

**В. І. Соболев**

# **БІОЛОГІЯ І ЕКОЛОГІЯ**

**РІВЕНЬ СТАНДАРТУ**

Підручник для 10 класу  
закладів загальної середньої освіти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Кам'янець-Подільський



«Абетка»  
2018

УДК 573  
С54

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(наказ Міністерства освіти і науки України від 11.10.2018 № 1085)*

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

**Соболь В. І.**

С54 Біологія і екологія (рівень стандарту): підруч. для 10 кл. закл. заг. серед. освіти / В. І. Соболь. – Кам'янець-Подільський : Абетка, 2018. – 256 с. : іл.

**ISBN 978-966-682-401-4.**

УДК 573

ISBN 978-966-682-401-4

© В. І. Соболь, 2018  
© ТЗОВ «Абетка», 2018  
© ТЗОВ «Абетка», оригінал-макет, 2018

## Як працювати з підручником?

ЖИТТЯ! Якими прекрасними й дивними є його прояви! Як дивовижно поєднуються у біосистемах перервність і неперервність, стабільність і змінність, домінуюче й рецесивне, чоловіче та жіноче, позитивне й негативне. Все це породжує здатність до самоорганізації й руху вперед.

Підручник містить теоретичний й практичний матеріал, щоб зацікавити вас, мотивувати, вказати на необхідність пізнання феномену життя, його найзагальніших закономірностей функціонування та збереження в сучасних умовах екологічної кризи.

У цьому підручнику, як і у попередніх, зміст ґрунтується на засадах продуктивного вивчення біології із застосуванням компетентнісного підходу. Підручник має на меті не лише надати теоретичні знання. Він допоможе вам у продуктивній й творчій діяльності та формуванні ставлення до навколишнього світу.

Матеріал підручника поділено на теми й окремі параграфи. Основними частинами параграфів підручника є такі рубрики.



**Вступна частина** містить епіграф до параграфа, рубрики «**Основне поняття й ключові терміни**», «**Пригадайте!**», «**Знайомтеся!**», «**У світі цікавого**», «**Новини науки**», «**Поміркуйте!**», а також ілюстративні завдання, ввідні вправи, класичні експерименти для формування мотивації до навчання. Крім того, подано завдання, кольорові ілюстрації, відомості про живу природу, кросворди.



«**ЗМІСТ**» містить матеріал для засвоєння й формування знань, умінь, навичок, способів діяльності та переконань. Великими літерами синього кольору виділено **ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ**, що організують найважливішу інформацію, а малими синіми літерами – **ключові терміни**, що узагальнюють певну частину інформації. Основні поняття й ключові терміни є обов'язковими для запам'ятовування на відміну від понять, поданих *курсивом*. Матеріал «Змісту» поділений на частини, до яких подається запитання, а в кінці – узагальнювальний висновок.



«**ДІЯЛЬНІСТЬ**» містить матеріал для формування способів продуктивної діяльності, розвитку творчої активності й дослідницьких умінь, здійснення міжпредметних зв'язків тощо. Цей матеріал слугуватиме зміцненню, поглибленню, розширенню знань шляхом самостійного виконання завдань та створення власних освітніх продуктів, якими є: *проекти, малюнки, рисунки, висновки, дослідження, здобута інформація, презентація, власні рекомендації* тощо. У цій частині наводяться теми проектів, творчі завдання, міжпредметні завдання «Біологія + ...» тощо. Для формування практичних й дослідницьких умінь подано практичні роботи, дослідницькі завдання і лабораторні дослідження.



«**СТАВЛЕННЯ**» містить завдання для формування світогляду, переконань, емоційно-оцінних норм щодо природи, життя, науки, суспільства та власного здоров'я.



«**РЕЗУЛЬТАТ**» містить завдання й запитання для закріплення, контролю й корекції знань та самооцінювання навчальної діяльності. Вони подаються з поступовим ускладненням та із зазначенням рівня їхньої складності й оцінки в балах.

*Щиро зичимо вам успіхів у навчанні й здійсненні власних інтелектуальних відкриттів!*



# ВСТУП

*XXI століття – століття біології.  
Із резолюції ЮНЕСКО*

## § 1. Міждисциплінарні зв'язки біології та екології

**Основні поняття й ключові терміни: БІОЛОГІЯ. ЕКОЛОГІЯ.**

**Пригадайте!** Що таке біологія й екологія?



### Поміркуйте!

Проблема – це складне завдання, що потребує розв'язування, але його способи і можливий результат невідомі. Розв'язування наукових проблем приводить до наукових відкриттів. Які ж проблеми людини можуть бути розв'язані за допомогою біологічних знань?



### ЗМІСТ

#### **Чому XXI століття є століттям біології?**

Двадцять перше століття – це століття біології, що прийшло на зміну століттю фізики. **БІОЛОГІЯ** стала не лише фундаментальною наукою про життя в усіх його проявах, а й частиною людської культури й духовності суспільства, що суттєво впливає на всі галузі діяльності людини. Сучасна біологія – це система наук про життя, про БІОСИСТЕМИ. Біологічні відкриття генетичного коду, механізмів штучного синтезу, рекомбінації й перенесення генів, біосинтезу білків, стовбурових клітин здатні змінити *медицину, сільське господарство, промисловість й охорону природи* та забезпечити розв'язування глобальних проблем людства.

Основними напрямками сучасних біологічних досліджень є:

- 1) вивчення механізмів регуляції процесів на всіх рівнях організації живого з метою пізнання закономірностей життя;
- 2) вивчення законів існування та розвитку біосфери з метою встановлення гармонійних відносин між природою та суспільством;
- 3) дослідження біологічних процесів з метою конструювання на їх основі нових біологічних й технічних систем;
- 4) вивчення впливу умов космосу на організм для з'ясування механізмів адаптації живих істот до дій космічних чинників;
- 5) дослідження біологічних процесів і об'єктів з метою використання знань для біотехнологічного виробництва

#### **Основні глобальні проблеми людства**

1. **Геополітичні** (проблеми війни і миру, тероризму)
2. **Екологічні** (зменшення біорізноманіття тощо)
3. **Демографічні** (наприклад, зміна кількості населення Землі)
4. **Соціальні** (проблеми охорони здоров'я, освіти)
5. **Економічні** (енергетичні, сировинні, продовольчі)

ліків, харчових продуктів, сировини, використання сонячної енергії, добування екологічно чистого палива, електроенергії, охорони природи, визначення можливостей використання харчових продуктів з генетично модифікованих організмів;

- 6) дослідження механізмів діяльності мозку з метою пізнання закономірностей регуляції процесів мислення, пам'яті, емоцій тощо;
- 7) вивчення механізмів спадковості й мінливості з метою розроблення методів раннього діагностування та виліковування спадкових хвороб людини, лікування нових інфекційних хвороб, дослідження захворювань рослин та механізмів фітоімунітету;
- 8) вивчення молекулярних і клітинних реакцій організмів на глобальні катастрофічні зміни клімату на планеті;
- 9) вивчення закономірностей старіння живих істот для подовження тривалості життя і розв'язування проблем довголіття людини.

Отже, XXI століття є століттям біології, тому що основні глобальні проблеми можуть бути розв'язані за допомогою біологічних знань.

### Як пов'язані між собою біологія та екологія?

**ЕКОЛОГІЯ** (від грец. *ойкос* – дім, *логос* – наука) – це наука про взаємозв'язки живого між собою та з навколишнім середовищем. Екологія виникла як суто біологічна наука, але в наш час вона перетворилася на науку про фундаментальні властивості ЕКОСИСТЕМ та їх компонентів. Одним з перших, хто почав розглядати екологію не як вузьку біологічну наукову дисципліну, а як міждисциплінарну науку, був видатний американський зоолог й еколог **Юджин Одум** (1913–2002). У науковій праці «Основи екології» (1953) учений запропонував нову структурну організацію екології, центральне місце в якій відведено екосистемам. Нова концепція Одума стала справжньою революцією в екології.

Сучасна екологія є міждисциплінарною самостійною наукою, пов'язаною з багатьма іншими науками і передусім з біологією. Екологічні знання необхідні для досліджень з *ботаніки, зоології, фізіології, морфології, систематики, біогеографії, еволюційної біології, генетики, біотехнології*, оскільки біологічні системи – це відкриті системи, що взаємозв'язані із навколишнім середовищем триєдиним потоком речовин, енергії та інформації. При цьому екологія є біологічною наукою через те, що досліджує біологічні системи та їхні властивості.

На сучасному етапі розвитку суспільства біологічні й екологічні дослідження об'єднує спільна й надзвичайно актуальна мета: надати загальну картину функціонування природи та визначити місце і роль людини в природних процесах. Саме існування живої природи на нашій планеті та процвітання людського суспільства залежать від того, наскільки швидко будуть розкриті закономірності існування екосистем і біосфери загалом.

Отже, характер міждисциплінарних зв'язків біології й екології на сучасному етапі розвитку суспільства визначається необхідністю розв'язування глобальних проблем людства.

### Яке значення біологічних знань для людини?

Біологічне пізнання є організованою діяльністю відповідно до мети й завдань, результатом якої є нові знання про живу природу. Для накопичення та обробки знань біологія використовує такі поняття, як *науковий факт, гіпотеза,*

теорія, закон. Складність проявів життя зумовлює використання найрізноманітніших методів біології, фізики, хімії, географії, математики. Серед основних методів виокремлюють *порівняльно-описовий, експериментальний, моніторинг, моделювання та статистичний*.

Леонардо да Вінчі щодо досліджень природи радив: «Вивчаючи рухи води, не забудь з кожного знайденого факту зробити висновок для практики, щоб твоя наука не залишилася непотрібною». Нині з усіх природничих наук саме біологічні дослідження мають величезне практичне й наукове значення в житті людини й суспільства. Насамперед біологічні дослідження важливі для таких галузей діяльності людини, як:

- 1) *сільське і лісове господарство* (вирощування культурних і дикорослих лісових рослин, розведення домашніх тварин, боротьба зі шкідниками та хворобами рослин і тварин);
- 2) *промисловість* (виробництво харчових продуктів, поживних речовин у *харчовій промисловості*; у *легкій промисловості* – отримання сировини для натуральних тканин з льону, бавовнику, одягу зі шкіри; антибіотиків, вітамінів, ферментів у *мікробіологічній промисловості*);
- 3) *медицина* (профілактика та лікування неінфекційних та інфекційних захворювань, збереження та зміцнення здоров'я людини, зростання тривалості життя);
- 4) *охорона природи* (для раціонального використання і збереження природних ресурсів, розв'язування екологічних проблем людства);
- 5) *селекція* (для створення й поліпшення якості сортів рослин, порід тварин й штамів мікроорганізмів, що їх використовує людина для розв'язування соціальних проблем);
- 6) *спорт* (для пізнання фізичних можливостей організму людини та організації шляхів й способів їхнього розвитку);
- 7) *мистецтво* (для створення естетичних об'єктів, ситуацій або дій, якими можна поділитись з іншими людьми й використати для розвитку особистості) (ил. 1);
- 8) *техніка й технології* (для вивчення можливостей використання живого під час створення машин, пристроїв, приладів чи виробничих процесів у певній галузі виробництва) (ил. 2) тощо.



Ил. 1. Мона Ліза (Леонардо да Вінчі, 1503) – один із найвидатніших творів мистецтва



Ил. 2. Насінина занонії, що слугувала зразком під час створення апаратів типу «літаюче крило»

Отже, XXI століття є століттям біології ще й тому, що немає такої галузі практичної діяльності людини, для якої біологічні дослідження не мали б жодного значення.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

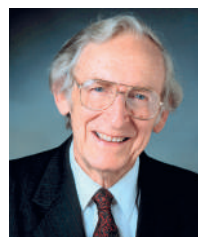
### Завдання на застосування знань. Кріобіологія

Досягнення сучасної біології сприяли виникненню нових напрямів, розділів й дисциплін. Зіставте біологічні відкриття з розділами біології та отримайте назву технології збереження організмів у стані глибокого замороження та можливості їхнього оживлення.

1 Відкриття генетичного коду, механізмів синтезу генів	<b>A</b> Радіобіологія
2 Відкриття просторової структури ДНК	<b>I<sub>1</sub></b> Клітинна інженерія
3 Створення перших гібридних клітин	<b>I<sub>2</sub></b> Біокібернетика
4 Відкриття принципів організації живих організмів	<b>K<sub>1</sub></b> Генна інженерія
5 Відкриття принципів організації білкових молекул	<b>K<sub>2</sub></b> Цитогенетика
6 Дослідження закономірностей управління в біосистемах	<b>H</b> Протеоміка
7 Відкриття ролі хромосом у спадковості	<b>O</b> Біоніка
8 Дослідження впливу йонізуючого випромінювання на живе	<b>P</b> Молекулярна біологія

### Біологія + Екологія. Екологізація наук

У Юджина Одума є цікаве формулювання щодо предмета екології та її зв'язків з біологією: «*Екологія – це біологія навколишнього середовища*». Спираючись на власний досвід, оцініть це визначення та наведіть приклади, що підтверджують чи спростовують вислів науковця. Що таке екологізація наук?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Архітектура

Зіставте назви запропонованих об'єктів і явищ рослинного світу з визначеннями, що пояснюють їхнє застосування в біоніці, та отримайте прізвище видатного архітектора, який часто звертався до ідей живого. Кульмінацією творчості митця став Храм Святої Родини у Барселоні.



1 Крилатка	<b>A</b> Стебло пшениці як модель для конструювання висотних споруд
2 Соломина	<b>Г</b> Плід клена як модель для вивчення обертальної підйомної сили крила
3 Жилки	<b>Д</b> Утворення паралельних хвилястих складок чи вигинів
4 Гофрування	<b>І</b> Зміцнення виробів або конструкцій елементами з міцнішого матеріалу
5 Армування	<b>У</b> Судинно-волокнисті пучки як опорна конструкція листків

Висловіть свої судження про значення біологічних знань в архітектурі, зокрема й для розвитку людства загалом.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що вивчає біологія? 2. Назвіть основні галузі застосування біологічних знань. 3. Що вивчає екологія? 4. Чому екологія є біологічною наукою? 5. Що таке біологічне пізнання? 6. Назвіть основні галузі застосування біологічних досліджень.
7 – 9	7. Чому XXI століття є століттям біології? 8. Як пов'язані між собою біологія та екологія? 9. Яке значення біологічних знань для людини?
10 – 12	10. Оцініть важливість біологічних знань для розвитку людства.

*Відкриті системи – системи, що постійно обмінюються інформацією, речовиною й вільною енергією із зовнішнім середовищем.*  
Л. фон Берталанфі

## § 2. Рівні організації біосистем та їхній взаємозв'язок

**Основні поняття й ключові терміни: БІОСИСТЕМИ. Рівні організації біосистем.**

**Пригадайте!** Що таке біосистеми?



### **Знайомтеся!**

**Карл Людвіг фон Берталанфі** (1901–1972) – австрійський біолог, засновник узагальненої системної концепції, що отримала назву «Загальна теорія систем». Основна ідея запропонованої теорії: закони, що керують системами, – єдині для різних систем. Такими закономірностями є принципи зворотного зв'язку, єдності, ієрархії, емерджентності (раптової появи), закон мінімуму та інші.



### **ЗМІСТ**

#### **Якими є основні біосистеми?**

Сучасне розуміння організації життя ґрунтується на системному підході, згідно з яким жива природа існує у формі біосистем. Будь-яка із живих природних систем є *цілісною сукупністю взаємопов'язаних компонентів, що виконують особливі функції і забезпечують їхню єдність*. Усі біосистеми є перервними й відокремленими одна від одної, мають певні розміри й структуру, тривалість існування й специфічні ознаки. Основними типами біосистем є клітина, організм, популяція, вид, екосистема та біосфера.

**Клітина** – біологічна система з найменшими розмірами й найпростішою структурою. Основними компонентами клітини є поверхневий апарат, цитоплазма і ядро (нуклеоїд), що побудовані із молекул хімічних речовин та їхніх комплексів. Клітини є основними елементами будови й життєдіяльності всіх організмів нашої планети.

**Організм** – біологічна система, яка побудована із клітин і завдяки системам регуляції та пристосувальним механізмам може відносно самостійно існувати в певному середовищі. Організми поділяють на одноклітинні, колоніальні й багатоклітинні. Саме ці біосистеми є найрізноманітнішими формами живої природи.

**Популяція** – біологічна система із вільнохрещуваних між собою організмів одного виду, які проживають тривалий час на певній території й відносно ізольовані від інших таких самих груп. Компонентами популяцій є організми, а самі популяції є структурною одиницею видів. На рівні популяцій починаються еволюційні процеси, тому популяції є елементарними одиницями еволюції.

**Вид** – біологічна система із сукупності популяцій, яким властиві: а) морфологічно-фізіологічна подібність; б) вільне внутрішньовидове схрещування; в) утворення плідного потомства; г) несхрещуваність з іншими видами; д) спільна територія існування – ареал; е) пристосованість до умов існування в межах ареалу; є) спільне походження. Вид є основною формою організації життя.



**Екосистема** – сукупність різних видів та середовища їхнього існування, що пов'язані обміном речовин, енергії та інформації. У межах біосистем цього рангу виокремлюють біотичний (біоценоз) та абіотичний (біотоп) компоненти, що пов'язані між собою кругообігом речовин. Екосистеми існують унаслідок розподілу функцій між продуцентами, консументами й редуцентами.

**Біосфера** – біосистема найвищого порядку, склад, структура і властивості якої визначаються функціонуванням живих організмів. Це єдина глобальна екосистема Землі. Живий і неживий компоненти біосфери пов'язані між собою кругообігом речовин у вигляді біогеохімічних циклів.

Отже, **БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ** (від грец. *біо* – життя, *система* – складена із частин) – це сукупність взаємопов'язаних компонентів, діяльність яких визначають їхню єдність та існування в просторі й часі.

### У чому проявляється взаємозв'язок рівнів організації біосистем?

Критерієм для виокремлення рівнів організації біосистем є ступінь складності **структури** (від лат. *structura* – будова), тобто *розташування взаємопов'язаних компонентів*. Для характеристики рівнів організації життя застосовують ще й такий критерій, як **процес** (від лат. *processus* – переміщення, рух), що означає певні закономірні функціональні зміни й явища. Виокремлювати рівень організації доцільно в тому випадку, якщо на ньому виникають нові (емерджентні) властивості, що їх немає в систем нижчого рівня.

Уявлення про структурні рівні організації склалися в 20-х роках ХХ ст. (Л. фон Берталанфі, Г. Ч. Браун), а в середині 40-х років ХХ ст. сформувалася теорія рівнів організації (Р. Джерард, А. Емерсон) як конкретне вираження упорядкованості живого.

Як ви вже знаєте, розрізняють *молекулярний, клітинний, організмовий, популяційно-видовий, екосистемний (біогеоценозичний) та біосферний* рівні організації біосистем (іл. 3). За необхідності, що визначається особливостями досліджуваного об'єкта, можна виокремлювати додаткові рівні: *тканинний, рівень органів, рівень систем органів, біоценозичний*.

**Молекулярний рівень життя** пов'язаний з організацією специфічних для живих організмів органічних сполук, їхньою взаємодією між собою і з неорганічними речовинами. При цьому відбуваються хімічні реакції й фізичні процеси перетворення енергії, речовин та інформації. На молекулярному рівні організації перебувають неклітинні форми життя (віруси, пріони, віроїди).



Іл. 3. Основні рівні організації біосистем

**Клітинний рівень життя** представлений вільноживучими одноклітинними організмами й клітинами багатоклітинних організмів. Компонентами структури клітин є речовини та їхні комплекси. На клітинному рівні відбуваються процеси поділу й передачі інформації, анаболізму й катаболізму.

**Організмівий рівень життя** визначається клітинами в одноклітинних і колоніальних організмів, тканинами, органами й системами органів – у багатоклітинних організмів. Елементарною одиницею рівня є окремі клітинні організми з певними особливостями будови, життєдіяльності (живлення, дихання, виділення, розмноження тощо) та поведінки.

**Популяційно-видовий рівень** життя представлений популяціями й видами, що є надорганізмівими біологічними системами. Структурними компонентами є групи споріднених особин, об'єднаних певним генофондом і специфічною взаємодією з навколишнім середовищем. На цьому рівні формуються мікроеволюційні процеси адаптаціогенезу, регуляції чисельності популяцій, видоутворення тощо.

**Екосистемний (біогеоценотичний) рівень життя** представлений різноманітністю природних і штучних екосистем. Компонентами є живі угруповання (біоценози) й умови середовища існування. На цьому рівні здійснюються взаємодія організмів різних популяцій між собою, а також вплив екологічних чинників, що визначають їх чисельність, видовий склад і продуктивність.

**Біосферний рівень життя** об'єднує усі екосистеми Землі. На цьому рівні відбуваються біогенна міграція живої речовини, біологічний кругообіг речовин та перетворення енергії.

Основою взаємозв'язку всіх рівнів організації біосистем є потоки речовин, енергії та інформації й принцип структурної ієрархії систем, згідно з яким будь-яка біосистема є компонентом біосистеми вищого рангу, і, в свою чергу, складається з підпорядкованих їй біосистем нижчого рангу.

Отже, **рівні організації біосистем** – це певний тип взаємодії структурних й функціональних складників біологічних систем.

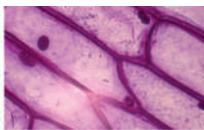


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з ілюстраціями. Характеристика біосистем

Розпізнайте на малюнках біосистеми різних рівнів організації. Назвіть їх компоненти та наведіть приклади процесів, характерних для зображених біосистем. Заповніть у робочому зошиті таблицю «Характеристика основних типів біосистем» і сформулюйте висновок про подібність та відмінності різних біосистем.

Назва біосистеми	Структурні складники	Функціональні процеси



## Біологія + Екологія. Характеристика рівня організації біосистем

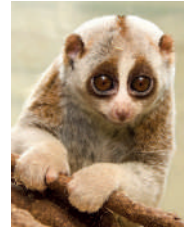
**Риба-клоун** (*Amphiprion ocellaris*) досить часто вступає у взаємовигідні взаємовідносини з **актиніями** (наприклад, *Heteractis magnifica*). Щупальця цих тварин містять небезпечні жалкі клітини і захищають риб та їхню ікру від хижаків. У свою чергу, риби-клоуни очищають актинію від сміття і відганяють від неї хижаків, наприклад крабів і риб-метеликів, які не проти поласувати щупальцями цих істот. Назвіть і охарактеризуйте рівень організації цих взаємовідносин.



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Біорізноманіття. Опис окремих біосистем

З-поміж представників класу Ссавці здатність продукувати отруйний секрет мають яйцекладні ссавці та окремі представники комахоїдних. І лише один відомий вид є серед приматів. Це **малий товстий лорі** (*Nycticebus pygmaeus*), поширений у лісах В'єтнаму, Лаосу й Камбоджі. На внутрішньому боці ліктьового суглоба в цієї тварини є залози, секрети яких, змішуючись із слиною, перетворюються на сильну отруту. Опишіть цей організм як біосистему.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біосистеми? 2. Назвіть основні типи біосистем. 3. Наведіть приклади біосистем різних рівнів. 4. Що таке рівні організації біосистем? 5. Назвіть основні рівні організації біосистем. 6. Назвіть критерії, за якими характеризують біосистеми.
7 – 9	7. Якими є основні біосистеми? 8. В чому виявляється взаємозв'язок рівнів організації біосистем? 9. Чим біосистеми різняться між собою?
10 – 12	10. У чому полягають подібність та відмінності різних біосистем?

*Найпотаємніше на Землі, поки що унікальне у Всесвіті та найважче для розуміння... – це ЖИТТЯ.  
З довідника біології*

## § 3. Властивості живого

**Основні поняття й ключові терміни: ЖИТТЯ. Саморегуляція. Самооновлення. Самовідтворення.**

**Пригадайте!** Що таке біосистеми?



### Поміркуйте!

«Папороть, що росте в лісі, – жива система? Безпечно. А морозяні візерунки на шибіці? Певно, ви здогадаєтесь, що ні, хоча зовні вони бувають схожі на листки папороті. Яка ж відмінність між першим і другим? Якщо на замерзлу шибку впаде сонячний промінь, то крижана папороть розтане, а справжня саме завдяки сонячному світлу ростиме й розвиватиметься, бо поглинає його енергію». Які особливості біосистем відрізняють їх від фізичних чи хімічних систем?





## ЗМІСТ

### У чому суть визначальних ознак біосистем?

Організація біосистем пов'язана з внутрішньою **впорядкованістю** структури й процесів, для підтримання якої усі живі системи можуть вивільняти, перетворювати й використовувати енергію ззовні. Крім того, живе здатне не лише підтримувати, а й збільшувати свої енергетичні запаси. Як відзначав відомий біохімік В. О. Енгельгардт (1894–1984), саме «у здатності живого створювати порядок із хаотичного теплового руху молекул полягає найглибша, корінна відмінність живого від неживого». Проявами цієї найзагальнішої властивості живого є всі інші ознаки біосистем, що відрізняють їх від фізичних чи хімічних систем.

Усі біосистеми є **відкритими**, тому що постійно обмінюються із середовищем речовинами, енергією та інформацією, а в закритих неживих систем такого обміну не відбувається. Так, рослинний організм отримує із середовища світло, звук, хімічну інформацію, поживні речовини, сонячну енергію, а віддає в середовище кисень, воду, тепло.

Будь-якій біосистемі властиві механізми **саморегуляції**, що забезпечує їхню впорядкованість й стійкість у часі. *Саморегуляція* біосистем виявляється у здатності підтримувати динамічну сталість свого внутрішнього стану (гомеостаз). Механізми саморегуляції дуже різноманітні у біосистемах, вони забезпечують функцію керування відповідно до умов довкілля і виявляються на всіх рівнях організації життя. Наприклад, концентрація речовин у клітинах регулюється наявністю та змінною активністю ферментів, у організмів досліджено гуморальні, нервові та імунні механізми регуляції, на рівні популяції описано механізми регуляції чисельності та ін. Чим складнішою є структура біосистеми, тим різноманітнішими будуть механізми регуляції і тим стійкішою вона буде до впливу навколишнього середовища.

Ще однією важливою особливістю біосистем є здатність до **самовідтворення** собі подібних. Ця властивість є фундаментальною, оскільки забезпечує наступність життя на Землі. «*Omne vivum ex vivo*» («Все живе від живого»), як зазначив ще в XVII ст. італійський лікар і натураліст Франческо Реді (1626–1697). Саме він вперше в історії біології здійснив експерименти, що спростовують уявлення про самозародження життя (вважалося, що риби могли виникати з мулу, черви – з ґрунту, мухи – з м'яса і т. ін.).



Іл. 6. Франческо Реді

На молекулярному рівні самовідтворення відбувається на основі матричного синтезу ДНК, РНК й білків, клітини відтворюють собі подібних шляхом поділу, організми розмножуються нестатевим чи статевим способом, відтворення популяцій забезпечується розмноженням організмів та їхньою здатністю до розселення.

Усі біосистеми здатні зберігати своє існування в межах певного кінцевого періоду завдяки процесам **самооновлення**, що спрямовані на утворення нових чи відновлення пошкоджених складників (компонентів). Так, пошкоджена ДНК може бути відновлена через механізми репарації, нові мітохондрії чи пластиди

утворюються шляхом поділу, відновлення клітин чи органів забезпечує регенерація, оновлення організмів здійснюється за допомогою стовбурових клітин, а самооновлення екосистем – у результаті сукцесій.

Отже, **біологічні системи** – це відкриті впорядковані системи, здатні до саморегуляції, самовідтворення та самооновлення внаслідок постійного потоку речовин, енергії та інформації.

### **Якими є описові структурно-функціональні ознаки живого?**

Життя – це особлива форма існування матерії, що відрізняється від неживої природи особливостями структури та процесів. У біології існують різні формулювання, в яких життя визначається субстратом (субстратний підхід) або розглядається як сукупність специфічних процесів (функціональний підхід).

Проблема пізнання суті життя є найголовнішою проблемою не лише біології. Науковці наводять різні тлумачення поняття «життя» й виокремлюють різні особливості феномену життя.

*«Життя – це спосіб існування білкових тіл, суттєвим моментом якого є постійний обмін речовин з навколишньою природою» (Ф. Енгельс).*

*«Живі тіла, які існують на Землі, являють собою відкриті, саморегульовані та самовідтворювальні системи, що побудовані з біополімерів – білків і нуклеїнових кислот» (М. В. Волькенштейн).*

*«Життя – це глобальна планетарна самовпорядкована, енергетично та інформаційно відкрита система, що являє собою велике розмаїття форм єдиної у фізико-хімічному відношенні живої речовини» (В. І. Вернадський).*

*«Життя є формою існування біополімерних тіл (систем), здатних до самореплікації в умовах постійного обміну речовинами й енергією з навколишнім середовищем» (В. І. Гольданський).*

*«Життя – це активна властивість живої матерії, що відбувається із витратами енергії на підтримання й відтворення специфічної структури» (Б. М. Медніков).*

**Фізика.** *«Життя є явищем, яке властиве відкритим системам, що здатні самочинно знижувати власну внутрішню невпорядкованість за рахунок речовин або вільної енергії, отриманих з довкілля і згодом виділеної у вигляді продуктів життєдіяльності й теплоти».*

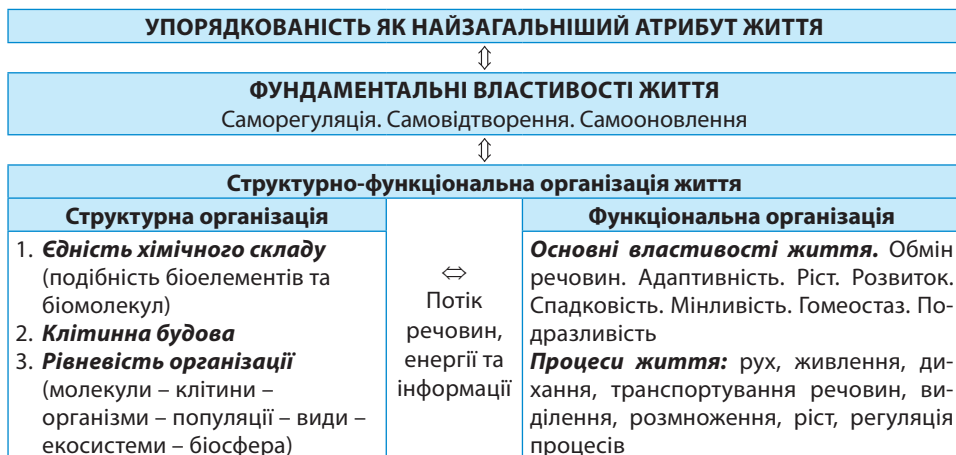
**Хімія.** *«Життя – це не властивість якої-небудь молекули, а радше результат взаємодії між молекулами».*

**Кібернетика.** *«Живі системи – це системи, крізь які проходять безперервні потоки речовин, енергії, інформації і які здатні сприймати, зберігати й переробляти інформацію».*

**Філософія.** *«Життя – особлива, складна форма руху матерії, найважливішими ознаками якої є подразливість, ріст, розмноження, в основі яких лежать процеси самооновлення речовин».*

Попри усі намагання науковців однозначного визначення поняття «життя» й досі не існує. Живим організмам притаманна низка ознак, яких немає у більшості неживих систем. Проте серед них немає жодної, яка була б притаманна лише живому. Єдиний спосіб описати життя – це перелічити визначальні ознаки (атрибути) та описові структурно-функціональні ознаки живого.

## Схема 1. ОЗНАКИ ЖИВОГО



Отже, **ЖИТТЯ** – це принцип існування біологічних систем, які відрізняються від неживого складністю та високою структурною й функціональною впорядкованістю, що підтримується завдяки здатності поглинати, перетворювати та передавати енергію ззовні.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з таблицею

Визначте прояви життя, що їх вивчають за допомогою вказаних наук. Заповніть у робочому зошиті таблицю та зробіть висновок про значення інтегрованого підходу для пізнання суті життя.

Наука	Прояви життя
Хімія	
Фізика	
Географія	
Кібернетика	
Соціологія	
Математика	

### Біологія + Мінералогія

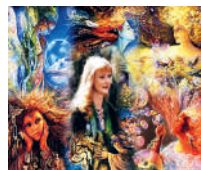
Південна частина Румунії стала відома своїми «живими» каменями, що вміють рости, дихати і навіть розмножуватися. Місцеве населення називає їх тровантами. Ці камені мають обтічну форму, на зрізі можна розгледіти вікові кільця, зосереджені навколо невеликого твердого ядра. Камені здатні ще й до розмноження, що нагадує брунькування. Чому ж ці «неорганічні форми життя на основі кремнію», як їх називають деякі науковці, не належать до живої природи?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Мистецтво

**Жозефіна Волл** (нар. 1947) – сучасна британська художниця в стилі фентезі. Її картини популярні в усьому світі. Жозефіна переконана, що художник, який перебуває в оточенні прекрасної природи, є своєрідним каналом для передачі



енергії від Матері-Землі усім людям. Мистецтво і його естетичні можливості допомагають зрозуміти принадність та вразливість навколишнього світу. Що таке естетика? У чому полягає естетична цінність живої природи?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Назвіть фундаментальні властивості живого. 2. Чому біосистеми називають відкритими? 3. Що таке саморегуляція, самовідтворення та самооновлення? 4. Наведіть 2–3 приклади визначень поняття «життя». 5. Назвіть ознаки структурної організації життя. 6. Назвіть властивості та основні процеси життя.
7 – 9	7. У чому суть визначальних ознак життя? 8. Якими є описові структурно-функціональні ознаки живого? 9. У чому полягає складність визначення такого явища, як ЖИТТЯ?
10 – 12	10. Чому пізнання суті життя є проблемою науки загалом, а не лише біології?

*XXI століття – доба перетворення Homo technocraticus на Homo ecologicus.  
З підручника «Основи екологічних знань»*

## § 4. Стратегія сталого розвитку природи й суспільства

**Основні поняття й ключові терміни:** **Навколишнє середовище. СТАЛИЙ РОЗВИТОК ПРИРОДИ І СУСПІЛЬСТВА.**

**Пригадайте!** Що таке природа?



### Поміркуйте!

У 1973 р. Генеральною Асамблеєю ООН було засновано Всесвітній день охорони довкілля, який відзначають 5 червня. Щороку цього дня відбуваються заходи, присвячені певній темі. Тему 2018 р. сформульовано так: «*Бій забрудненню пластиком!*». Яка ж мета Всесвітнього дня охорони довкілля?



### ЗМІСТ

#### Якою є структура навколишнього середовища?

**Навколишнє середовище**, або **довкілля**, – це частина природи, що оточує людину, підтримує її існування, створює умови для діяльності й суспільних відносин, безпосередньо впливає на її життя і здоров'я. Поняття «природа» і «навколишнє середовище» дуже подібні, але перше є значно ширшим. Навколишнім середовищем називають ту частину природи, з якою людина взаємодіє у своєму житті й виробничій діяльності. Навколишнє середовище складається з двох взаємозалежних частин: природної і штучної. Природним компонентом є планета Земля з її різноманітними оболонками – атмосферою, гідросферою, літосферою та біосферою. Суспільну частину середовища життя людини становлять суспільство і суспільні відносини, що утворюють штучний компонент довкілля.

Науковці виокремлюють два основні аспекти у вивченні відносин людини з навколишнім середовищем. По-перше, досліджують всю сукупність впливів, що чинять на людину середовище і різні чинники довкілля. По-друге, вивчають адаптації людини і людських спільнот до навколишнього середовища.

Сьогодні всі проблеми навколишнього середовища є предметом нової науки під назвою **енвайронментологія** (від англ. *environment* – навколишнє середо-

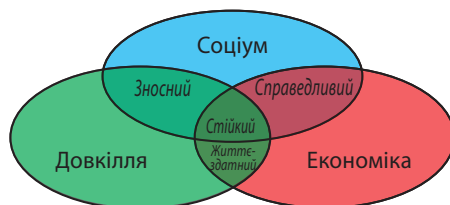
вище, довкілля). Ця наука має виражений прикладний (практичний) характер, а традиційна екологія є її теоретичною основою. Методологічними засадами енвайронментології слугують наукова теорія природокористування, вчення про охорону природи та сучасна концепція збалансованого розвитку природи й суспільства.

Отже, навколишнє середовище є частиною природи і має природний та штучний компоненти.

## У чому суть стратегії сталого розвитку природи й суспільства?

**СТАЛИЙ РОЗВИТОК ПРИРОДИ Й СУСПІЛЬСТВА** (англ. *Sustainable development*) – розвиток суспільства, за якого економічне зростання, матеріальне виробництво і споживання відбуваються в межах, що їх визначає здатність екосистем до самовідновлення. Термін «сталий (збалансований) розвиток» з'явився у 1980 р. у документі «Всесвітня стратегія охорони природи» (ВСОП), підготовленому Міжнародним союзом охорони природи і природних ресурсів (МСОП). Ця стратегія містила принципово нове положення: **ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДИ НЕРОЗРИВНО ПОВ'ЯЗАНЕ З ПИТАННЯМИ РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА.**

Автором інноваційної економічної теорії сталого розвитку, висвітленої в монографії «Поза зростанням: Економічна теорія сталого розвитку», є провідний дослідник економічних аспектів забруднення довкілля **Герман Дейлі**. Теорія сталого розвитку є альтернативою концепції екстенсивного економічного зростання, що ігнорує екологічні небезпеки.



Іл. 4. Триєдина концепція сталого розвитку

Сталий розвиток – це доволі складна конструкція, яка полягає в збалансованому розвитку трьох компонентів: економічного, соціального та екологічного (іл. 4). Не можна говорити про сталий розвиток, розглядаючи лише один із компонентів. На іл. 4 зображено три кола: соціум (суспільство), економіка, довкілля (природа). Ділянка перетину кіл і є зоною сталого розвитку.

Концепція сталого розвитку ґрунтується на таких п'яти принципах.

1. Людство може надати розвитку суспільства сталого характеру, щоб він відповідав потребам людей сучасного й майбутніх поколінь.
2. Обмеження, що існують у галузі експлуатації природних ресурсів, пов'язані із сучасним рівнем розвитку техніки і соціальної організації, а також із здатністю біосфери до самовідновлення.
3. Необхідно задовольнити елементарні потреби всіх людей і надати їм можливість реалізувати свої надії на благополучне життя.
4. Необхідно, щоб використання природних ресурсів відповідало екологічним можливостям планети, зокрема виробництво енергії.
5. Темпи росту кількості населення мають відповідати виробничому потенціалу біосфери, який у сучасних умовах швидко змінюється.



Іл. 5. Символи пріоритетних напрямів «зеленої» економіки в Україні



В основі стійкого розвитку лежить перехід до «зеленої» економіки. **«Зелена економіка»** – це економіка, яка раціонально використовує природні ресурси, зберігає екосистеми і біорізноманіття та забезпечує при цьому зростання рівнів доходів і зайнятості. Це «низькокарбонова» економіка, економіка з мінімальним використанням вуглеводневих ресурсів, економіка з низькою енергоємністю. В умовах ресурсної та енергетичної залежності України саме поступова заміна «коричневої» індустріальної економіки на нову «зелену» уможливіть забезпечення національної безпеки держави в найближчі десятиріччя. Передбачено упровадження таких інструментів «зеленої» економіки, як «зелені» технології, «зелений» транспорт, «зелене» будівництво, «зелені» закупівлі, «зелена» енергетика та ін. (іл. 5).

Отже, як сформульовано у звіті Комісії ООН,  
«збалансований розвиток природи й суспільства – це розвиток,  
що задовольняє потреби нинішніх поколінь і не загрожує можливості  
наступних поколінь реалізовувати свої потреби».

### У чому полягає необхідність оновленої системи цінностей щодо природи?

Основною причиною екологічної кризи у відносинах людини й природи є не збільшення населення, не розвиток промисловості, не наші економічні або політичні системи, а СИСТЕМА ЦІННОСТЕЙ, що визначають ставлення людини до того, що її оточує, до природи. А такими цінностями є *економічна, пізнавальна, естетична, етична* та ін.

Вивченням цінностей природи й оцінювання людиною значення природи, що мотивує її поведінку, займається **екологічна етика**. Це вчення про принципи й проблеми моральних взаємовідносин людини з природою й суспільством. Засновниками цієї системи поглядів, яку ще називають етикою Землі, є американський еколог **О. Леопольд** (1887–1948) і німецький лікар, місіонер, музикант, лауреат Нобелівської премії миру **А. Швейцер** (1875–1965). На відміну від біоетики, що досліджує моральне ставлення людини до життя, екологічна етика вивчає моральні стосунки людини й природи взагалі – живої й неживої. Основою сучасної екологічної етики є взаємодоповнювальні й рівнозначні світоглядні концепції – біоцентризм й екоцентризм. Суб'єктами в цих концепціях є організми, види живих істот та екосистеми. О. Леопольд виокремив такі принципи екологічної етики: 1) принцип збереження природи; 2) принцип збереження біорізноманіття; 3) принцип цілісності природи; 4) принцип поваги до природи; 5) принцип відповідальності.

Основними завданнями сучасної екологічної етики є: перебудова моральної свідомості людини, виховання любові й співчуття до природи, формування відповідальності людини за стан природи, формування рівноправного співіснування людини й природи.

Отже, природу врятувати зможе тільки створення нової ціннісної системи, заснованої на високому оцінюванні внутрішніх і зовнішніх цінностей природи, використання яких не спричинить загибелі природи.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з ілюстрацією «Цілі сталого розвитку»

15 вересня 2017 р. уряд України оприлюднив Національну доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна». У доповіді представлено 17 глобальних цілей сталого розвитку з урахуванням специфіки національного розвитку країни. Розподіліть цілі за трьома компонентами сталого розвитку.



## Біологія + Англійська мова. UNEP

Перекладіть текст і підготуйте пояснення про міжнародну програму «ЮНЕП».

«The United Nations Environment Program (UNEP) is an agency that coordinates environmental projects, assists developing countries in implementing environmentally sound policies and practices. The UNEP activities cover a wide range of issues related to the atmosphere, marine and terrestrial ecosystems, environmental projects management and the development of a green economy. The agency played a significant role in the development of international environmental conventions, the promotion of environmental science and information. UNEP is an example of how ecology can be implemented in conjunction with policy. The agency is working on the development and implementation of environmental policy with national governments, regional environmental organizations. UNEP is actively involved in the financing and implementation of environmental projects».



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Економіка. Економічні цінності природи

Проаналізуйте вислів індіанців і наукове повідомлення.

⇒ Північноамериканські індіанці казали: «Коли буде зрубане останнє дерево, буде отруєна остання річка і буде зловлена остання риба, дуже погано, якщо лише тоді людина зрозуміє, що вона не може їсти гроші».

⇒ Новини екології: «Науковці й економісти нещодавно спільними зусиллями дослідили 5 екосистем, змінених людиною з комерційною метою. Дослідники зробили дивний висновок: за умов збереження екосистем у вихідному незміненому стані їх економічна цінність була б на 14 – 75 % більшою, ніж після антропогенного перетворення».



Жозефіна Волл. Земля моїх предків. (Початок 1990-х рр.)

Сформулюйте висновок про необхідність зміни економічних цінностей людини щодо природи. В чому суть екологізації економіки?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке навколишнє середовище? 2. Назвіть основні компоненти довкілля. 3. Що таке сталий розвиток природи й суспільства? 4. Назвіть принципи сталого розвитку природи й суспільства. 5. Що таке цінності природи? 6. Назвіть основні цінності людини щодо природи.
7 – 9	7. Якою є структура навколишнього середовища? 8. В чому полягає суть стратегії сталого розвитку природи й суспільства? 9. Чому необхідно оновити систему цінностей щодо природи?
10 – 12	10. Якими є глобальні цілі сталого розвитку природи й суспільства?



# Тема 1. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

*Природа! Вона вічно створює нові образи: те, що є, – того не було; те, що було, – вже більше не повториться...  
Й. В. Гете*

## § 5. Біорізноманіття. Біосистематика

**Основні поняття й ключові терміни: БІОРІЗНОМАНІТТЯ. БІОСИСТЕМАТИКА. Філогенетична систематика. Класифікація.**

**Пригадайте!** Що таке біорізноманіття й систематика?



### Поміркуйте!

**Міжнародний день біологічного різноманіття**

(англ. *International Day for Biological Diversity, IDB*) – міжнародний день, який оголосила Генеральна Асамблея ООН для залучення уваги до проблем біорізноманіття, що є основною умовою існування біосфери. Цей день весь світ відзначає 22 травня, починаючи з 2000 р. А що таке біорізноманіття?



### ЗМІСТ

**Які чинники впливають на формування та розвиток біорізноманіття нашої Землі?**

**БІОРІЗНОМАНІТТЯ** – це мінливість живої природи всередині видів, між видами та між екосистемами. Біологічне розмаїття, що відображає кількість, різноманітність і мінливість живої природи, існує скрізь – як у воді, так і на суходолі. Воно складається з усіх форм життя та організмів: від пріонів, віроїдів і вірусів, бактерій та архей аж до вищих рослин, справжніх тварин й людини. Всі типи біорізноманіття – **генетичне, видове й екосистемне** – пов'язані між собою. Так, генетичне різноманіття забезпечує видове, різноманітність екосистем створює умови для видоутворення. Які ж чинники впливають на біорізноманіття?

Причиною еволюції біорізноманіття є протиріччя між умовами середовища, що постійно змінюються, і спадковістю живої природи. Тому на формування біорізноманіття впливають **зовнішні** (наприклад, геологічні, кліматичні) та **внутрішні** (наприклад, рекомбінація генів, горизонтальне перенесення генів) чинники.

В еволюції живого на Землі постійно збільшувалося біорізноманіття біосистем різних рівнів організації під дією **еволюційних чинників**. Це **рушійні чинники еволюції** (природний добір) та **елементарні чинники еволюції** (популяційні хвилі, ізоляція, дрейф генів).

Багато науковців стверджують, що еволюція біорізноманіття тісно пов'язана з еволюцією екосистем, через те окрім відомих еволюційних чинників на еволюцію біорізноманіття суттєво впливають **екологічні** (абіотичні, біотичні та антропогенні) **чинники**.

Особливим є вплив антропогенного чинника. Згідно з доповіддю Всесвітнього фонду дикої природи (англ. *World Wildlife Fund, WWF*) з впливом діяльності людини пов'язане скорочення біорізноманіття Землі на 28 %.

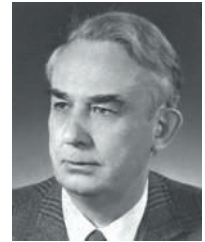
Отже, еволюція біорізноманіття є історичним процесом, що відбувається під дією різних чинників.

### Які основні методи, напрями та розділи сучасної біосистематики?

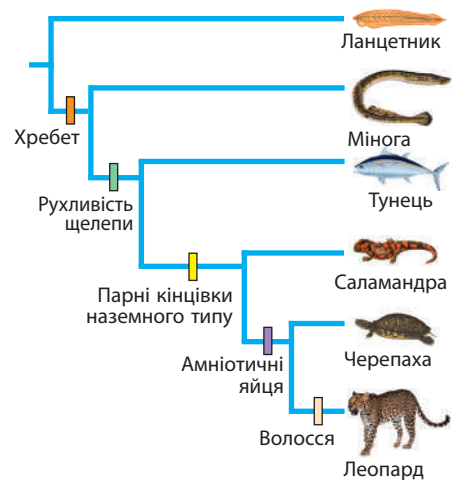
**БІОСИСТЕМАТИКА** (від грец. *систематікос* – упорядкований) – наука, що описує, називає й класифікує існуючі та вимерлі організми. Основне завдання цієї науки – створення системи органічного світу для орієнтації у величезній різноманітності організмів. Найпоширенішим методом біосистематики є *порівняльно-морфологічний*. Із арсеналу сучасних методів виокремимо *хемосистематику* (вивчення складу речовин й особливостей обміну речовин), *каріосистематику* (дослідження хромосомного набору різних видів), *геносистематику* (вивчення нуклеотидного складу ДНК і РНК у різних організмів). Останнім часом набула значного поширення *молекулярна систематика*, побудована на аналізі генетичного матеріалу. Основними напрямками сучасної систематики є цифровий (фенетика), еволюційний (філістика) та філогенетичний (кладистика). *Фенетична систематика* ґрунтується на загальній подібності організмів і може не відображати філогенетичні зв'язки. Родовідне дерево у цьому випадку називається дендрограмою. *Еволюційна систематика* ґрунтується на знаннях еволюційних відносин між спорідненими групами й подібності багатьох ознак організмів.

**Філогенетична систематика** – напрям біосистематики, що визначає еволюційні взаємини серед різних видів на Землі, як сучасних, так і вимерлих. Інша назва цього напрямку – **кладистика** (від грец. *кладос* – гілка) через те, що організми класифікують у порядку їхнього відгалуження від еволюційного дерева, незважаючи на морфологічну подібність. Засновником та автором кладистики є німецький ентомолог **В. Хенніг** (1913–1976) (іл. 6). У сучасній біосистематиці філогенетика слугує основним підходом до біокласифікації, і всі сучасні системи певною мірою містять інформацію, отриману за допомогою цього підходу. Результатом кладистичного аналізу походження таксона є діаграми, що їх називають **кладограмми** (іл. 7).

Відповідно до завдань, що стоять перед систематиком, у її складі виокремлюють розділи – таксономію та номенклатуру. **Таксономія** вивчає принципи, методи й правила класифікації. Іншими словами, це теорія класифікації. Головна мета біологічної таксономії – створення природної системи органічного світу та з'ясування філогенетичної



Іл. 6. Віллі Хенніг



Іл. 7. Кладограма окремих таксонів хордових з виділеними характерними визначальними ознаками (апоморфіями)

спорідненості. **Біологічна номенклатура** вивчає систему наукових назв та правил найменування груп живих організмів, об'єднаних за певними спорідненими зв'язками. Для зведення цих правил існують спеціальні номенклатурні кодекси (наприклад, «Міжнародний кодекс ботанічної номенклатури», «Міжнародний кодекс зоологічної номенклатури»).

Отже, сучасна систематика описує й упорядковує існуючі й вимерлі види, класифікує та визначає еволюційні зв'язки для створення системи органічного світу.

## Які принципи наукової класифікації організмів?

**Класифікація** (від лат. *classis* – розряд, *facio* – робити) – це розділ систематики, в якому живі організми розподіляють за певною системою ієрархічно організованих категорій-таксонів. Класифікувати організм певного виду – це визначити ступінь його подібності й відмінності від інших організмів та вказати місце в системі органічного світу. Лише застосування різних методів систематики, глибокий аналіз ознак будови, функцій, поведінки та ретельне дослідження філогенетичних зв'язків дають змогу віднести вид до певного царства, типу, класу тощо. Кожній групі притаманні зазвичай визначальні відмінності, що властиві лише їй. Їх називають діагностичними ознаками. Так, волосяний покрив, діафрагма є діагностичними ознаками ссавців, а наявність плодів, квітів й подвійного запліднення – ознаками квіткових.

Розподіл організмів на групи здійснюється за допомогою систематичних категорій, якими є *домен, царство, тип, клас, ряд, родина, рід і вид*. Домени поєднують декілька царств, царства – поєднують типи і т. д. У систематиці цей принцип називають **принципом ієрархії**. У систематиці рослин й бактерій замість типу й ряду використовують відділ і порядок. За необхідності можуть бути використані проміжні категорії з префіксами **над-** чи **під-**, що додаються до основних (наприклад, підцарство, надцарство, підтип, надтип).

Основною і найменшою одиницею класифікації є вид. Назва виду згідно з **принципом бінарної номенклатури** складається з двох слів: перше слово вказує на родову належність, а друге – на видову. Наприклад: *пес свійський (Canis familiaris)* або *яблуна домашня (Malus domestica)*. Для порозуміння між науковцями різних країн щодо назв організмів в XVII ст. почали застосовувати міжнародну біологічну номенклатуру на основі латинської мови.

Отже, основними принципами наукової систематики є принципи ієрархічності та бінарної номенклатури.

Таксономічне положення виду тварин	
Домен	Еукаріоти
Царство	Справжні тварини
Тип	Хордові
Клас	Ссавці
Ряд	Псоподібні
Родина	Псові
Рід	Пес
Вид	Пес свійський

Таксономічне положення виду рослин	
Домен	Еукаріоти
Царство	Зелені рослини
Відділ	Стрептофіти
Клас	Квіткові
Порядок	Розоцвіті
Родина	Розові
Рід	Яблуна
Вид	Яблуна домашня



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Лабораторна робота 1

#### Визначення таксономічного положення виду в системі органічного світу

**Мета:** розвивати уміння застосовувати знання про критерії виду на практиці та формувати практичні уміння характеризувати види.

**Обладнання:** ілюстрації (гербарії, натуральні об'єкти тощо) двох видів одного роду.

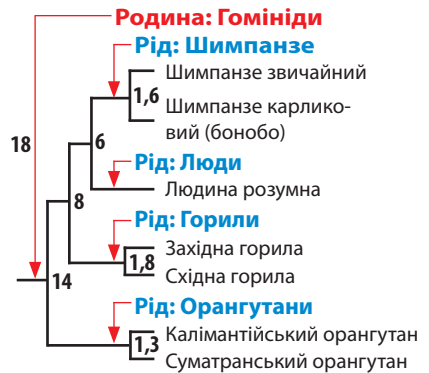
#### Хід роботи

1. Укажіть українські й латинські назви видів, обраних для характеристики.
2. За допомогою основних таксономічних категорій визначте місце видів у системі органічного світу.
3. Назвіть ознаки родової належності, які свідчать про найтісніші родинні зв'язки, що відображають подібність та спільність походження. Яка причина подібності видів?
4. Укажіть ознаки видової належності. Яка причина відмінностей видів?

#### Підсумок роботи.

### Біологія + Еволюція

Проаналізуйте кладограму гомінід, у якій відображено еволюційні зв'язки між існуючими нині видами (цифри вказують на час розходження груп у мільйонах років тому) та за її допомогою визначте таксономічне положення виду *Людина розумна*.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Туризм. Біорізноманіття і туризм

Тема Міжнародного дня біологічного різноманіття у 2017 р.: «Біорізноманіття та сталий туризм». Тему обрано у зв'язку із проголошенням Генеральною Асамблеєю ООН 2017 року Міжнародним роком сталого туризму. Чому підтримка біорізноманіття є обов'язковою умовою в організації туристичної діяльності? Яке значення біосистематики у вивченні біорізноманіття?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біорізноманіття? 2. Назвіть види біорізноманіття. 3. Що таке систематика? 4. Назвіть сучасні методи систематики. 5. Що таке класифікація? 6. Назвіть основні систематичні категорії.
7 – 9	7. Які чинники впливають на формування та розвиток біорізноманіття нашої Землі? 8. Назвіть основні методи, напрями та розділи сучасної систематики. 9. Які принципи наукової класифікації організмів?
10 – 12	10. Яке значення систематики для сучасних біологічних досліджень?

## § 6. Сучасні критерії виду

Основні поняття й ключові терміни: **Критерії виду. БІОЛОГІЧНИЙ ВИД.**

**Популяція. Підвид.**

**Пригадайте!** Які є рівні організації живої природи?



### **Поміркуйте!**

З колись численного ряду хоботних нині залишилося всього два роди – **африканський** та **індійський слони**. Африканські слони об'єднують два види – *слон саванний* (*Loxodonta africana*) та *слон лісовий* (*Loxodonta cyclotis*). Індійські (азійські) слони у сучасній фауні представлені лише одним видом – *Elephas maximus*, назва якого українською мовою збігається з назвою роду. Чому це різні види?



Слон саванний

Слон індійський



### **ЗМІСТ**

#### **Якими є критерії виду?**

**Критерії виду** (від грец. *критеріон* – засіб для суджень) – ознаки подібності між особинами одного виду, а також ознаки, за допомогою яких один вид відрізняють від іншого. Видову самостійність певної групи особин установлюють за такими критеріями, як *морфологічний, каріотипічний, фізіологічний, репродуктивний, біохімічний, географічний, екологічний*.

**Морфологічний критерій** передбачає виділення та опис зовнішніх ознак у особин одного виду. Так, за розмірами, забарвленням пір'я можна розрізнити зеленого й чорного дятлів (іл. 8). Цей критерій є найзручнішим і тому широко застосовується в систематиці. Проте в природі трапляються види, що їх неможливо розрізнити за зовнішніми ознаками. Це види-двійники – морфологічно схожі між собою, але відрізняються за іншими ознаками. Так, за назвою *пацюк чорний* виявлено два види-двійники, в яких 38 та 42 хромосоми.



Іл. 8. Чорний (1) і зелений (2) дятли

**Каріотипічний (генетичний) критерій** пов'язаний з вивченням кількості хромосом у каріотипі та особливостей їхньої будови. Саме ці особливості визначають *генетичну відокремленість* як головну ознаку виду. Це пояснюється тим, що особливості та кількість хромосом впливають на перебіг мейозу й забезпечують відносну генетичну ізоляцію видів у природі. У тих випадках, коли міжвидове схрещування все ж таки відбувається, гібридні особини або є стерильними, або із меншою життєздатністю. Це один із найнадійніших критеріїв, проте й він не є абсолютним. Так, усі шість видів-двійників малярійного комара мають  $2n = 2, 46$  хромосом є не лише в каріотипі людини, а й у люпину.

**Фізіологічний критерій** полягає в подібності процесів життєдіяльності особин одного виду.

**Репродуктивний критерій** пов'язаний із неможливістю схрещування особин різних видів через морфологічні, етологічні, каріотипічні та інші відмінності. Але й цей критерій «спрацьовує» не завжди: встановлено чимало різних видів, які можуть схрещуватися в природі й давати плідні гібриди. Прикладами є міжвидові гібриди зайця-русака й зайця-біляка, одно- й двогорбого верблюдів, терену й аличі та ін.

**Біохімічний критерій** для визначення видової належності передбачає аналіз особливостей будови і складу макромолекул та перебігу певних біохімічних реакцій. Так, особини одного виду мають спільну структуру ДНК, синтезують подібні білки. Але й біохімічний критерій є відносним. Наприклад, для особин виду характерний білковий поліморфізм або в особин різних видів є однакові гени.

**Географічний** критерій пов'язаний з тим, що кожен вид займає певну територію або акваторію (ареал). Але у величезній кількості видів ареали або збігаються, або перекриваються. Крім того, існують види, що не мають чітких меж поширення, а також *види-космополіти* (ряска, кімнатна муха, рудий тарган), що мешкають на величезних просторах суходолу або Океану.

**Екологічний** критерій передбачає пристосованість до певних умов існування. Для кожного виду характерні певні умови середовища існування, що їх називають *екологічною нішею*. Так, жовтець їдкий росте на заплавах луках, а жовтець повзучий – по берегах річок. Однак існують види, які не мають суворой екологічної приуроченості.

Критерії виду пов'язані між собою і визначають якісну особливість виду. Але жоден з них не є абсолютним. Лише в сукупності описані критерії дають змогу з достатньою надійністю встановити приналежність організму до того чи іншого виду.

Отже, види і належність особини до певного виду визначають за сукупністю ознак-критеріїв, які взаємно доповнюють один одного.

### **Чому в науці немає єдиного розуміння виду?**

Універсального визначення виду немає, але у становленні цього поняття відіграли свою роль різні концепції. Найдавнішою і найпоширенішою є *морфологічна концепція*, згідно з якою видом є сукупність особин, які відрізняються від інших певними зовнішніми ознаками. Концепція не стала загальноприйнятою через те, що у природі особини одного виду можуть відрізнитися у випадках статевого диморфізму (наприклад, самці й самки індійського слона чи жуків-оленів), поліморфізму – наявності в межах популяції декількох груп особин, що відрізняються зовнішніми особливостями (наприклад, червона й чорна форми сонечка двокрапкового) тощо.

В основі *біологічної концепції виду* лежить поняття репродуктивної ізоляції і, відповідно, відсутність гібридів за умов проживання на одній території близьких видів. Але вона також є недосконалою, про що свідчать численні приклади гібридизації видів у природі та наявність гібридних зон між близькими видами. Найуживанішим у біології є визначення виду, сформульоване саме з позицій біологічної концепції виду. **БІОЛОГІЧНИЙ ВИД** (лат. *species*) – *сукупність особин у складі популяцій, що характеризуються спадковою подібністю ознак, вільно схрещуються і дають плодюче потомство, пристосовані до певних умов життя і займають у природі певну територію – ареал.*



Згідно з *політипічною концепцією* вид може охоплювати різні за способом життя і будови форми (підвиди, групи популяцій). Представники цих груп час від часу можуть схрещуватися і давати плідне потомство. Але в особин одного виду є спільний генофонд, і вони захищені від проникнення генів інших видів певними бар'єрами ізоляції. Види, які не розділені на підвиди, називаються *монотипічними*. Найчастіше такими видами є *ендеміки* (наприклад, саламандра плямиста) чи *релікти* (наприклад, гатерія). Види, що складаються з двох і більше підвидів, називаються *політипічними*. Так, вид бурий ведмідь має 8 підвидів, а лисиця звичайна – аж 17.

Завдяки використанню молекулярно-біологічних і генетичних методів досліджень у систематиці став можливим бурхливий розвиток *філогенетичної концепції виду*, яка відображає еволюційні зв'язки між організмами і не акцентує увагу на репродуктивній ізоляції. Найбільшого значення набувають кладистичні методи й побудова кладограм, у яких для оцінювання еволюційних відносин використовуються лише унікальні для певного таксона ознаки.

Отже, різні погляди й концепції на поняття виду пов'язані зі складністю узагальнення вражаючого видового різноманіття та різноманітністю способів їхнього виникнення.

### Які основні структурні одиниці виду?

У природі види ізолювані один від одного. Проте особини й одного виду всередині ареалу поширені нерівномірно. В його межах місця, сприятливі для їхнього існування, чергуються з ділянками, непридатними для їхнього життя. Через те всередині ареалу вид розпадається на дрібніші популяційні групи особин. **Популяція** – це сукупність особин одного виду, які упродовж багатьох поколінь існують у межах певної території виду, вільно схрещуються і відносно ізолювані від інших популяцій виду.

Вищою структурною одиницею в межах виду в рослин й тварин є підвиди, які можуть відрізнятися один від одного різними ознаками: зовнішнім виглядом, особливостями будови, поведінкою, фізіологічними функціями тощо (іл. 9).

**Підвид** – географічно або екологічно відокремлена частина виду, особини якої під дією чинників середовища набули стійких особливостей, що відрізняють їх від інших підвидів. Наявність підвидів характерна тільки для політипічних видів, які мають великі ареали з різноманітними умовами. У складі підвидів виокремлюють географічні раси (у тварин) та екотипи (у рослин).



Іл. 9. Підвиди виду плиска біла (*Motacilla alba*)

Отже, популяції й підвиди є формами існування біологічного виду, що забезпечують його пристосованість до конкретних умов існування в межах території ареалу.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Навчальний проект

#### Складання характеристики виду за видовими критеріями

Африканський та індійський (азійський) слони різняться настільки, що їх відносять до різних видів. Застосуйте знання про критерії виду та доведіть, що

це різні види. Використайте запропоновану таблицю та підготуйте для захисту навчальний проект, в якому наведіть характеристику обраного виду.

**Таблиця. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДІВ ЗА ВИДОВИМИ КРИТЕРІЯМИ**

Критерій виду	Слон саванний	Слон індійський
1. Морфологічний		
2. Каріотипічний		
3. Фізіологічний		
4. Біохімічний		
5. Географічний		
6. Екологічний		

### Завдання на застосування знань

**Морський дракон рубіновий** (*Phyllopteryx dewysea*) – вид морських істот яскраво-червоного кольору з рожевими вертикальними штрихами, які живуть у морській воді на глибині 45–50 м. Проаналізуйте опис та спробуйте самостійно визначити місце цього виду в системі органічного світу.



«Ці організми характеризуються переважно полігеномними клітинами, сформованим ядром та наявністю мембранних органел. Одними з найголовніших ознак є гетеротрофність і здатність активно рухатись. Морфологічні особливості: наявність на певній стадії життя хорди, нервової трубки та зябрових щілин. Парні плавці цих морських істот не мають м'язистих лопатей біля основи. Різні види мешкають серед морських трав і тримаються у воді вертикально. Самці цих тварин прикріплюють ікринки до хвоста. Ще однією ознакою є зростлі щелепи і маленький трубкаподібний рот».



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Сільське господарство

У межах виду кукурудза культурна (*Zea mays*) в систематиці розрізняють дев'ять підвидів кукурудзи, серед яких виокремимо кременисту (*Z. mays indurata*), зубоподібну (*Z. mays indentata*), крохмалисту (*Z. mays amylacea*) та цукрову (*Z. mays saccharata*). За якими ознаками розрізняють ці підвиди кукурудзи? Визначте таксономічне положення кукурудзи в системі органічного світу та оцініть практичне й наукове значення цього виду.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке критерії виду? 2. Назвіть основні критерії виду 3. Що таке біологічний вид? 4. Наведіть приклади видів. 5. Що таке популяція? 6. Що таке підвид?
7 – 9	7. Якими є критерії виду? 8. Чому в науці немає єдиного розуміння виду? 9. Назвіть основні структурні одиниці виду.
10 – 12	10. На конкретному прикладі складіть характеристику виду за видовими критеріями.

## § 7. Неклітинні форми життя. Віруси

**Основні поняття й ключові терміни:** Неклітинні форми життя. Віроїди. Пріони. ВІРУСИ.

**Пригадайте!** Що таке молекулярний рівень організації життя?



### Поміркуйте!

На Землі є такі макромолекули й системи молекул, що перебувають на межі між неживою й живою природою. Вони, як і всі інші тіла неживої природи, утворені з атомів й простих молекул. А які ж ознаки поєднують їх із живою природою?



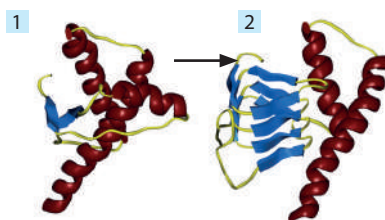
### ЗМІСТ

**Які особливості організації та функціонування неклітинних форм життя?**

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

**Віроїди** – неклітинні форми життя у вигляді одноланцюгової кільцеподібної РНК, що не кодує білків. Віроїди було відкрито в 1971 р. американським біологом Т. О. Дінером. Ці субмікроскопічні частинки захисної білкової оболонки не мають, їхня РНК містить 250–375 нуклеотидів і має масу від 86 – 130 кДа. Віроїди потрапляють у клітини організму хазяїна під час його вегетативного розмноження, за допомогою комах або механічним шляхом у разі пошкодження. Віроїди можуть завдавати значних збитків рослинництву, оскільки спричиняють віроїдні захворювання рослин (*веретеноподібність бульб картоплі, карликовість хризантем, каданг-каданг кокосових пальм, хвороба жовтих плям рису* та ін.).

**Пріони** – неклітинні форми життя, що є білковими частинками без нуклеїнової кислоти. Пріони складаються із особливого білка, який існує у вигляді двох форм: нормальний білок масою близько 25 400 а. о. м. та аномальний, що відрізняється вторинною структурою і здатний перетворювати нормальний білок на собі подібний (іл. 10). Особливостями пріонів є відсутність власного геному, висока стійкість до температури, ультрафіолету, радіації. Пріони не розпізнаються імунною системою як чужорідні білки й не провокують імунної відповіді. Відкрив пріони в 1982 р. американський біохімік С. Прузінер. На сьогодні пріони знайдено в клітинах бактерій, дріжджів й ссавців. Описано понад 10 небезпечних пріонних хвороб тварин й людини (*коров'ячий сказ, скреїп'я овець, губчаста енцефалопатія котятих, фатальне сімейне безсоння, хвороба куру* та ін.).

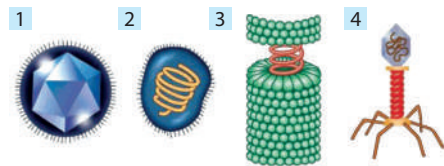


Іл. 10. Форма пріонів: 1 – нормальна форма білка; 2 – аномальна форма білка

Відкрив пріони в 1982 р. американський біохімік С. Прузінер. На сьогодні пріони знайдено в клітинах бактерій, дріжджів й ссавців. Описано понад 10 небезпечних пріонних хвороб тварин й людини (*коров'ячий сказ, скреїп'я овець, губчаста енцефалопатія котятих, фатальне сімейне безсоння, хвороба куру* та ін.).

**ВІРУСИ** (лат. *virus* – отрута) – це неклітинні форми життя, які є внутрішньоклітинними абсолютними паразитами (іл. 11). Наразі близько 5 000 видів вірусів

ідентифіковано, тоді як вчені вважають, що існує понад мільйон видів вірусів. Відкрито віруси в 1892 р. російським ботаніком Д. Івановським (1864–1920). Розміри більшості вірусів – у межах від 20 до 300 нм, хоча є серед них й справжні велетні серед неклітинних форм життя. Це мега-й мімівіруси з розмірами близько 600 нм.



Іл. 11. Вірусні частинки: 1 – герпесу; 2 – грипу; 3 – тютюнової мозаїки; 4 – бактеріофаг

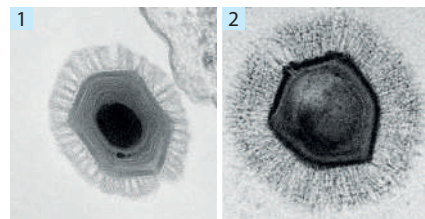
Віруси мають *капсид* з білкових частинок – *капсомерів* і нуклеїнову кислоту – *серцевину*. Структуру, що містить нуклеїнову кислоту і капсид, називають *нуклеокапсидом*. Повністю сформована інфекційна вірусна частинка називається *віріоном*. Унікальна властивість вірусів – різноманітність організації генетичного матеріалу. Вірусна нуклеїнова кислота може бути представлена одно- або дволанцюговими молекулами ДНК (ДНК-вмісні віруси) чи РНК (РНК-вмісні віруси). Для вірусів характерна специфічність, що полягає в можливості взаємодії вірусів лише з певними рецепторами клітинних мембран.

Віруси є внутрішньоклітинними паразитами архей, бактерій й еукаріотів і поза клітинами жодних ознак життя не виявляють. Для свого відтворення віруси використовують ресурси клітини-хазяїна, чим спричиняють вірусні захворювання. Основними систематичними одиницями для вірусів є порядок, родина, рід та вид. Категорії царства та відділів, бінарна номенклатура для вірусів не застосовуються.

Отже, неклітинні форми життя є складовою частиною біосфери, оскільки побудовані з органічних речовин, мають біотичні взаємовідносини, їм притаманні спадковість, мінливість, вони здатні до самовідтворення та ін.

### Яке походження вірусів?

Шляхи й механізми еволюції вірусів ще не достатньо вивчено. Існує декілька гіпотез походження вірусів: *гіпотеза регресивної еволюції* (віруси виникли шляхом спрощення клітин паразитичних бактерій), *гіпотеза паралельної еволюції* (віруси виникли незалежно від клітин, використовуючи їхні можливості), *гіпотеза «скажених генів»* (віруси – це «збігли» частини геному клітин-хазяїв).



Іл. 12. Одні з найбільших вірусів: 1 – мегавірус; 2 – мімівірус

Найбільші зміни у поглядах щодо походження вірусів сталися внаслідок відкриття велетенських вірусів, як-то мімівіруси, мамавіруси, мегавіруси та ін. (іл. 12). Мегавірус чілійський має найбільший з-поміж вірусів ДНК-геном, який налічує 1 259 197 пар нуклеотидів й містить інформацію про 1120 білків, що сумірно з багатьма паразитичними бактеріями. У велетенських вірусів виявлено гени білків, що їх раніше ніколи не виявляли в жодного з вірусів. Але й це ще не все: у мамавірусів виявлено суперпаразити – вірофаги-супутники. І зовсім нещодавно, у квітні 2017 р., в журналі *Science* було опубліковано повідомлення про новий велетенський вірус, що названий «кლოსнійвірус» (*Klosneuvirus, KNV*) на честь невеличкого містечка Клостернойбург в Австрії. Вірус містить майже повний набір із 19 ферментів-синтез для вбудовування 20 типів амінокислот у процесі біосинтезу білків.

Філогенетичні дослідження протеомів (усієї сукупності білків) нововідкритих велетенських вірусів можуть свідчити на користь гіпотези регресивної еволюції, згідно з якою віруси виникли від клітинних істот шляхом спрощення і є, таким чином, найдавнішими істотами на Землі. Або, можливо, велетенські віруси пішли від менших ДНК-вірусів шляхом поступового накопичення додаткових генів.

Порівняння геномів велетенських вірусів з аналогами в доменах Бактерій, Археїв та Еукаріотів свідчать на користь гіпотези про те, що віруси – це живі істоти, які можуть становити окремий домен органічного світу. Їх протеоми схожі на такі самі у багатьох бактерій, однак у вірусів наявні білки, що їх немає у клітинних організмів, а це свідчить про особливість їхньої еволюції.

Отже, на сучасному етапі розвитку науки не існує єдиного погляду щодо виникнення вірусів. Натомість поширені погляди, що різні віруси виникали незалежно на різних етапах розвитку життя на Землі.

### Як віруси взаємодіють з клітинами?

Віруси не можуть самостійно поширюватись у природі, й допомагають їм у цьому насамперед живі організми: *комахи* (наприклад, попелиці переносять близько 160 різних арбовірусів), *кліщі*, *ґрунтові нематоди*, *рослини-паразити* (наприклад, повитиця переносить близько 50 вірусів рослин), *людина* (для вірусів грипу).

Шляхи проникнення вірусів до організму хазяїна бувають різними. Це: 1) *повітряно-краплинний шлях* (віруси грипу, вітряної віспи, кору); 2) *з їжею та водою* (вірус ящуру з молоком ураженої корови, гепатит А); 3) *крізь покриви тіла* (віруси герпесу, сказу, папіломи); 4) *під час переливання крові та хірургічних операцій* (вірус гепатиту В); 5) *статевим шляхом* (вірус герпесу, СНІДу); 6) *за участі переносників* (кліщів – вірус тайгового енцефаліту, комарів – вірус лихоманки Зіка); 7) *з пилком рослин* (віруси мозаїки картоплі).

Залежно від властивостей вірусу і клітини-хазяїна, а також умов середовища розрізняють такі основні типи взаємодії вірусів із клітиною: а) *продуктивна інфекція* – розмноження вірусу призводить до руйнування і загибелі клітини; б) *абортивна інфекція* – взаємодія, за якої клітини залишаються живими, а дозрілі віріони не утворюються; в) *вірогенія* – геном вірусу поєднується з генетичним апаратом клітини і під час поділу клітини може тривалий час передаватися дочірнім клітинам; через деякий час за певних умов починає розмножуватися і спричиняє загибель клітини.

Отже, взаємодії вірусів із клітинами мають різноманітний та складний характер.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на порівняння

За допомогою таблиці порівняйте неклітинні форми життя. Укажіть спільні й відмінні ознаки.

**Таблиця. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКЛІТИННИХ ФОРМ ЖИТТЯ**

Ознака	Віроїди	Пріони	Віруси
Відкриття			
Розміри			
Хімічний склад			
Особливості			
Хвороби			

## Біологія + Медицина. Вірусні захворювання

Майже 95 % відомих інфекційних захворювань спричиняють або віруси, або бактерії. Бактеріальні хвороби сучасна медицина лікує ефективно за допомогою великої кількості різних антибіотиків, а ось з вірусними поки що справитися не може. Нині описано понад 500 вірусів, що спричиняють інфекційні захворювання людини і тварин, серед яких найнебезпечнішими є *геморагічна лихоманка Ебола*, *геморагічна лихоманка Марбург*, *СНІД*, *близькосхідний респіраторний синдром (MERS)*, *важкий гострий респіраторний синдром (SARS)* та ін. Чим віруси відрізняються від бактерій? На вашу думку, чому сучасній медицині важко перемогти вірусні інфекції?



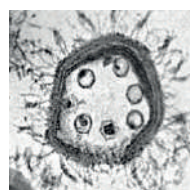
Вірус Ебола



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Біорізноманіття. Віруси вірусів

У 2008 р. всередині мімівірусів, що паразитують у клітинах *акантамеби всеїдної (Acanthamoeba polyphaga)*, було відкрито паразити вірусів, що їх назвали вірофагами. Власний геном вірофагів є дивовижним: він містить гени, запозичені у мімівірусів, архей, бактеріофагів і вірусів еукаріотів. А чи можна їх використати для боротьби з вірусними інфекціями? Обґрунтуйте свої судження.



Вірофаги всередині мімівірусів



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке неклітинні форми життя? 2. Назвіть неклітинні форми життя. 3. Що таке віруси? 4. Наведіть приклади вірусів. 5. Назвіть гіпотези походження вірусів. 6. Назвіть основні типи взаємодії вірусів із клітинами.
7 – 9	7. Які особливості організації та функціонування неклітинних форм життя? 8. Яке походження вірусів? 9. Як віруси взаємодіють з клітинами?
10 – 12	10. Що є спільного й відмінного між вірусами, пріонами й віроїдами?

*Віруси – такий самий компонент довкілля, як вода чи повітря.  
Основи системної біології*

## § 8. Роль вірусів у природі й житті людини

**Основні поняття й ключові терміни: ВІРУСИ.**

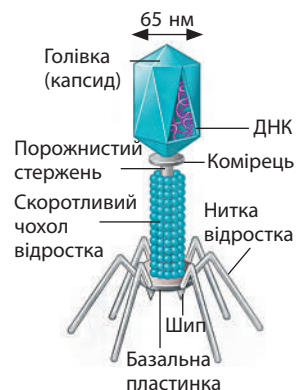
**Біологічний метод боротьби зі шкідниками.**

**Пригадайте!** Що таке віруси?



### Новини науки

Віруси є найчисленнішою й найрізноманітнішою формою життя на планеті Земля. Так, у 1 мл океанічної води лише вірусів-бактеріофагів міститься близько  $5 \cdot 10^7$ . Віруси регулюють кількість мікроорганізмів і впливають таким чином на фотосинтез, кругообіг речовин, процеси мінералізації у біосфері та ін. Як розмножуються і яка роль вірусів у біологічній еволюції?





## ЗМІСТ

### Які особливості життєвого циклу вірусів?

У життєвому циклі вірусів чергуються дві фази – позаклітинна (віріон) і внутрішньоклітинна (іл. 13). Фаза віріона характеризується відсутністю будь-яких проявів життя, а упродовж внутрішньоклітинної фази життєвого циклу виявляються властивості вірусів, що закодовані в їхньому геномі, й відбувається їхнє відтворення. Незалежно від типу генетичного матеріалу віруси мають подібні загальні стадії життєвого циклу.

**Адсорбція вірусів** – це прикріплення віріонів до поверхневого апарату клітини-хазяїна. Між білками вірусів й рецепторами клітини виникають електростатичні взаємодії, що забезпечують тимчасове нестійке приєднання віріонів.

**Проникнення в клітину** в різних вірусів здійснюється різними шляхами: а) ендоцитозу (віропексису) з утворенням внутрішньоклітинних вакуолей; б) злиттям плазматичної мембрани з оболонкою вірусу; в) шляхом впорскування (наприклад, у бактеріофагів) тощо.

**«Роздягання» вірусів** у клітині забезпечує звільнення нуклеїнової кислоти вірусу від захисної білкової оболонки для наступної реалізації вірусного геному. У фагів цієї стадії немає, оскільки білкова оболонка залишається на поверхні бактеріальної клітини.

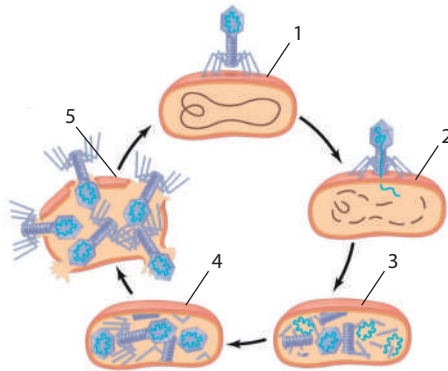
**Відтворення компонентів вірусних частинок** забезпечують три процеси: транскрипція, трансляція й реплікація. *Транскрипція* полягає в переписуванні інформації з вірусних ДНК чи РНК та утворенні іРНК, що відбувається в ядрі (нуклеоїді). *Трансляцією* називається процес переведення інформації іРНК у послідовність амінокислот молекул білків. Відбувається трансляція на рибосомах за допомогою тРНК й ферментів. *Реплікація* – синтез молекул нуклеїнової кислоти, що каталізується переважно клітинними ферментами. Таким чином, відтворення вірусів відбувається відокремлено, неодноразово і в різних частинах клітини. Такий спосіб розмноження вірусів називають роз'єднаним (диз'юнктивним).

**Збирання віріонів** відбувається усередині клітин або шляхом відбрунькування в зовнішнє середовище. **Вихід вірусів** із клітин може супроводжуватися збереженням життєдіяльності клітини або її руйнуванням і загибеллю.

Отже, найзагальнішими особливостями життєвого циклу вірусів є наявність двох фаз, використання ресурсів клітини та роз'єднаний спосіб розмноження.

### Яка роль вірусів в еволюції організмів?

Все живе на Землі насичено різними вірусами, що свідчить про їхню необхідність у живій природі та важливі функції у біосфері. Віруси відіграють ключову



Іл. 13. Життєвий цикл фагів: 1 – адсорбція бактеріофага; 2 – впорскування ДНК у клітину; 3 – синтез вірусних ДНК і білків; 4 – збирання вірусних частинок; 5 – вихід із клітини

біологічну роль на всіх рівнях організації життя. Вони визначають еволюцію організмів завдяки своїй патогенності, здатності до антагоністичних і симбіотичних відносин та участі в горизонтальному перенесенні генів.

*Патогенні віруси є рушійною силою еволюції імунної системи.* Кожен живий організм, від кишкової палички, хлорели, дріжджів до сінього кита чи секвої, може інфікуватися принаймні одним, а зазвичай кількома вірусами.

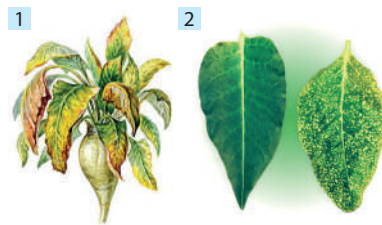
Вірусними захворюваннями рослин є *жовтяниця, мозаїчні хвороби, строкатолистість, готика* та ін. (іл. 14). У людини віруси спричиняють *гепатит В, простий герпес, папілому, натуральну віспу* (ДНК-вмісні вірусні інфекції), *грип, гепатит А, енцефаліт, кір, свинку, поліомієліт, сказ, СНІД* (РНК-вмісні вірусні інфекції) та ін. Найпоширенішими вірусними захворюваннями тварин є *ящур, чумка собак, чумка курей* та ін.

Вірусна інфекція є потужною силою, котра формує механізми захисту хазяїв. Наприклад, модифікації поверхні клітин з метою запобігання проникненню бактеріофага, система *CRISPR* бактерій та архей, гуморальний й клітинний імунітет людини тощо. У процесі еволюції віруси виробляють свої способи захисту від імунної системи. Наприклад, вони здатні блокувати роботу *NK-кілерів, інтерферону, Т-лімфоцитів.*

Завдяки патогенності *віруси регулюють чисельність своїх хазяїв* (наприклад, ДНК-віруси морських водойм регулюють кількість бактерій) і впливають на процес фотосинтезу в Світовому океані, кругообіг Карбону і навіть на погоду. Так, біогенні сульфуровмісні гази вивільняються через те, що віруси вбивають певні види водоростей. Потім в атмосфері внаслідок окиснення утворюються кислотні краплинки, що слугують ядрами конденсації для хмар.

За допомогою вірусів відбувається *горизонтальне перенесення генів*, тобто передача генетичної інформації між особинами різних видів. Фрагменти ДНК вірусів багатьма видами організмів часто «приручаються» й починають виконувати корисні функції. Це явище настільки поширено, що науковці запропонували спеціальний термін – «молекулярне одомашнення». Так, *ендогенні ретровіруси*, що їх людина успадкувала мільйони років тому, здатні впливати на гени, які відповідають за функціонування плаценти. Ці віруси відіграють важливу роль в ембріогенезі, допомагаючи боротися з інфекційними вірусами, у створенні нейронних мереж головного мозку людини тощо.

У процесі еволюції сформувалися не лише антагоністичні, а й *симбіотичні відносини вірусів* з іншими організмами. Так, мутуалізм вірусу й гриба дає змогу просу витримувати високі температури. Вірус виткого закручування тютюну збільшує плодовитість й тривалість життя комах-білокрилок у 12 та 6 разів відповідно, якщо вони живляться на заражених вірусом рослинах тютюну.



Іл. 14. Жовтяниця буряка (1)  
і мозаїка томатів (2)

Отже, віруси є потужним еволюційним чинником,  
і кожна форма життя на Землі зазнавала і зазнає впливу вірусів  
у минулому й теперішньому часі.

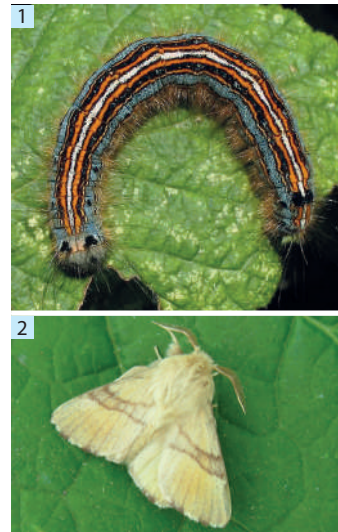


## Як віруси використовуються у біологічних методах боротьби зі шкідливими видами?

**Біологічні методи боротьби** – це використання вірусів, організмів або продуктів їхньої життєдіяльності для запобігання або зменшення шкоди, що її завдають шкідники. Метою біологічних методів боротьби є не повне винищення виду, а утримання його кількості на оптимальному рівні. Вперше біологічний метод боротьби з використанням вірусів застосували для боротьби з кроликами в Австралії. Популяцію цих тварин заразили вірусом міксоматозу. Хвороба швидко поширилась і призвела до загибелі 99,8 % кролів, що на певний термін знизило їхню чисельність. У кроликів, які вижили, сформувався імунітет проти міксоматозу. Для боротьби з цими тваринами дещо пізніше почали застосовувати вірус геморагічної лихоманки кролів.

Найчастіше використовують віруси для боротьби з комахами-шкідниками. Наприклад, представники бакуловірусів можуть спричиняти поліедрози і гранульози у таких комах, як непарний та кільчастий шовкопряди, американський білий метелик, соснова совка, пильщики та ін. (іл. 15). Так, в Канаді, в провінції Онтаріо, для боротьби з ялиновим пильщиком використали вірусний препарат поліедрозу. Хвороба різко знизила чисельність шкідника, і було збережено великі площі лісів.

З метою збільшення патогенності вірусів у їхній генетичний матеріал вбудовують чужорідні гени. Наприклад, у геном вірусів поміщали ген отрути скорпіонів, гени гормонів, що порушують нормальний розвиток комах.



Іл. 15. Кільчастий шовкопряд:  
1 – гусениця; 2 – доросла комаха

Отже, використання вірусів для боротьби зі шкідниками є перспективним напрямом у застосуванні біологічних методів.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з таблицею

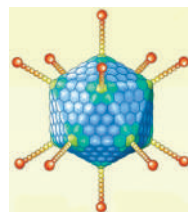
Віруси і бактерії – найменші об'єкти живої природи. Заповніть таблицю і визначте відмінності між вірусами й бактеріями.

#### **Таблиця. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІРУСІВ Й БАКТЕРІЙ**

Ознаки	Віруси	Бактерії
Розміри		
Генетичний апарат		
Особливості будови		
Особливості життєдіяльності		
Особливості поведінки		
Розмноження		

## Біологія + Геометрія. Ікосаедрична форма

За формою віронів розрізняють сферичні, паличкоподібні, ниткоподібні та інші віруси. У багатьох видів вірусів (аденовіруси, віруси поліомієліту, герпесу, папіломи) віріони мають правильний багатогранний капсид у вигляді ікосаедра, всередині якого міститься нуклеїнова кислота. Що таке ікосаедр? Чому ікосаедрична форма є «вигідною» природною структурою?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Біосфера. Роль вірусів у природі

Проаналізуйте зміст таблиці й оцініть негативне й позитивне значення вірусів існування й розвитку біосфери Землі.

Роль вірусів у природі	Роль вірусів у житті людини
<i>Регуляція чисельності організмів і вплив на біосферу (наприклад, ДНК-віруси водойм регулюють кількість бактерій і впливають на фотосинтез океану, кругообіг Карбону і навіть на погоду)</i>	<i>У медицині як збудники вірусних хвороб, для розпізнавання бактеріозів за допомогою бактеріофагів</i>
<i>Еволюційний чинник зміни генетичної інформації організмів</i>	<i>У сільському і лісовому господарстві як учасники біологічного методу боротьби із шкідниками</i>
<i>Рушійний чинник еволюції імунної системи й захисних реакцій організмів</i>	<i>У генетичній інженерії в якості векторів для перенесення генів</i>
<i>Учасники симбіотичних й антагоністичних відносин з іншими організмами</i>	<i>У медицині для розпізнавання та лікування бактеріальних захворювань за допомогою бактеріофагів</i>



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке життєвий цикл вірусів? 2. Назвіть основні стадії життєвого циклу вірусів. 3. Наведіть приклади вірусних захворювань рослин, тварин й людини. 4. Які властивості вірусів визначають їхню роль в еволюції? 5. Що таке біологічний метод боротьби зі шкідниками? 6. Наведіть приклади використання вірусів для біологічної боротьби зі шкідниками.
7 – 9	7. Які особливості життєвого циклу вірусів? 8. Яка роль вірусів у еволюції організмів? 9. Які віруси використовують у біологічному методі боротьби зі шкідниками?
10 – 12	10. Оцініть роль вірусів в еволюції біосфери.

*Найважливіший та продуктивний сучасний напрям біології – це знання про ту частину природи, до якої належать найдрібніші представники живого.*

*М. Беєрінк*

## § 9. Прокаріотичні організми: археї

**Основні поняття й ключові терміни:** АРХЕЇ. Археї-екстремофіли.

**Пригадайте!** Хто такі прокаріоти?



### Знайомтеся!

**Карл Воуз** (1928–2012) – американський біолог, поділив всі організми на домени Бактерії, Археї та Еукаріоти. До його досліджень живу природу поділяли на два надцарства –



Прокаріоти та Еукаріоти. Філогенетичне дерево життя, збудоване Воузом, показує значну різноманітність світу мікроорганізмів.



## ЗМІСТ

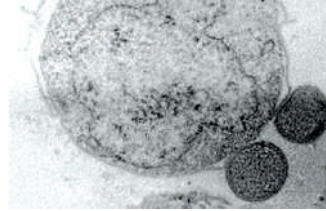
### Які особливості організації відрізняють архей від бактерій та еукаріотів?

**АРХЕЇ** (*Archaea*) – прокариотичні одноклітинні мікроорганізми з біохімічними особливостями, що відрізняють їх від бактерій та еукаріотів. Це найдавніші організми, предки яких з'явилися на Землі близько 3,8 млрд років тому. Розміри архей – від 0,4 до 15 мкм у діаметрі. Найменшими серед археїв є наноархеї (0,4 мкм), які паразитують у клітинах інших архей (іл. 16).

Археї були відкриті у 1977 р. К. Воузом, який разом із своїм аспірантом Дж. Фоксом порівнював послідовності нуклеотидів у генах 16S-рРНК різних організмів. Одного разу вони виявили мікроорганізми, в яких нуклеотидні послідовності рРНК відрізнялися від рРНК бактерій і еукаріотів. Це стало однією із найважливіших наукових подій ХХ ст. Нова група отримала назву **АРХЕЇ** (від грец. *археос* – дуже давній) і новий таксономічний ранг – домен. Це відкриття стало основою для створення К. Воузом системи трьох доменів (1985), що була першою молекулярно-філогенетичною системою живої природи. У ній виокремлюють домени Археї, Бактерії та Еукаріоти. Відкриттю архей сприяв вдалий вибір об'єктів для молекулярно-філогенетичних досліджень. Гени рРНК є дуже консервативною частиною геному, вони не змінювали свою функцію понад 3 млрд років і наявні в усіх клітинних істот. Все це зробило їх чудовим маркером філогенетичних подій.

Археї мають свою незалежну еволюційну історію і характеризуються багатьма рідкісними властивостями, що відрізняють їх від бактерій та еукаріотів. Які ж це особливості?

1. *Геном* археїв представлений дволанцюговою ДНК у нуклеоїді та кільцевими плазмідами. Містить білки-гістони, унікальні інтрони, що відрізняються від еукаріотичних. Гени тРНК та рРНК археїв різняться між собою специфічним складом й послідовністю нуклеотидів.
2. *Клітинна оболонка* архей не містить муреїну, в багатьох видів утворена поверхневими білками (так званий S-шар) та псевдомуреїном. Оболонка здійснює ефективний захист, і тому, можливо, археї ніколи не утворюють спор для існування за несприятливих умов, як це є у бактерій.
3. *Клітинні мембрани* різняться структурою й хімічним складом, що визначають їхню більшу стійкість за екстремальних умов існування. У археїв мембрани одношарові, утворені з особливих фітанолгліцеридів, а не фосфоліпідів, як в інших клітинних організмів.
4. *Рухи* забезпечуються *джгутиками*, відмінними від джгутиків бактерій: ростуть шляхом приєднання субодиниць білка флагеліну від основи, джерелом енергії для їхнього руху є АТФ тощо.
5. *Розмноження* нестатеве (бінарний поділ, множинний поділ, фрагментація й брунькування).



Іл. 16. Наноархея (*Nanoarchaeum equitans*) і більша клітина-хазяїн археї ігнікокус (*Ignicoccus hospitalis*)

6. Живлення хемоавтотрофне й хемогетеротрофне з використанням найрізноманітніших джерел енергії: світла, органічних сполук, амоніаку, йонів металів, водню та ін. Археям притаманні унікальні метаболічні процеси: бактеріородопсиновий фотосинтез і метагенез.

Отже, археї є самостійним доменом живої природи і відрізняються від бактерій й еукаріотів низкою ознак на молекулярному рівні організації.

### Які особливі процеси метаболізму характерні для архей?

На початкових етапах розвитку життя археї були домінуючими формами життя і відігравали ведучу роль у біологічній міграції елементів. У ті часи особливе значення мали процеси отримання енергії за умов високого вмісту молекулярного водню й відсутності кисню та органічних речовин. Ці процеси збереглися в архей до теперішнього часу.

**Метагенез** – процес отримання енергії у безкисневих умовах з утворенням метану. Серед метаногенних архей є автотрофні види, які здатні до фіксації вуглекислого газу, й гетеротрофні види, які продукують метан завдяки здатності до метанового бродіння. Автотрофним археям-метаногенам для життя достатньо водню, вуглекислого газу й води. Унікальна в живому світі реакція синтезу метану слугує для них джерелом енергії для синтезу власних органічних сполук:



Ці істоти можуть виживати навіть в умовах Марсу чи Венери. Близько 1,5 % Карбону, що бере участь у біосферному кругообігу, проходить через стадію метану за участі метаногенних архей. Утворення метану відбувається на дні морів й прісних водойм, у болотах, ґрунтах тундри й рисових полів. Метаногени є внутрішньоклітинними симбіонтами деяких твариноподібних організмів, входять до складу кишкової мікрофлори, термітів, жуйних тварин, приматів й людини.

**Бактеріородопсиновий фотосинтез** відкритий у солелюбних архей-галофілів, які мають фіолетовий світлочутливий пігмент – бактеріородопсин. Галофіли існують завдяки використанню органічних сполук, вони можуть рости за наявності кисню й без нього. За відсутності кисню й наявності яскравого світла в них утворюються пурпурові фотомембрани, що містять пігмент, подібний до людського родопсину. За участі цього пігменту енергія світла перетворюється в енергію АТФ, що допомагає їм пережити періоди нестачі кисню. Галофільні археї є основою екосистем з екстремальними умовами життя. Так, у водах Мертвого моря в складі бактеріальних матів виявлено 20 видів солелюбних архей. Там їхня кількість досягає десятків мільйонів клітин на 1 мл.

Отже, археї у наш час посідають у біосфері своєрідне місце, здійснюючи метаболічні процеси в умовах, недоступних для інших організмів.

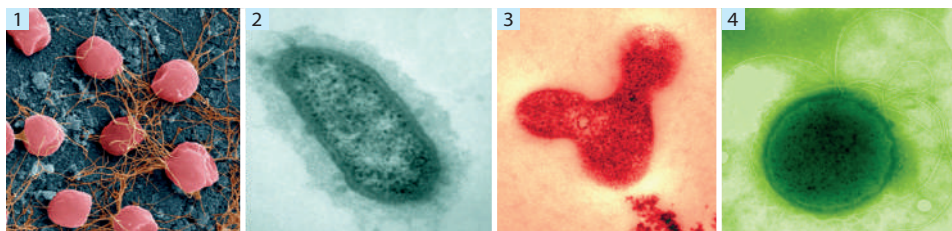
### Де поширені археї?

Археї поширені повсюдно – від гідротермальних джерел, кратерів вулканів, й дна Північного Льодовитого океану до травної системи людини й термітів. На сьогодні описано вже понад 50 видів археїв, адаптованих до найрізноманітніших умов. За оцінками вчених, археї у сучасній біосфері становлять близько 20 % від її загальної біомаси (іл. 17).

Відомо, що серед архей є велика кількість **видів-екстремофілів**, які живуть за дуже високих температур, часто вище від 100 °С, як ті, котрих знайшли в гейзерах і чорних курцях (так звані археї-термофіли). Інших виявлено в надзвичайно

солоному (археї-галофіли), кислому (археї-ацидофіли) або лужному (археї-алкалофіли) середовищі. Так, архея піролобус (*Pyrolobus fumarii*) живе біля підводних гідротермальних джерел, температура води яких +106 °C і рН 5,5. Вижити за таких умов вони можуть завдяки особливостям клітинних мембран та великій кількості нуклеотидних пар гуанін – цитозин, сполучених трьома водневими зв'язками. Ще одна архея метанопірус (*Methanopyrus kandleri*) існує за температури +122 °C. Архея термококус (*Thermococcus gammatolerans*) витримує вплив радіації, що перевищує летальну дозу для людини в 3 000 разів.

Серед архей є й **види-мезофіли**, які живуть за звичайних умов водного чи ґрунтового середовища. Багато архей є **симбіотрофними видами** різних організмів. Так, мутуалістичні метаногенні археї беруть участь у розщепленні целюлози в кишечнику термітів та жуйних тварин. Описано види архей-коменсалів, які живуть на шкірі, у травній системі людини.



Іл. 17. Представники архей: 1 – пірококус (*Pyrococcus furiosus*) – є джерелом ферментів у біотехнології; 2 – метанобревібактер (*Methanobrevibacter smithii*) з кишечника людини; 3 – фероплазма (*Ferroplasma acidophilum*), яка проживає за рН 0; 4 – термококус, яка витримує великі дози радіації

Отже, археї поширені скрізь і займають екологічні ніші, що є важкодоступними для інших організмів.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

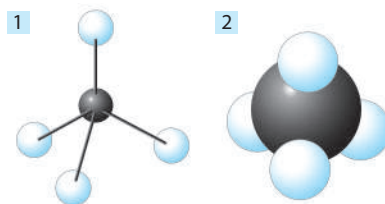
### Самостійна робота з таблицею

Назвіть особливості будови й життєдіяльності архей та заповніть у робочому зошиті таблицю «Особливості організації та функціонування архей». Що є причиною особливостей організації архей?

## Біологія + Хімія. Метанове бродіння

Метан ( $\text{CH}_4$ ) – це газ без кольору й запаху, малорозчинний у воді, але добре розчинний в органічних розчинниках; майже вдвічі легший за повітря (іл. 18). У природі метан утворюється внаслідок гниття рослинних решток без доступу повітря, розкладу кам'яного вугілля під землею. Звідси походить його назва болотний, або рудниковий, газ. Метан є основою біогазу, що його отримують завдяки метановому бродінню. Що таке біогаз і метанове бродіння?

Ознака	Особливості
Поверхневий апарат	
Цитоплазма	
Нуклеоїд	
Живлення	
Дихання	
Рух	
Розмноження	
Спороутворення	



Іл. 18. Кулестержнева (1), масштабна (2) модель молекули метану



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Міфологія. Класифікація архей

У домені Археї виокремлюють уже 13 типів, серед яких найбільш дослідженими є Кренархеоти та Евріархеоти. У 2015 р. виділено тип Локіархеоти (за іменем скандинавського бога Локі) з представниками, що їх вважають перехідними формами між прокаріотами й еукаріотами. У 2016 р. був описаний ще один тип архей – Торархеоти на честь бога Тора. І, нарешті, у 2017 р. описано типи Геймдальархеоти й Одінархеоти (на честь богів Геймдаля й Одіна). Що це за скандинавські боги? Які особливості вирізняють групи архей між собою й слугують ознаками для класифікації архей? Яка роль архей у біосфері?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі архей? 2. Наведіть приклади архей. 3. Що таке метагенез? 4. Що таке бактеріородопсиновий фотосинтез? 5. Хто такі архей-екстремофіли? 6. Наведіть приклади симбіозу серед архей.
7 – 9	7. Які особливості відрізняють архей від бактерій та еукаріотів? 8. Які особливі процеси метаболізму характерні для архей? 9. Де поширені архей?
10 – 12	10. Оцініть значення архей для існування біосфери.

*Земля – планета бактерій.  
Крейг Вентер*

## § 10. Прокаріотичні організми: бактерії

**Основні поняття й ключові терміни:** БАКТЕРІЇ. Горизонтальне перенесення генів.

**Пригадайте!** Хто такі прокаріоти?



### Новини науки

У зразках води й ґрунту, взятих на території заводу з переробки пластикових пляшок, було знайдено бактерії невідомого раніше виду *ідеонела* (*Ideonella sakaiensis*). Ці бактерії для свого живлення використовують пластик, розкладаючи його на безпечні для природи компоненти. Науковці підраховали, що бактерії здатні розкласти пластиковий пакет із найпоширенішого пластику поліетилентерефталату всього за 6 тижнів. Таку властивість бактерії розвинули упродовж останнього десятиліття – це їхня відповідь на велику кількість їжі нового типу. Як зазначають мікробіологи, бактерії мають вражаючу здатність адаптуватися до навколишнього середовища.



### ЗМІСТ

#### **Чим бактерії відрізняються від архей?**

**БАКТЕРІЇ** (*Bacteria*) – прокаріотичні одноклітинні мікроорганізми. У процесі еволюції бактерії адаптувались до життя у ґрунті, воді, повітрі, на поверхні й

всередині живих організмів. Основними групами бактерій є спірохети, протобактерії, актинобактерії, мікоплазми та ін. Бактерії є найчисленнішими й найпоширенішими організмами нашої планети. У них проста будова клітини, високі темпи розмноження, велика різноманітність типів й способів живлення, висока мінливість завдяки мобільним генетичним



Іл. 19. Схема будови клітинної оболонки грамнегативних (1) та грампозитивних (2) бактерій

елементам та горизонтальному перенесенню генів, наявність механізмів захисту від вірусів, вони мають здатність впадати в анабіоз й утворювати спори для витримування несприятливих умов. На сучасному етапі відбувається переважно біохімічна еволюція, завдяки чому вони можуть опанувати нові екологічні ніші, виробляючи нові ферменти для засвоєння нових поживних речовин.

У сучасній системі органічного світу ці організми об'єднано в домен Бактерії. Які ж найзагальніші особливості будови та життєдіяльності бактерій відрізняють їх від архей?

1. *Клітинна оболонка* бактеріальних клітин містить пептидоглікан (*муреїн*), що утворює жорстку решітку для захисту й опори, бере активну участь в обміні речовин, рості, розмноженні. За особливостями будови клітинної стінки бактерії поділяють на грамнегативні та грампозитивні (іл. 19).
2. Основою *клітинних мембран* бактерій є два шари фосfolіпідів і різноманітні за функціями білкові молекули. Дуже важливими для бактерій є такі функції мембран, як транспортування речовин, перетворення енергії, синтез речовин, що відбуваються за участі внутрішньоклітинних впинань (фотомембран, мезосом).
3. Для бактерій характерна надзвичайна різноманітність типів *живлення*: *фотоавтотрофний* (ціанобактерії), *хемоавтотрофний* (залізобактерії, сіркобактерії), *фотогетеротрофний* (пурпурні бактерії), *хемогетеротрофний* (сапротрофні бактерії).
4. *Гени* бактеріальної клітини складаються із безперервної кодувальної послідовності нуклеотидів. Поділу на інтрони й екзони немає. Характерною ознакою бактерій є наявність у клітині, поряд з нуклеоїдом, невеликих автономних плазмід.
5. Унікальними для бактерій процесами життєдіяльності є більшість типів бродіння, фіксація азоту, бактеріохлорофільний безкисневий фотосинтез та ін.
6. У багатьох бактерій відбувається утворення *спор* для існування за несприятливих умов, деякі здатні до інцистування для захисту й поширення.

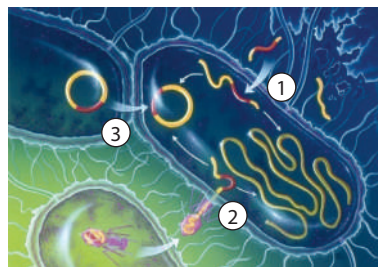
Отже, бактерії мають низку відмінностей будови й життєдіяльності, що стало основою для їхнього виокремлення в домен **БАКТЕРІЇ**.

### Які способи розмноження та обміну спадковою інформацією у бактерій?

Найчастіше у бактерій спостерігається швидкий *бінарний поділ*, що за сприятливих умов відбувається в межах від 15 до 30 хв. Різновидом бінарного поділу є *брунькування*. На одному з полюсів материнської клітини утворюється брунька, яка збільшується, а потім відокремлюється. У деяких бактерій виявлено *множинний поділ*. Йому передують реплікація ДНК і збільшення клітини, в якій далі відбувається кілька послідовних бінарних поділів з утворенням багатьох дрібних клітин.

Статевого розмноження у бактерій немає, оскільки не утворюються гамети. Але найголовніша подія статевого відтворення, а саме обмін генетичним матеріалом, у них є. Суттєву роль у цьому процесі відіграє горизонтальне перенесення генів між організмами різних видів.

**Горизонтальне перенесення генів** – процес, під час якого організм передає генетичний матеріал іншому організму, який не є його нащадком. Серед архей та бактерій горизонтальне перенесення генів є досить звичайним навіть між віддаленими видами. Завдяки цьому явищу в доядерних організмів забезпечуються комбінативна мінливість і здатність пристосовуватися до умов довкілля. Існують три загальні механізми горизонтального перенесення генів: трансформація, трансдукція й кон'югація (іл. 20). **Трансформація** (від лат.



Іл. 20. Механізми горизонтального перенесення генів: 1 – трансформація, 2 – трансдукція; 3 – кон'югація

*transformatio* – перетворення) – передача генетичного матеріалу між клітинами за участі ізольованої ДНК. При трансформації не потрібен безпосередній контакт між клітиною-донором і клітиною-реципієнтом. **Трансдукція** (від лат. *transductio* – переміщення) – передача генетичного матеріалу від однієї клітини іншій за допомогою вірусів. Явище трансдукції відкрите американськими вченими Д. Ледербергом і Н. Циндером ще у 1952 р. **Кон'югація** (від лат. *conjugatio* – поєднання) – передача генетичного матеріалу від клітини-донора у клітині-реципієнтові при безпосередньому контакті клітин. Необхідною умовою кон'югації є наявність у клітині плазміди.

Отже, розмноження архей та бактерій відбувається нестатевим, а визначальним процесом комбінативної мінливості є горизонтальне перенесення генів.

### Як бактерії взаємодіють між собою та з іншими організмами?

Часто бактерії «співпрацюють», формуючи біоплівки та змінюючи швидкість росту завдяки «відчуттю кворуму». Ці взаємини можуть бути істотними для зростання всієї групи організмів. **Біоплівки (біофільми)** – спільний слизований шар із зануреними в нього колоніями бактерій. Біоплівки захищають їх від несприятливих умов середовища, а також забезпечують умови для обміну між окремими клітинами поживними речовинами, ДНК, ферментами, продуктами життєдіяльності тощо. Біоплівки утворюють спільне стабільне середовище існування бактерій, завдяки чому останні можуть виживати в дуже важких і малопридатних для інших організмів умовах. Перебуваючи в угрупованнях, бактерії спілкуються і координують свою поведінку завдяки секреції молекулярних сигналів. Це явище називається «відчуттям кворуму». Його вперше спостерігали у біолюмінесцентної бактерії (*Vibrio fischeri*), що живе як симбіонт у світлових органах-фотофорах одного з видів гавайських кальмарів.

Взаємозв'язки між бактеріями й іншими організмами можуть бути симбіотичними та антибіотичними. Пригадаємо, що найпоширенішими видами симбіозу є мутуалізм, коменсалізм, паразитизм. Прикладами мутуалістичних взаємовідносин у бактерій є: а) відносини між водневими анаеробними бактеріями, які споживають органічні кислоти і виділяють  $H_2$ , та метаногенними археями, які



його споживають; б) співіснування бульбочкових бактерій і коренів бобових рослин (бактеріориза); в) співіснування з організмом людини молочнокислих бактерій. Прикладом коменсалізму можуть бути відносини організму людини з біфідобактеріями й кишковою паличкою. Прикладом паразитизму є співіснування хвороботворних бактерій (чумна паличка, холерний вібрион, золотистий стафілокок, туберкульозна паличка) з організмом людини чи тварин.

**Антибіоз** – це взаємовідносини, за яких спостерігається пригнічення розвитку або повне відмирання одних видів під дією продуктів обміну, що їх утворює інший вид. Найчастіше ці продукти називають антибіотиками. Так, Луї Пастер ще в 1877 р. описав конкуренцію бактерій ґрунту і бактерій-збудників сибірської виразки. Є серед бактерій і справжні хижаки. До них належать бделовібриони, тератобактери, диктіобактери та ін.

Отже, взаємовідносини між бактеріями та організмами в різних угрупованнях є складними, динамічними й такими, що залежать від змін умов середовища.

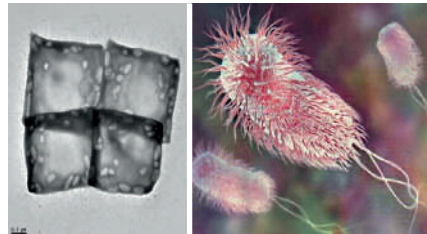


### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з таблицею

За допомогою таблиці на конкретних прикладах (галооквдратах і кишкова паличка) порівняйте архей та бактерій. Сформулюйте висновок про причини подібності та відмінностей.

Ознака	Археї	Бактерії
Кількість видів		
Клітинна оболонка		
Клітинні мембрани		
Живлення		
Особливості геному		
Утворення спор		



### Біологія + Математика. Розмноження бактерій

Розгляньте ситуацію, коли одна прокаріотична клітина перебуває в оптимальних умовах й без перешкод розмножується. Скільки клітин буде в модельній популяції через 10 поколінь, якщо поділ клітин відбувається щогожні 20 хв? Заповніть таблицю і побудуйте графік росту популяції (на горизонтальній осі – час, на вертикальній – кількість клітин). Запишіть математичний вираз, що відображає закономірність росту популяції.

Час, хв	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Кількість бактерій											



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Медицина. Проект «Мікробіом людини»

Завдяки проекту «Мікробіом людини» складено список корисних бактерій, що існують в організмі людини. З цього списку виокремимо біфідобактерії (*Bifidobacterium longum*) та лактобактерії (*Lactobacillus Johnsonii*). Яка користь цих бактерій для організму людини?





## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі археї? 2. Наведіть приклади археї. 3. Назвіть способи розмноження прокаріотів. 4. Що таке горизонтальне перенесення генів? 5. Що таке біоплівки? 6. Наведіть приклади симбіозу та антибіозу між бактеріями й іншими організмами.
7 – 9	7. Які особливості відрізняють археї від бактерій та еукаріотів? 8. Назвіть способи розмноження та обміну спадковою інформацією у бактерій. 9. Як бактерії взаємодіють між собою та з іншими організмами?
10 – 12	10. Оцініть позитивне й негативне значення бактерій для організму людини.

*Поява еукаріотів є другою за значенням (після зародження самого життя) подією біологічної еволюції.  
В. Мартін, М. Рассел*

## § 11. Еукаріоти

**Основні поняття й ключові терміни: ЕУКАРІОТИ. Система еукаріотичних організмів.**

**Пригадайте!** Хто такі еукаріоти?



### Новини науки

Нещодавно на глибині близько 3 км неподалік від гідротермального курця «Замок Локі» відкрито новий тип археї, названих на честь скандинавського бога бешкету й обману. У геномі *Lokiarchaeum* є подібні до еукаріотичних гени, що кодують білки, відповідальні за зміну форми клітини, везикулярне транспортування, діяльність цитоскелета тощо. Таким чином, локіархеї виявилися найбільш вірогідними кандидатами на роль предків еукаріотичних організмів.



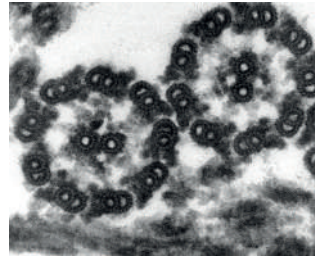
### ЗМІСТ

**Які ознаки еукаріотів відрізняють їх від археї та бактерій?**

**ЕУКАРІОТИ** (від грец. *eu* – добре, *каріон* – ядро) – домен *одноклітинних, колоніальних і багатоклітинних організмів, що характеризуються наявністю ядра та мембранних органел*. Це найрізноманітніша група організмів, яка домінує в більшості сучасних екосистем, за винятком анаеробних зон. Загальними ознаками еукаріотів є:

- наявність ядра й досконалішої системи регуляції геному. Цитоплазма із процесами активного метаболізму відокремилась від ділянки збереження й переписування спадкової інформації. Завдяки цьому різко зросла адаптивність еукаріотів до змінних умов середовища без внесення спадкових змін у геном;
- наявність хромосом, що складаються з лінійної макромолекули ДНК та білків-гістонів. З появою хромосом у еукаріотів пов'язане виникнення статевого розмноження з його можливостями комбінаційної мінливості;
- мозаїчний принцип організації білкових генів. Власне кодувальна частина таких генів представлена послідовністю окремих «змістовних» ділянок – екзонів, розділених «беззмістовними» інтронами;

- *двошаровість клітинних мембран.* У мембранах розрізняють біліпідний шар із фосфоліпідів і різні за розташуванням й функціями білки;
- *наявність органел із власним генетичним апаратом* – мітохондрій та пластид, що мають ендосимбіотичне походження і можуть різнитися будовою;
- *складна структура джгутиків*, у яких виокремлюють аксонему (дві центральні мікротрубочки і дев'ять пар пов'язаних мікротрубочок «9+2»), а також мембрану (ил. 21).
- *наявність ендоцитозу* – транспортування речовин у клітину з утворенням мембранних міхурців – везикул. Характерний для клітин, позбавлених клітинної оболонки;
- *складніші реакції та процеси життєдіяльності*, як-то процесинг, кросинг-вер, мітоз й мейоз та ін.



Ил. 21. Поперечний розріз еукаріотичних джгутиків

Отже, до еукаріотів відносять організми зі складнішою організацією клітин і процесів життєдіяльності.

### Які основні етапи походження еукаріотів?

Еукаріоти виникли 1,5 – 2,0 млрд років тому і мають монофілетичне походження від якоїсь групи організмів. На початку 2012 р. С. Чжао із співавторами повідомили про відкриття можливого загального предка еукаріотів. Ним виявився морський одноклітинний джгутиконосець колодиктійон (*Collodictyon triciliatum*) (ил. 22). Однак це відкриття не дає відповіді щодо витоків походження домену Еукаріоти.

Порівняння будови ДНК й організації геному свідчить про те, що еукаріоти значно ближчі до архей, аніж до бактерій. Це підтверджують такі ознаки, як наявність білків-гістонів у геномі, перервна організація структурних генів, світлочутливий білок родопсин та ін. Але у структурі еукаріотичної клітини є й ознаки бактеріальних організмів. Це кільцева ДНК, рибосоми 70S, переважання фосфоліпідів у мембранах тощо.

**Синтетична теорія походження еукаріотів** сформувалася на початку ХХІ ст. на основі синтезу *автогенетичної гіпотези* походження ядра та більшості одномембранних клітинних органел, а також *ендосимбіотичної гіпотези* походження мітохондрій та пластид. Які ж основні етапи виникнення еукаріотів згідно із цією теорією?

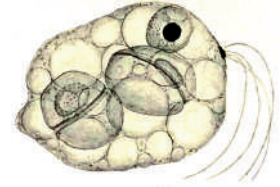
1. Утворення в прокаріотичній клітині внутрішніх впинань клітинної мембрани, що привели до утворення ядра, ЕПС, комплексу Гольджі, травних вакуолей, лізосом.
2. Завдяки горизонтальному перенесенню генів у примітивних еукаріотів формуються мікротрубочки та виникають цитоскелет, джгутики, веретено поділу.
3. Шляхом ендосимбіозу еукаріотичної клітини з аеробними бактеріями формуються мітохондрії з дископодібними кристами.
4. Поява еукаріотів, у яких формуються мітохондрії з трубчастими кристами та мітохондрії з пластинчастими кристами.
5. Симбіоз гетеротрофної еукаріотичної клітини із ціанобактерією та утворення еукаріотів з двомембранними пластидами, які отримали назву первинно-симбіотичних. Від цих організмів походять зелені рослини.

6. Дивергенція гетеротрофних клітин за типами живлення зумовила появу еукаріотів з осмотрофним (гриби) та еукаріотів з фаготрофним (тварини) живленням.

Отже, поява еукаріотів відображає загальну прогресивну спрямованість біологічної еволюції, що втілюється у збільшенні біорізноманіття та підвищенні стійкості біосистем.

### Чому сучасна система еукаріотичних організмів є філогенетичною?

**Система еукаріотичних організмів** – ієрархічна впорядкована сукупність груп, що поєднує еукаріотичні організми на основі комплексу критеріїв. Визначальними критеріями сучасної системи еукаріотів є **молекулярно-філогенетичний** (подібність послідовностей нуклеотидів у генах, що їх обрано як маркери філогенезу) та оновлений **цитологічний** (найбільш інформативними вважаються кількість та розташування джгутиків, форма мітохондріальних крист, структура цитоскелета, види хлоропластів за особливостями виникнення). Найбільший внесок у створення сучасної системи еукаріотів зробила група науковців під керівництвом С. Едла (іл. 23). За сучасними уявленнями, в межах домену Еукаріоти виокремлюють групи Екскавати, Діафоретики та Аморфеї.

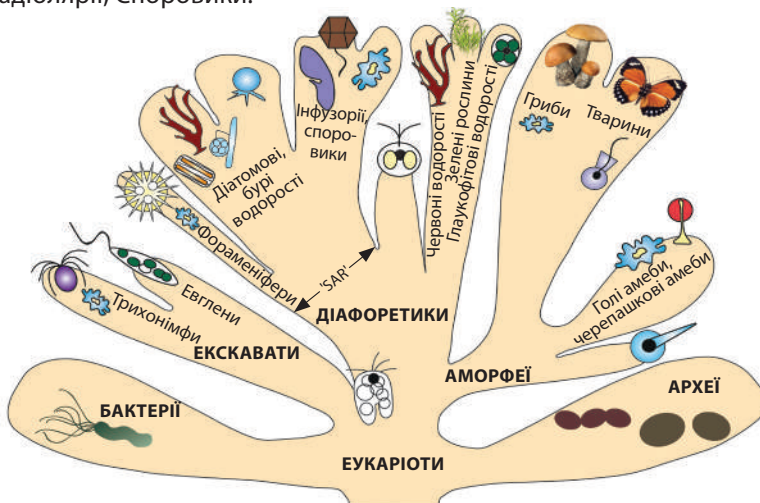


Іл. 22. Колодікціон із захопленою колонією зелених водоростей

Група науковців під керівництвом С. Едла (іл. 23). За сучасними уявленнями, в межах домену Еукаріоти виокремлюють групи Екскавати, Діафоретики та Аморфеї.

**Екскавати** (від грец. *екс* – зовнішній, *кава* – борозна) – група найдавніших й найпримітивніших еукаріотичних одноклітинних організмів. Найзагальнішими ознаками є: ротова борозна, через яку поглинається їжа; кількість джгутиків, як правило, більш ніж два; мітохондрії спрощені або з дископодібними кристами. До групи Екскавати належать вільноживучі (евглени), паразитичні (лейшманії, трипаносоми) та мутуалістичні (трихонімфи) форми.

**Діафоретики** (від грец. *діафоретикос* – різноманітні) – одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми, в яких упродовж життєвого циклу є клітини з двома джгутиками. Найвідоміші представники групи: Рослини, Зелені водорості, Глаукофітові водорості, Червоні водорості, Бурі водорості, Форамініфери, Радіолярії, Споровики.



Іл. 23. Сучасна система еукаріотів (за С. Едлом, 2012)

**Аморфеї** (від грец. *аморфеос* – безформні) – *одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми, в яких упродовж життєвого циклу є амебодіні клітини або клітини з одним джгутиком.* До групи належать Тварини, Гриби, черепашкові амеби.

Запропонована система ще не завершена, але в ній відображена спорідненість основних груп еукаріотів, що доведена дослідженнями їхніх геномів і клітинної будови.

Отже, сучасна система еукаріотичних організмів є молекулярно-філогенетичною, що класифікує організми за єдністю походження, а не за типом живлення або рівнів організації.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

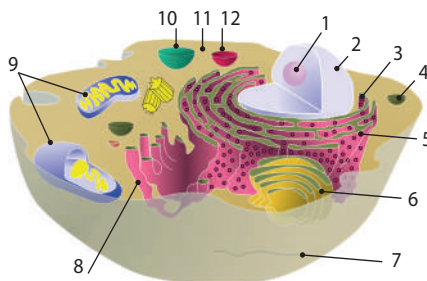
За допомогою таблиці порівняйте прокаріотів з еукаріотами. Зробіть висновок про причини подібності й відмінностей.

### Самостійна робота з ілюстрацією

Розпізнайте та зіставте назви структур еукаріотичної клітини з їхніми позначеннями на ілюстрації. Правильна відповідність дасть назву методу визначення послідовностей нуклеотидів у геномі організмів, що її розробив двократний лауреат Нобелівської премії Ф. Сенгер (1918–2013).

Структури еукаріотичної клітини: А – мітохондрії; В<sub>1</sub> – міхурець-везикула; В<sub>2</sub> – гладка ЕПС; Е<sub>1</sub> – ядро; Е<sub>2</sub> – шорстка ЕПС; К – рибосома; Н<sub>1</sub> – комплекс Гольджі; Н<sub>2</sub> – вакуоля; Н<sub>3</sub> – гіалоплазма; С – ядерце; У – клітинна мембрана; Я – лізосома.

Ознака	Прокаріоти	Еукаріоти
Організми		
Генетичний матеріал		
Органели		
Цитоскелет		
Ендоцитоз		
Структура джгутиків		
Поділ клітин		



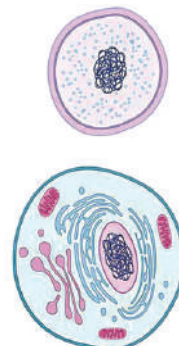
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Геометрія. Закон квадрата-куба

Об'єм і поверхня еукаріотичних клітин у десятки й сотні разів перевищують об'єми й площу клітин прокаріотів. А більший об'єм еукаріотичних клітин, згідно із законами геометрії, вимагає значного збільшення поверхні їхніх мембран. У чому суть закону квадрата-куба, що був уперше сформульований Г. Галілеєм ще 1638 р.? Застосуйте знання закону і поясніть, чому еукаріотичні клітини мають добре розвинуті мембранні структури.





## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі еукаріоти? 2. Назвіть найзагальніші ознаки еукаріотів. 3. Назвіть гіпотези, що пояснюють походження еукаріотів. 4. Від кого походять еукаріоти? 5. Що таке система еукаріотів? 6. Назвіть основні групи еукаріотів.
7 – 9	7. Які ознаки еукаріотичних організмів відрізняють їх від архей та бактерій? 8. Які основні етапи походження еукаріотів? 9. Чому сучасна система еукаріотичних організмів є філогенетичною?
10 – 12	10. Якими є сучасні погляди на систему еукаріотичних організмів?

*Гриби – це «професія», яку багаторазово й незалежно один від одного обирали представники різних гілок дерева життя.  
З підручника «Загальна мікологія»*

## § 12. Гриби

**Основні поняття й ключові терміни: ГРИБИ. Осмогетеротрофне живлення.**

**Пригадайте!** Хто такі гетеротрофи?



### Поміркуйте!

Перед вами чудернацький гриб *гіднелум Пека* (*Hydnellum peckii*), або «кровоточивий зуб», що трапляється у хвойних лісах Європи й Північної Америки. Його тіло виділяє рідину червоного кольору для приваблювання комах, яких організм використовує для живлення. Чому це гриб, а не рослина чи тварина?



### ЗМІСТ

#### Які особливості організації та функціонування грибів?

Термін «гриби» (так само як і «рослини» або «тварини») описує певний спосіб життя й зумовлені ним особливості будови й життєдіяльності (іл. 24).

Гриби є *еукаріотичними організмами*, клітини яких мають такі особливості: 1) структурним компонентом каркаса клітинних оболонок є полісахарид *глюкан*, а поперечні містки між його молекулами утворює *хітин* (переважно у справжніх грибів) або *целюлоза* (переважно у несправжніх грибів); 2) органелами руху грибів можуть бути *джгутики* (справжні гриби) або *псевдоподії* (слизівки); 3) клітини багатьох грибів містять *невеликі вакуолі*, які є вмістищем запасних поживних речовин і шкідливих продуктів метаболізму; 4) у грибів розвинуті *секреторні міхурці (везикули)*, що відповідають за транспортування та виділення за межі цитоплазми різних сполук; 5) запасують гриби *глікоген* (справжні гриби) або *міко-ламінарин* (несправжні гриби), кінцевим продуктом обміну білків є *сечовина*.

Усі гриби, незалежно від походження, об'єднує *осмогетеротрофний спосіб живлення*, тобто живлення органічними речовинами, що поглинаються всією поверхнею грибниці разом з необхідними мінеральними сполуками. Усі ділянки міцелію відокремлені від середовища лише клітинною оболонкою з хітину або целюлози й плазматичною мембраною, відмерлих клітин, як у корі коренів



Іл. 24. Незвичні види грибів: 1 – фуліго гнильний; 2 – герацій гребінчастий; 3 – клаварія блідо-бура; 4 – решіточник червоний; 5 – ентомола блакитна; 6 – ганодерма блискуча

рослин, немає. У субстраті органічні речовини містяться досить часто у вигляді складних сполук, тому гриби секретують назовні ферменти-гідролази, які розщеплюють ці речовини та здійснюють зовнішнє травлення.

При **осмогетеротрофному живленні** надходження поживних речовин до клітини залежить від площі її поверхні. Тому в ході еволюції у грибів збільшилася площа тіла. Гриби «прагнули» її збільшити, не змінюючи при цьому об'єму свого тіла. Вегетативне тіло переважної більшості грибів являє розгалужену систему ниток (гіфів), яка називається *грибницею* (міцелієм). Гіфи грибів дуже *швидко й необмежено ростуть*. Окремий гриб може за 24 год утворити грибницю довжиною 1 км. Такий швидкий ріст компенсує *відсутність активного переміщення* на рівні організмів. За такої структури гриби почали *розмножуватись й розселятись за участі різноманітних спор*. Живлячись усією своєю поверхнею, переважна більшість грибів розвивається всередині ґрунту, відмерлої органіки або живого організму. Оскільки тіло грибів перебуває в субстраті, спороносні органи утворюються над субстратом і досить часто з утворенням плодових тіл.

Отже, у широкому розумінні **ГРИБИ** (*Fungi sensu lato*) – безхлорофільні еукаріотичні гетеротрофні організми, які мають зазвичай грибницю, здатні до осмогетеротрофного живлення, необмеженого росту та розмноження за допомогою спор.

### Чим зумовлені різноманітність і поширення грибів?

Гриби – це одна із найдавніших, найбільших та найрізноманітніших груп еукаріотичних організмів. Найдавніші палеонтологічні знахідки грибів виявлено у вулканічних породах віком 2,4 млрд років. Відкриття було здійснено під час буріння 900-метрової товщі давніх базальтів на території ПАР. Із часом гриби стали невід'ємним складником усіх водних і наземних екосистем. Гриби трапляються на всіх континентах земної кулі й навіть в Антарктиді.

Більшість грибів живуть у ґрунтовому та наземному середовищах, паразитують у живих організмах. Поширені гриби й у найдавнішому водному середовищах життя. **Водні гриби** (псатирела, сапролегнія, фіалоцефала) розкладають органічні рештки, паразитують на рослинах і тваринах, вступають у симбіотичні відносини з іншими організмами (іл. 25).

Гриби з дуже багатим арсеналом травних ферментів можуть руйнувати будь-які матеріали, що містять органічні речовини, особливо в умовах тепла й вологи. Металеві велетні техніки, витончені механізми з пластику, фотоплівка, ізоляція кабелів, реактивне папіро, штучні тканини, фарби, оптичне скло приладів – ці реальні втілення інтелекту людини виявляються безсилами перед мешканцями грибного царства. За способом живлення гриби поділяють на сапротрофні, паразитичні, мутуалістичні та хижі. **Сапротрофні гриби** є найважливішими редуцентами органічної речовини та ґрунтоутворювачами на планеті. **Паразитичні гриби** взаємодіють майже з усіма еукаріотами; зокрема, фітопатогенні гриби паразитують на рослинах, зоопатогенні – на тваринах, включно з людиною, а мікофільні – на інших видах грибів. **Мутуалістичні гриби** утворюють взаємовигідні стосунки з іншими організмами: мікоризоутворювачі – з корінням судинних рослин, амброзієві гриби – з мурашками й термітами. Існують **хижі гриби**, які ловлять нематод, сплітаючи хитромудрі пастки, з яких ті не в змозі вибратися (наприклад, артроботріс, зоопагус).



Іл. 25. Псатирела водяна – водний шапинковий гриб

Іншою особливістю, що забезпечує поширення та різноманітність грибів, є *різноманітність способів розмноження* й зміни генетичного матеріалу. Найпоширенішим способом розмноженням грибів є *розмноження спорами*. Їх поділяють на спори нестатевого розмноження й спори статевого розмноження, або, як їх називають у мікології, – мітотичними й мейотичними спорами. **Мітоспори** – це спори, що утворюються в результаті відособлення фрагментів, генетично ідентичних з вегетативним тілом. Їхні ядра утворюються в ході мітотичного поділу звичайних ядер. За способом утворення їх умовно поділяють на спорангіоспори та конідії, а за рухливістю – на рухливі зооспори та нерухливі апланоспори. **Мейоспори** – це спори, що утворюються в результаті відособлення фрагментів тіла, утворених унаслідок генетичної рекомбінації. Їхні ядра утворюються в ході мейотичного поділу зиготних ядер і не є ідентичними зі звичайними ядрами. За способом утворення виокремлюють три типи мейоспор: зигоспори, аскоспори та базидіоспори. Спори грибів мають малі розміри і зазвичай розносяться вітром, в окремих видів вони можуть поширюватися водою або тваринами. Спор утворюється величезна кількість (наприклад, печериця за 2 доби утворює 2 млрд спор, тіло трутовика – 10 млрд спор щорічно). Спори можуть утворюватися у спорангіях (ендогенні спори) та відокремлюючись від спеціалізованих гіфів (екзогенні спори).

*Вегетативне розмноження* грибів здійснюється частинами міцелію, брунькуванням.

Статеве розмноження – дуже складне й має тенденцію до зникнення. Основою *статевого розмноження* грибів є три типи генетичної рекомбінації: 1) пресекуальний процес – це обмін плазмідами без генетичної модифікації взаємодіючих особин (наприклад, у слизовиків); 2) парасексуальний процес – це обмін ядрами без їхнього злиття й мейотичного поділу (наприклад, у аспергілу чи пеніциліуму); 3) статевий процес з утворенням стійкого диплоїдного ядра та поділом шляхом мейозу (у більшості грибів).



Отже, визначальними особливостями для поширення й різноманітності грибів є різноманітність їхніх способів живлення та розмноження.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

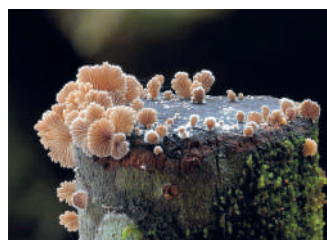
### Самостійна робота з таблицею

Укажіть значення вказаних особливостей будови грибів для забезпечення їхнього поширення й різноманіття. Заповніть у робочому зошиті таблицю та сформулюйте висновок.

Ознака	Значення
Вегетативне тіло – грибниця	
Наявність клітинної оболонки	
Розвинуте везикулярне транспортування	
Осмогетеротрофне живлення	
Необмежений швидкий ріст	
Розмноження спорами	

### Біологія + Астрономія. Антарктичні гриби

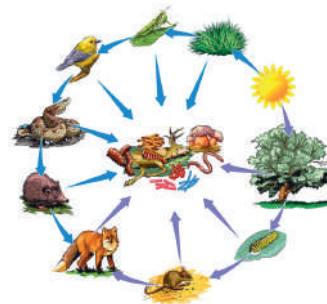
Два види антарктичних грибів із роду Хріоміцес (*Cryomyces antarcticus* і *Cryomyces minteri*) на Міжнародній космічній станції вижили в кліматичних умовах, близьких до марсіанських. Ці гриби було зібрано в долині Мак-Мердо, що вважається найпосушливішим районом Антарктиди. Гриби перебували в умовах Марса протягом 18 місяців. У результаті 60 % клітин залишилися неушкодженими, а ДНК – нормально функціонуючою. А якими є умови життя на Марсі? Які особливості грибів забезпечують їхнє виживання в екстремальних умовах?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Екологія. Гриби-редуценти

Сапротрофні гриби й бактерії разом утворюють групу **редуцентів**, без яких кругообіг речовин у біосфері неможливий. Особливо важливими є ті гриби, які секретують фермент целюлазу, що розщеплює целюлозу клітинних оболонок рослин. Хто такі гриби-редуценти? Оцініть їхнє значення для існування біосфери.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі гриби? 2. Назвіть особливості клітин грибів. 3. Наведіть приклади грибів. 4. Назвіть середовища існування грибів. 5. Назвіть основні групи грибів за способом живлення. 6. Назвіть основні способи розмноження грибів.
7 – 9	7. Які особливості організації грибів? 8. Які особливості функціонування грибів? 9. Чим зумовлені різноманітність і поширення грибів?
10 – 12	10. Яке значення грибів-редуцентів для існування біосфери?

## § 13. Різноманітність грибів

**Основні поняття й ключові терміни:** Несправжні гриби. Слизовики. Справжні гриби.

**Пригадайте!** Хто такі гриби?



### Поміркуйте!

У чому полягає подібність між отруйним червоним мухомором (1), зеленою пліснявою на хлібі (2), пекарськими дріжджами (3) і трутовиком справжнім на дереві (4)?



### ЗМІСТ

#### **Які організми належать до грибоподібних?**

На Землі існує понад 1 500 000 видів грибів, проте лише 5 % з них описано вченими. Щороку відкривають сотні нових видів. Як показали молекулярно-філогенетичні дослідження початку XXI ст., різні групи грибів мають різне походження, й систематизувати їхнє різноманіття складно. В наукових колах пропонують різні підходи до класифікації організмів цієї групи. У традиційному, або широкому, розумінні (*Fungi sensu lato*) група ГРИБИ поєднує справжні гриби, несправжні гриби й слизовики. Досить часто несправжні гриби й слизовики розглядають як грибоподібні організми.

**Несправжні гриби** – це група грибів, у яких клітинна оболонка з целюлози; запасують міколамарин, джгутикові стадії мають один або два джгутики, мітохондрії з трубчастими кристами. За новітньою системою, несправжні гриби утворюють кілька груп у складі групи Хромальвеоліти. Представниками несправжніх грибів є лабіринтули, сапролегнія, фітофтора, плазмопара, гіфохитріум та ін. Найвідоміші з них – фітофтора та сапролегнія (ил. 26).

*Фітофтора* (*Phytophthora infestans*) спричиняє серйозне захворювання картоплі, відоме як фітофтороз. Гриб також може інфікувати помідори і деякі інші види пасльонових. Фітофтороз був головним винуватцем Великого голоду в Ірландії (1845) і картопляного голоду в Шотландії (1846). *Сапролегнія паразитарна* (*Saprolegnia parasitica*) спричиняє інфекційне захворювання акваріумних риб або їхньої ікри.

**Слизовики** – група грибів, у яких спороносні структури нагадують плодові тіла грибів, фаготрофний спосіб живлення, рухливість на вегетативній стадії розвитку, відсутність клітинної оболонки. Різні групи слизовиків належать до груп Амебозої, Різарії та Екскавати. Вегетативне тіло слизовиків має вигляд ба-



Ил. 26. Несправжні гриби-паразити:  
1 – фітофтора у картоплі;  
2 – сапролегнія на риби

готядерної рухливої цитоплазматичної маси – *плазмодія* розмірами від кількох міліметрів до декількох десятків сантиметрів (іл. 27). Плазмодії містять пігменти, що надають їм різноманітного забарвлення. Джерелом живлення є бактерії, клітини грибів та одноклітинні твариноподібні. В природі слизивики – це активні бактеріофаги, які відіграють значну роль у регуляції бактеріальної флори ґрунтів, є збудниками захворювань культурних рослин (наприклад, *плазмодіофора* є збудником кіли капусти, *спонгоспора* – парші картоплі).



Іл. 27. Слизивики: 1 – стемонітіс; 2 – лікогала деревна

Отже, грибоподібними організмами є представники несправжніх грибів і слизивиків.

### Які особливості та різноманітність справжніх грибів?

**Справжні гриби** – це група грибів, більшість з яких утворює міцелій, клітинна оболонка містить хітин, запасують глікоген, мають один задній джгутик або втратили його і мітохондрії з пластинчастими кристами. У справжніх грибів двогеномні клітини, в яких представлено ядерний та мітохондріальний геноми, а розміри самого геному значно менші, ніж у тварин. Окрім того, спадковість грибів досить часто пов'язана і з плазмідами мітохондрій чи цитоплазми. Ядер у грибниці багато, що забезпечує захист від мутацій та значне посилення активності окремих генів. До складу клітинних оболонок багатьох грибів входять меланіни, які захищають від ферментативного розщеплення, ультрафіолетового випромінювання та висихання. Диференційовані тканини та вегетативні органи в тілі грибів чітко не виражено.

Справжні гриби розглядають як самостійну групу *Fungi* (від. лат. *fungus* – гриб), яка в сучасній системі органічного світу (С. Едл із співавторами, 2012) належить до групи Опістоконти. До справжніх грибів у цій системі відносять вісім відділів, серед яких *Хитридіомікоти* (синхитріум – збудник раку картоплі), *Зигомікоти* (мукор – біла цвіль, ризопус – чорна цвіль), *Аскомікоти* (дріжджі, аспергіл, пеніциліум, трюфелі, зморшки) та *Базидіомікоти* (мухомори, печериці, боровики, трутовики, дощовики). Для класифікації грибів використовують такі основні категорії, як царство, відділ, клас, порядок, родина, рід та вид.

За будовою справжні гриби поділяють на *нижчі* (з несептованою грибницею) і *вищі* (з грибницею, поділеною на септи), а за розмірами – на *макро-* та *мікро-міцети*. Основними екологічними групами, що мають для людини найбільше значення, є *шапінкові гриби*, *гриби-паразити*, *цвілеві гриби*, *дріжджеві гриби*. Ліхенізовані гриби (або лишайники) в сучасній системі грибів не утворюють окремої систематичної групи, а розглядаються як види грибів, взаємопов'язаних з різними видами водоростей та ціанобактерій.

**Шапінкові гриби** – це гриби, ознаками яких є наявність плодових тіл з нижньою та шапкою, сапротрофний та мутуалістичний способи живлення й здатність утворювати мікоризу. За особливостями будови поверхні, які пов'язані із спороносним шаром на нижній частині шапки, шапінкові гриби поділяють на: *трубчасті гриби* (білий гриб, маслюк, підберезник) та *пластинчасті гриби* (сироїжки, лисички, рижики). За використанням в їжу гриби поділяють на: *безумовно їстівні* (білий, підосичники, маслюки), *умовно їстівні* (сироїжки), *отруйні* (бліда поганка, червоний мухомор, несправжні опеньки).

**Гриби-паразити** – це група грибів, які живляться за рахунок поживних речовин живих організмів, мають різноманітні способи зараження та утворюють величезну кількість спор. Грибами-паразитами є трутовики, сажкові, іржасті, ріжкові, борошнесторосяні гриби.

**Цвілеві гриби** – це група грибів, загальними ознаками яких є утворення нальоту на субстратах, сапротрофний спосіб живлення та виділення захисних речовин-антибіотиків. До них відносять нижчі одноклітинні (наприклад, мукор) і вищі багатоклітинні (наприклад, пеніцил, аспергіл) гриби. Цвілеві гриби поширені по всій земній кулі. Їх природним місцезнаванням є верхні шари ґрунту.

**Дріжджеві гриби** – це одноклітинні гриби, ознаками яких є здатність до анаеробного дихання, брунькування, сапротрофний й паразитичний способи живлення. Представниками групи є пекарські й винні дріжджі, кандида білява (збудник молочниці), пневмоцистис (збудник пневмонії) та ін.

Отже, справжні гриби є найрізноманітнішою групою грибів, що має спільні з тваринами ознаки і поступається їм лише за кількістю видів.

### Чому лишайники є симбіотичними асоціаціями організмів?

**Лишайники (ліхенізовані гриби)** – це асоціації справжніх грибів (мікобіонти) та фотосинтезуючих організмів (фотобіонти). Ліхенізовані гриби є представниками відділу Аскомікоти, і їхня частка серед справжніх грибів становить близько 20 %. Тривалий час вважали, що ліхенізовані гриби у вільному стані без водоростей існувати не можуть. Але молекулярно-генетичні дослідження довели, що один і той самий вид гриба може жити й розмножуватися і як сапротроф, і як симбіонт в асоціації з фотосинтезуючим організмом.

Фотобіонтами лишайників є представники зелених водоростей (*требуksія*, *кладофора*, *трентеполія*) та ціанобактерій (*носток*, *анабена*). Окрім того, всередині тіла багатьох лишайників можуть жити й нефотосинтезуючі організми (бактерії, дріжджі).

Лишайники мають своєрідну форму вегетативного тіла (слані, або талому) у вигляді кірочки (накипні лишайники *графіс*, *леканора*), листкоподібної пластинки (листуваті лишайники *стінна золотянка*, *пармелія*) або кущика (кущисті лишайники *ягель*, *бородач*).

Розмноження у лишайників здебільшого вегетативне за допомогою особливих утворів, якими є вирости на тілі або всередині нього. Ще однією особливістю лишайників є утворення особливих лишайникових речовин, що захищають від поїдання та мікроорганізмів, надають забарвлення та контролюють світловий вплив, регулюють взаємовідносини з рослинами тощо.

Отже, **ліхенізовані гриби** – це симбіотичне об'єднання (асоціація) справжніх грибів з одним або декількома видами фотосинтезуючих організмів.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Розв'язування вправ

**Розпізнавання різних представників грибів і складання схем класифікації**

**Вправа 1.** Розгляньте плодові тіла *печериці двоспорової* (*Agaricus bisporus*). Знайдіть і позначте на малюнку в робочому зошиті: 1 – шапинка; 2 – ніжка; 3 – гіфи міцелію; 4 – покривало; 5 – пластинчастий споруутворювальний шар (гіменофор).

Які ознаки свідчать про належність печериці до справжніх грибів?

**Вправа 2.** Назвіть основні систематичні категорії, що визначають місце *печериці двоспорової* у системі органічного світу.

**Вправа 3.** Зіставте запропоновані на ілюстраціях гриби з їхніми назвами та вкажіть відділ, до якого вони належать: *а* – синхитриум; *б* – мукор, або біла цвіль; *в* – дощовик їстівний; *г* – зморшок їстівний.



### Біологія + Історія. Роль грибів у історії

**Ріжки пурпурові** (*Claviceps purpurea*) – це вид фітопатогенних грибів, який зіграв рокову роль у трагічно відомому «полюванні на салемиських відьом». Цей вид грибів належить до сумчастих грибів (Аскомікота) і паразитує здебільшого на житі. Отруєння зерна відбувається через накопичення небезпечного алкалоїду ерготоксину. В чому суть такої історичної події, як «полювання на салемиських відьом»? Як відбувається зараження жита пурпуровими ріжками?



Зал суду. Іл. 1876 р.



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Екологія. Взаємовідносини грибів і рослин

Найбільшим організмом на Землі є **опеньок темний** (*Armillaria ostoyae*), який росте в лісовому заповіднику Малур американського штату Орегон. Його вегетативне тіло займає під землею площу 8,4 км<sup>2</sup> і сягає маси у 600 т. Вік цієї істоти становить вже понад 2 тисячі років. Дослідження науковців доводять, що цей грибок становить дуже серйозну загрозу для лісів. Поясніть, чому.



### РЕЗУЛЬТАТ

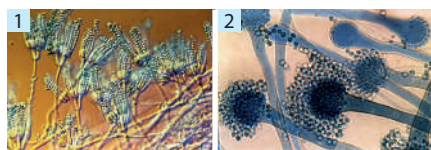
Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі несправжні гриби? 2. Назвіть ознаки слизовиків. 3. Хто такі справжні гриби? 4. Назвіть основні екологічні групи справжніх грибів. 5. Хто такі ліхенізовані гриби? 6. Наведіть приклади ліхенізованих грибів.
7 – 9	7. Які організми належать до грибоподібних? 8. Які особливості й різноманітність справжніх грибів? 9. Чому лишайники є симбіотичними асоціаціями організмів?
10 – 12	10. Оцініть значення грибів для таких галузей діяльності людини, як історія та медицина.

## Сторінка ілюстрацій

### Екологічні групи грибів



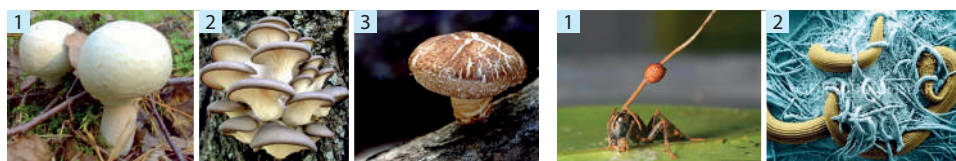
Іл. 28. Гриби-паразити рослин: 1 – іржа пшениці; 2 – трутовик сірчано-жовтий; 3 – сажка кукурудзи; 4 – ріжки жита; 5 – парша яблуні; 6 – фітофтороз картоплі; 7 – борошниста роса троянд; 8 – плодова гниль груші



Іл. 29. Цвілеві гриби: 1 – пеніцил (має китичкові гіфи – конідієносі зі спорами); 2 – аспергіл (на верхівкових гіфах якого формуються потовщення з виростами, що загалом нагадує «кошлату голову»)



Іл. 30. Їстівні шапінкові гриби: 1 – білий гриб; 2 – підберезник; 3 – маслюки; 4 – підосичник; 5 – лисички; 6 – опеньки літні

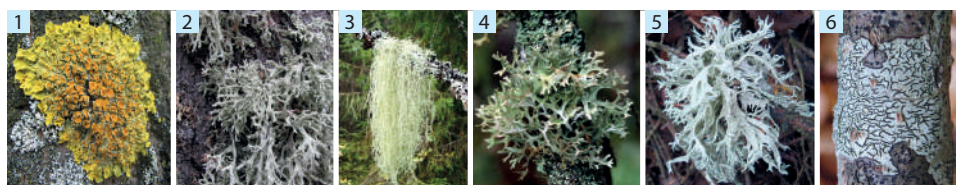


Іл. 31. Шапінкові гриби, що їх вирощують у культурі: 1 – печериці (шампінйони); 2 – глива; 3 – гриб шіітаке

Іл. 32. Хижі гриби: 1 – кордицепс на мурасі; 2 – хижий нематододійний гриб артроботрис



Іл. 33. Отруйні шапінкові гриби: 1 – мухомор черво-ний; 2 – опеньки несправжні; 3 – бліда поганка (або мухомор зелений)



Іл. 34. Ліхенізовані гриби: 1 – золотянка стінна (ксанторія настінна); 2 – кладонія оленяча («оленячий мох», або ягель); 3 – уснея («бородатий мох»); 4 – цетрарія ісландська («ісландський мох»); 5 – евернія сливова («дубовий мох»); 6 – графіс письмений

## § 14. Рослини. Водорості

Основні поняття й ключові терміни: **РОСЛИНИ. ВОДОРОСТІ.**

Пригадайте! Хто такі еукаріоти?



### Поміркуйте!

**Міжнародний день рослин** (*Fascination of Plants Day*) відбувається під егідою Європейської організації біології рослин (*EPSO*) і відзначається у 39 країнах світу, 29 з яких – країни Європи, а інші – Південної та Північної Америки, Азії, Австралії та Африки. Понад 450 установ беруть участь у заходах з метою поширення в суспільстві наукових знань про рослини. А які еукаріотичні організми називають у сучасній біології рослинами?



Міжнародний  
День рослин

18 травня 2018



### ЗМІСТ

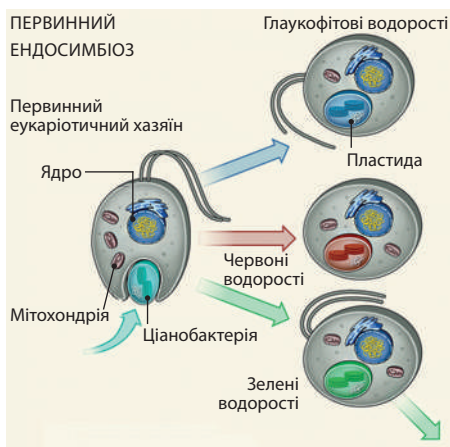
**Які особливості рослин відрізняють їх від інших фотоавтотрофів?**

У сучасній філогенетичній системі еукаріотичних організмів до групи **РОСЛИНИ** в широкому розумінні цього поняття (*Plantae sensu lato*, або **Археplastиди**) відносять **Глаукофітові водорості**, **Червоні водорості** та **Зелені рослини** (*Plantae sensu stricto*, або рослини у вузькому розумінні). До Зелених рослин (*Viridiplantae*) належать **Хлорофіти** із зеленими водоростями та **Стрептофіти**, до яких належать харові водорості та вищі рослини. Саме ці групи мають спільність походження, що доведено шляхом секвенування ДНК та ознаками клітинної будови. Які ж найзагальніші ознаки збірної групи **РОСЛИНИ**?

Рослини – це еукаріотичні фотосинтезуючі одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми, в яких клітини тригеномні – з ядерним, мітохондріальним та хлоропластним геномами. Рослини характеризуються значною змінністю розмірів геному, кількості й морфології хромосом. Кількість хромосом змінюється в межах від 4 до 1000 й більше, але більшість видів містить в ядрі від 12 до 60 хромосом.

Живлення рослин **автотрофне**. Вони використовують енергію світла для синтезу органічних речовин із неорганічних. Джерелом Карбону при цьому є вуглекислий газ, а джерелом електронів й Гідрогену – вода.

Хлоропласти рослин мають прокаріотичне походження, тому в сучасній системі організмів їх відносять до групи Археplastиди, що в перекладі з грецької означає «володарі древніх пластид».



Іл. 35. Схема первинного ендосимбіозу (зумовив появу глаукофітових, червоних та зелених водоростей)

Ці органели виникли завдяки первинному ендосимбіозу ціанобактерій з еукаріотичними клітинами (іл. 35). Первинний симбіоз – це поглинання еукаріотичною клітиною шляхом фагоцитозу вільноживучих ціанобактерій, які після горизонтального перенесення генів від симбіонта в ядро клітини-хазяїна еволюціонували у двомембранні первинні пластиди. Такі хлоропласти крім рослин є ще в червоних й глаукофітових водоростей.

Хлоропласти рослин містять зелені фотосинтезуючі пігменти *хлорофіли a, b* і *d*: *хлорофіли a* (глаукофітові водорості), *хлорофіли a* і *b* (зелені рослини), *хлорофіли a* і *d* (червоні водорості). Окрім хлорофілів у червоних водоростей є червоні фікобіліни, а у глаукофітових – сині *фікобіліни*. Сумісна діяльність цих пігментів збільшує спектр поглинання й ефективність отримання енергії для фотосинтезу в різних умовах.

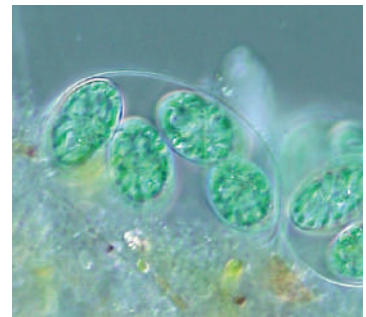
Отже, **РОСЛИНИ** – одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні еукаріотичні організми, найзагальнішими особливостями яких є фотоавтотрофне живлення, наявність первинних пластид і хлорофілів *a, b* і *d*.

### Які особливості водоростей?

**ВОДОРОСТІ** (*Algae*) – різноманітна група сланевих фотосинтезуючих організмів, які живуть переважно у воді чи пристосувались до життя на суходолі. Тіло водоростей має назву «слань», живлення фотоавтотрофне, хлоропласти називають *хроматофорами*; вони можуть мати різні форму та походження, запасними речовинами є здебільшого вуглеводи (крохмаль, ламінарин, волютин, лейкозин) й жири (олії), що накопичуються й відкладаються у вигляді включень у цитоплазмі або пластидах.

Різні групи водоростей виникли в різний час від різних предкових форм (поліфілетичне походження) та розвивалися окремо, але в результаті еволюції набули багато подібних рис. Серед водоростей є групи, що належать до рослин (глаукофітові, червоні, зелені, харові водорості) й разом з наземними рослинами становлять окрему гілку філогенетичного дерева еукаріотів під назвою *Археplastиди*. Такі групи водоростей, як діатомові, бурі, золотисті, жовто-зелені, дінофітові належать до іншої гілки еволюції еукаріотів (Хромальвеоляти) і мають філогенетичну спорідненість з інфузоріями, форамініферами, радіоляріями та споровиками. А така група, як евгленові водорості належить до групи Екскарвати й споріднена із джугитиконосцями (трипаносоми, лейшманії). Ми розглянемо лише водорості, які належать до рослин.

**Глаукофітові водорості** (від грец. *глаукос* – синьо-зелений, *фітос* – рослина) – одноклітинні рослинні організми, які живуть лише у прісноводних водоймах і болотах. Ці найдавніші фотосинтезуючі еукаріоти мають унікальні ознаки: двомембранні хлоропласти (ціанели) із шаром муреїну між мембранами, наявність хлорофілу *a* та фікобілінів, що зумовлюють яскраве синьо-зелене забарвлення, здатність до фіксації азоту тощо. Науковці вважають, що в межах групи Археplastиди глаукофіти виокремились у самостійну групу ще до розходження зелених й



Іл. 36. Глаукофітова водорість ціанофора



червоних водоростей. Представниками глаукофітових водоростей є *ціанофора* (іл. 36), *глаукоцистис* та ін.

**Червоні водорості** – це одноклітинні, колоніальні або багатоклітинні, здебільшого морські, організми. Характерне забарвлення червоних водоростей визначається передусім наявністю особливих пігментів – *фікобілінів*. Завдяки цим сполукам водорості можуть вловлювати слабе світло навіть на глибинах 200 – 250 м. У матриксі клітинної оболонки наявні агарі. Запасують червоні водорості особливу речовину – багрянковий крохмаль, що відкладається в цитоплазмі. Цікаво, що жодні їхні клітини, в т. ч. й статеві, не мають джгутиків. Найвідомішими червоними водоростями є *порфіра*, *кораліна*, *філофора* (іл. 37).

**Зелені водорості** – рослинні організми із зеленим кольором слані, що визначається переважаючими зеленими пігментами. Клітини більшості видів вкрито клітинною оболонкою з целюлози, у хлоропластах один або кілька піреноїдів, хроматофори, на відміну від хлоропластів інших водоростей забезпечують не лише фотосинтез, а й є місцем відкладання крохмалю. Зелені водорості поширені в прісних та солоних водоймах, морях та океанах, наземних екосистемах. До зелених водоростей належать такі роди, як *хламідомонада*, *вольвокс*, *хлорела*, *улотрикс*, *ульва*, *ацетабулярія*, *спірогіра* (іл. 38).

**Харові водорості** – це багатоклітинні організми, які поєднують ознаки водоростей і вищих рослин. Ззовні ці водорості схожі на хвощі. Ознаками харових водоростей є особливий верхівковий ріст, наявність вузлів і різних клітин у вузлах, багатоклітинні органи для статевого й вегетативного розмноження. Найвищого розвитку досягають статеві органи – антеридії й архегонії (іл. 39). Вони багатоклітинні, у більшості видів розвиваються на одній рослині. Для вегетативного розмноження на ризоїдах утворюються бульбочки, а на вузлах талому – зірчасті скупчення клітин. До харових водоростей належать представники таких родів, як *хара*, *нітела*, *толїпела*.



Іл. 37. Червона водорість філофора ребриста



Іл. 38. Зелена водорість спірогіра



Іл. 39. Статеві органи харової водорості

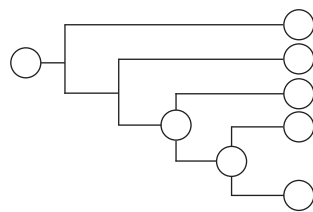
Отже, водорості – це поліфлетична різномірна група організмів, які належать до віддалених гілок філогенетичного дерева еукаріотів.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

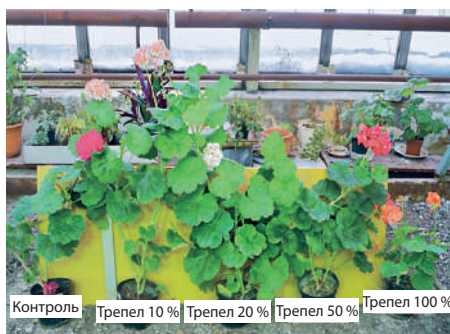
### Самостійна робота з діаграмою

Філогенетичні дерева можуть бути представлені у вигляді кладограм, що відображають послідовність еволюційних подій та філогенетичні зв'язки між групами організмів. Розмістіть цифри вказаних груп у кружечках та отримайте кладистичну діаграму Рослин: 1 – Археопластиди; 2 – Глаукофітові водорості; 3 – Червоні водорості; 4 – Зелені рослини; 5 – Хлорофіти (зелені водорості); 6 – Стрептофіти; 7 – Харкові водорості; 8 – Наземні рослини.



### Біологія + Хімія. Силіцій і рослини

Для більшості сучасних агрономів, садівників, квітників слівосполучення «Силіцій і рослини» є незвичним. Частіше з життєдіяльністю рослин асоціюються такі елементи, як Нітроген, Фосфор, Калій та ін. Однак останнім часом біологи виявляють підвищену зацікавленість до цього елемента. Яке ж значення має Силіцій для рослин? Спробуйте пояснити досліди з трепелом щодо життєдіяльності пеларгонії зональної.



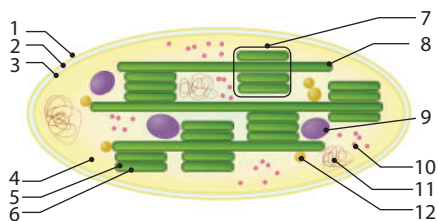
## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Фізика. Забарвлення водоростей

Зіставте елементи будови хлоропластів з їхніми позначеннями на ілюстрації й отримайте назву червоних фотосинтезуючих пігментів червоних водоростей:

Ф – зовнішня мембрана; І – міжмембранний простір; К – внутрішня мембрана; О – строма; Е<sub>1</sub> – тилакоїд; Р<sub>1</sub> – мембрани тилакоїдів; І<sub>1</sub> – грани; Т – ламела; Р<sub>2</sub> – зерна крохмалю; І<sub>2</sub> – рибосоми; Н – хлоропластна ДНК; І<sub>3</sub> – краплини олії.

Яке значення для водоростей має різне забарвлення їхньої слані?



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



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі рослини? 2. Назвіть основні групи рослин. 3. Хто такі водорості? 4. Назвіть групи водоростей, що належать до рослин. 5. Наведіть приклади глаукофітових і червоних водоростей. 6. Наведіть приклади зелених і харових водоростей.
7 – 9	7. Які особливості рослин відрізняють їх від інших фотоавтотрофів? 8. Назвіть особливості водоростей. 9. Які водорості належать до групи Рослини?
10 – 12	10. Яке значення для рослин має наявність різних фотосинтезуючих пігментів?

## § 15. Вищі рослини

**Основні поняття й ключові терміни:** **ВИЩІ РОСЛИНИ. Мохоподібні. Судинні спорові рослини. Насінневі рослини.**

**Пригадайте!** Хто такі зелені рослини?



### Поміркуйте!

**Посидонія океанічна** (*Posidonia oceanica*) – найбільша рослина у світі, яка росте колоніями на дні Середземного моря неподалік від Балеарських островів. Разом з іншими морськими травами посидонія утворює підводні луки на глибині від 1 до 50 м. Дослідження однієї з колоній виявили рекорди рослинного світу: довжина сягає 8 км, а вік – від 12 000 до 200 000 років. Цікаво, це водорість чи наземна рослина, яка повернулася до життя у воді?

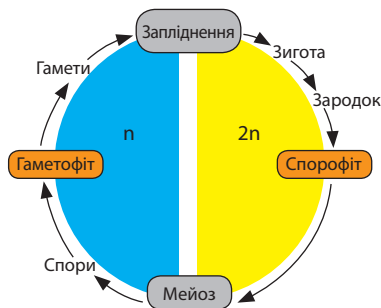


### ЗМІСТ

#### **Які особливості вирізняють вищі рослини?**

**ВИЩІ РОСЛИНИ**, або **Ембріофіти** (*Embryophyta*), або **наземні рослини**, – група зелених рослин, пристосованих до життя на суходолі. За сучасними уявленнями, до вищих рослин належать Мохоподібні та Судинні рослини, представлені групами Судинні спорові та Насінневі. Ембріофіти походять від прісноводних зелених водоростей, а їхніми найближчими сучасними родичами є харові водорості. Через те у вищих рослин є ознаки, що вказують на спорідненість із водоростями. Їхні клітинні оболонки побудовані з молекул целюлози, що утворюють каркас, занурений у матрикс із геміцелюлози й пектинів. Клітинні оболонки, як правило, прозорі для сонячного світла, дуже стійкі до хімічних й механічних впливів, проникні для води й розчинених речовин. У зелених рослин двомембранні пластиди з хлорофілами *a* і *b*, утворюється полісахарид крохмаль, що відкладається про запас у вигляді зерен у стромі пластид тощо.

Проте умови життя на суші дуже відмінні від умов життя у воді: вони мінливіші та різноманітніші. Це стало причиною великих змін у організації наземних рослин: а) наявність тканин; б) поява вегетативних органів – кореня та пагона, що здійснюють усі процеси життєдіяльності; в) ускладнення циклу відтворення. На відміну від своїх гаплоїдних предків вищі рослини характеризуються чергуванням в онтогенезі двох поколінь – нестатевого (гаметофіт) і статевого (спорофіт). Гаметофітне покоління продукує гаплоїдні статеві клітини – гамети. Гамети зливаються в зиготу, з якої формується багатоклітинний зародок (ембріон), а згодом і спорофіт. Нестатеве покоління шляхом мейозу утворює спори, з яких розвивається гаметофіт (іл. 40).



Іл. 40. Цикл відтворення вищих рослин

Отже, **ВИЩІ РОСЛИНИ (Ембріофіти)** – це багатоклітинні рослини, в яких наявні тканини, органи та відбувається цикл відтворення з чергуванням поколінь.

## Які особливості та різноманітність Мохоподібних?

**Мохоподібні** – це невисокі трав'янисті рослини, які є найбільш примітивними з вищих рослин. Про це свідчить їхня подібність із водоростями, як-то: відсутність ксилеми і флоєми, наявність ризоїдів, сланева будова тіла. Водночас мохоподібні є вищими рослинами, які мають ознаки пристосування до життя на суходолі. У них з'явилися покривні й основні тканини, прості за будовою стебло і листки. Для мохоподібних характерне чергування поколінь, але на відміну від інших вищих спорових рослин у їхньому циклі відтворення *гаметофіт переважає над спорофітом*.

Мохоподібні включають три групи: Антоцерові, Печіночники і Справжні мохи. Типовим представником Антоцерових є *антоцерос гладкий*. Ця рослина цікава тим, що її слань має слизисті порожнини, в яких поселяються ціанобактерії з роду Носток.

Найбільш відомими представниками Печіночників є *маршанція мінлива* (печіночник звичайний), яка трапляється там, де ніколи не буває сухо: по берегах річок, у болотистих місцях, на вогких скелях, зрубах старих колодязів, стінах сільських хат тощо.

Найвідомішими представниками справжніх мохів є *зозулин льон* і *сфагнові* (торф'яні) мохи (іл. 41). Дослідженням мохоподібних займається окремий розділ ботаніки – **бриологія**.

Отже, **Мохоподібні** – вищі спорові безсудинні рослини, в яких у життєвому циклі переважає гаметофіт.

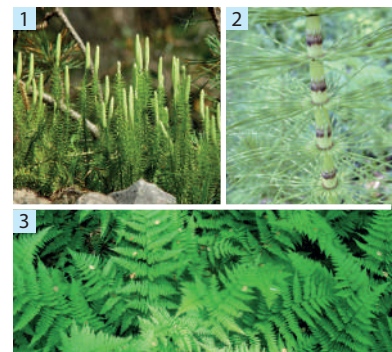
## Які особливості та різноманітність спорових та насінневих рослин?

Для **Судинних рослин** (*Tracheophyta*), до яких належать Судинні спорові та Насінневі, характерна тенденція до переваги і вдосконалення спорофіта при одночасному спрощенні гаметофіта. У цієї групи вже з'являються провідні тканини, які виконують дві важливі функції. По-перше, вони утворюють транспортну систему, що здійснює переміщення поживних речовин і води по всьому тілу. По-друге, тіло рослини отримує внутрішню опору.

**Судинні спорові рослини** (*Pteridophyta*) – вищі рослини, які розмножуються та розселяються за допомогою спор. Спори у цих рослин – особливі округлі клітини, які служать для нестатевого розмноження та розселення. Вони мають оболонки для захисту від несприятливих умов, хлоропласти, ядро, незначний запас поживних речовин. Спорові рослини поширені на вологих ділянках суходолу. У повітряному середовищі, яке є



Іл. 41. Представники мохоподібних:  
1 – антоцерос гладкий;  
2 – маршанція мінлива;  
3 – зозулин льон звичайний;  
4 – сфагнум випнутий



Іл. 42. Представники судинних спорових рослин: 1 – плаун булавоподібний; 2 – хвощ лісовий; 3 – щитник чоловічий

досить сухим і сприяє випаровуванню води, статевий процес значно ускладнюється. Через те у таких рослин формуються стійкі проти висихання спори. Вони розсіюються, потрапляють у сприятливі умови, і з них виростає покоління, що утворює гамети. І саме на цьому етапі вода є вирішальним чинником існування, оскільки забезпечує зустріч чоловічих гамет із жіночими. Із гамет після запліднення утворюється зигота, з якої формується багатоклітинний зародок, а згодом і спорофіт. За сучасними уявленнями, до судинних спорових рослин належать **Плауни, Хвоці, Папороти** (іл. 42).

**Насінневі** (*Spermatophyta*) – група вищих судинних рослин, які розмножуються та розповсюджуються за допомогою насіння. До насінневих рослин належать **Саговники, Хвойні, Гінкгові, Гнетові та Квіткові** (іл. 43). Ознаками вдосконалення насінневих рослин є: 1) *розмноження насінням*, що містить зародок майбутньої рослини, запас поживних речовин і насінневу шкірку, що захищає зародок від несприятливого впливу середовища; 2) *поява пилку й запилення*, що забезпечує перенесення пилових зерен із сперміями до насінневих зачатків з яйцеклітинами; 3) наявність насінневого зачатка, що забезпечує запліднення та розвиток зародка за рахунок поживних речовин добре розвиненого нестатевого покоління; 4) *запліднення незалежне від води, внутрішнє* (спермії проникають до насінневого зачатка з яйцеклітиною через пилову трубку, а не через водне середовище). Ці ознаки дали змогу насінневим рослинам пристосуватися до наземних умов життя і досягти вищого рівня розвитку порівняно зі споровими рослинами.



Іл. 43. Представники насінневих рослин: 1 – саговник поникаючий; 2 – сосна звичайна; 3 – гінкго дволопатеве; 4 – вельвічія дивна; 5 – магнолія великоквіткова

Отже, судинні рослини поділяють на дві групи – судинні спорові й насінневі.



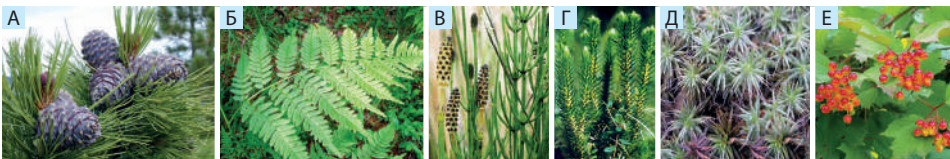
## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота

#### Розпізнавання різних представників рослин і складання схем класифікації

**Вправа 1.** Розгляньте запропоновані види рослин. Зіставте ілюстрації з відповідними назвами видів. Укажіть ознаки, за якими ви розпізнавали запропоновані види рослин.

Види вищих рослин: 1 – калина звичайна; 2 – плаун-баранець; 3 – сосна сибірська; 4 – хвоц польовий; 5 – зозулин льон волосконосний; 6 – орляк звичайний.



**Вправа 2.** За допомогою таблиці визначте їхню належність до однієї з груп вищих рослин.

**Таблиця. ДЕЯКІ ОЗНАКИ ОСНОВНИХ ГРУП ВИЩИХ РОСЛИН**

Морфологічні ознаки дорослої особини	Група	Представники
Стебло нерозгалужене, листки дрібні, зелені, коренів немає, <i>ризоїди</i> на стеблі, архегонії та антеридії на верхівках рослин	Справжні мохи	
Стебло <i>дихотомічно розгалужене</i> , листки дрібні, з однією жилкою, корені <i>додаткові</i> , спороносні колоски ( <i>стробіли</i> )	Плауни	
Стебло членисте, з вузлами, містить кремнезем, листки <i>редуковані</i> , корені <i>додаткові</i> від кореневища, стробіли	Хвоці	
Стебло підземне (кореневище) з додатковими коренями, листкоподібні пагони (вайї), спорангії у <i>сорусах</i>	Папороті	
Стебло прямостояче, є тонка кора, деревина, камбій, листки у вигляді хвої, корені <i>головні й бічні</i> , насіння в шишках	Хвойні	
Стебла трав'янисті або дерев'янисті, листки прості або складні, корені <i>головні, бічні й додаткові</i> , квітка, насіння, плоди	Квіткові	

### Біологія + Дослідження. Класифікація рослин

Визначте таксономічне положення виду *Посидонія океанічна* у системі рослин і заповніть схему класифікації. Доведіть важливість систематики рослин для сучасних біологічних досліджень.

Домен	Царство	Відділ	Клас	Родина	Рід	Вид



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Англійська мова

«Alternative energy can be found in plants. Indeed it sounds like science fiction, but Dutch scientists have found a way to harvest electricity from plants. When the plants perform photosynthesis, they convert solar energy into chemical energy (carbohydrates) that they use to grow. However, they don't use it all themselves. Some of this energy is released through the roots to feed micro-organisms that in turn provide minerals to the plants. But it's not a perfectly closed system, so some energy escapes, and this is what scientists have been able to harvest».



Перекладіть текст й оцініть значення досліджень з отримання електричного струму за допомогою рослин.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі вищі рослини? 2. Назвіть основні групи вищих рослин 3. Хто такі мохоподібні? 4. Назвіть декілька представників мохоподібних. 5. Хто такі судинні рослини? 6. Назвіть групи судинних рослин
7 – 9	7. Які особливості вирізняють вищі рослини? 8. Назвіть особливості та різноманітність Мохоподібних. 9. Які особливості та різноманітність спорових та насінневих рослин?
10 – 12	10. Оцініть наукові дослідження рослин у галузі альтернативних джерел енергії.

## § 16. Справжні тварини

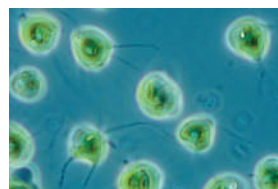
**Основні поняття й ключові терміни: СПРАВЖНІ ТВАРИНИ. Тварино-подібні організми.**

**Пригадайте!** Хто такі еукаріоти?



### Поміркуйте!

Одноклітинний амебоїдний організм **хриз-амеба промениста** (*Chrysamoeba radians*) має джгутик й утворює псевдоніжки, здатна до фагоцитозу й гетеротрофного живлення, але її не відносять до справжніх тварин. Чому?



### ЗМІСТ

#### **Яке місце тварин у системі еукаріотичних організмів?**

Найбільш інформативними для науковців щодо визначення місця справжніх тварин у системі еукаріотів виявилися не гетеротрофне живлення і наявність глікокаліксу, а такі цитологічні критерії, як кількість й розташування джгутиків, форма мітохондріальних крист. У сучасній системі органічного світу (С. Едл із співавторами, 2012) для справжніх тварин визначили місце в групі Задньоджгутикові (Опістоконта). Ця назва позначає *заднє розташування джгутика* в рухомій клітині (як у сперматозоонів більшості тварин), тоді як інші еукаріоти здебільшого мають передній джгутик.

Мітохондрії еукаріотів належать до найбільш консервативних органел, особливості яких не змінюються в ході адаптивної еволюції, тому будова мітохондрій вказує на походження певної еукаріотичної групи надійніше, ніж анатомічні чи фізіологічні ознаки. У справжніх тварин *мітохондрії мають пластинчасті кристи*, що є важливою відмінністю від інших груп, у яких мітохондрії можуть мати дископодібні чи трубчасті кристи (іл. 44).

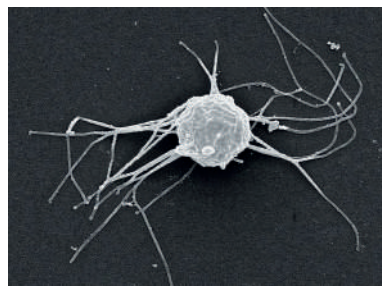


Іл. 44. Мітохондрії тварин із пластинчастими кристами

*Хлоропластів у всіх справжніх тварин немає*, але в окремих видів поширений симбіоз з водоростями й ціанобактеріями, завдяки чому ці істоти можуть повністю відмовитись від гетеротрофного живлення. Так, у *гідри зеленої* в ентодермі живуть зелені водорості *хлорела звичайна*, *конволюта* живиться, використовуючи зелену водорість *платимонас*, у клітинах *елізії* функціонують хлоропласти від жовто-зеленої водорості *вошерії*. Але у переважної більшості справжніх тварин живлення хемогетеротрофне, наявне активне переміщення у просторі (або упродовж життя, або на певній стадії онтогенезу). Окрім того, для справжніх тварин характерні обмежений ріст, подразливість у формі рефлексів, відсутність клітинної оболонки, запасання глікогену, наявність зародкових листків, стадій бластули і гаструли в зародковому розвитку.

Усі види тварин об'єднано у групу **СПРАВЖНІ ТВАРИНИ** (Голозої). У межах цього царства найчастіше виокремлюють три підгрупи: Філастерії, Комірцеві джгутикові (Хоанофлагеляти) та Багатоклітинні тварини (Метазої).

Вважається, що предками справжніх тварин були одноподібні амеби з тонкими нерозгалуженими псевдоніжками (філоподіями). На сьогодні відкрито й описано два сучасні види, які дають науковцям інформацію про природу одноклітинних предків тварин. Сучасних представників цієї групи об'єднують у підцарство Філастерії, а конкретними представниками є *міністерія* та *капсаспора* (іл. 45). Багатоклітинні тварини походять від колоніальних джгутикових, а їх найближчі відомі родичі – комірцеві джгутиконосці. У деяких багатоклітинних тварин, наприклад у губок, до сьогодні збереглися клітини-хоаноцити. Видозмінені комірцеві клітини є навіть у тілі людини – волоскові клітини слухового (кортієвого) органа.

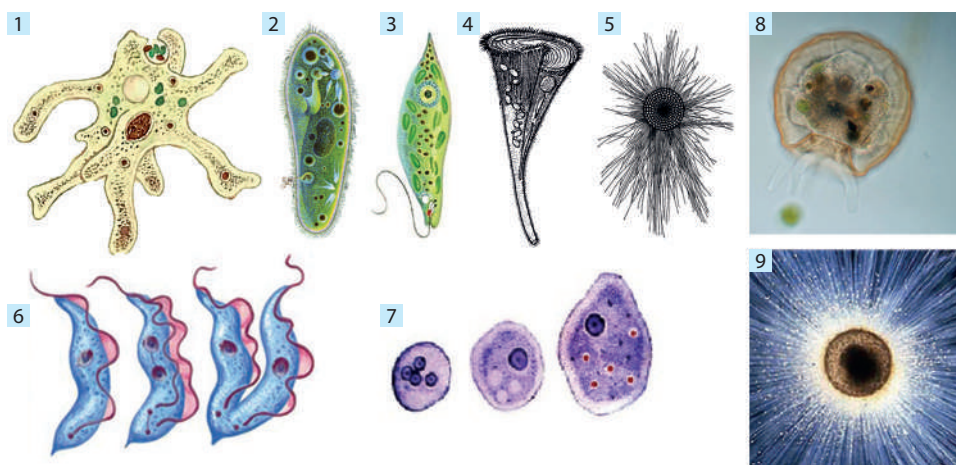


Іл. 45. Міністерія (*Ministeria vibrans*) – представник філастерій

Отже, **СПРАВЖНІ ТВАРИНИ** – клітинні еукаріотичні організми, спорідненість яких доводять такі найзагальніші ознаки, як наявність у клітин одного заднього джгутика, мітохондрій з пластинчастими кристами, відсутність власних хлоропластів й фотосинтезу.

### Які особливості твариноподібних організмів?

Такі істоти, як евглена зелена, форамініфери, радіолярії, інфузорії, споровики, амеба-протей, черепашкові амеби, лейшманії, лямблії, трипаносоми та інші, яких раніше називали «найпростішими», сьогодні виведено зі складу царства Справжні тварини (іл. 46). За подібність до тварин їх ще називають «твариноподібними організмами», але у філогенетичних системах вони належать до різних груп й мають різне походження.



Іл. 46. Різноманітність одноклітинних твариноподібних: 1 – амеба протей; 2 – інфузорія тувелька; 3 – евглена зелена; 4 – інфузорія трубоч; 5 – форамініфера; 6 – трипаносома; 7 – амеба дизентерійна; 8 – арцела; 9 – радіолярія

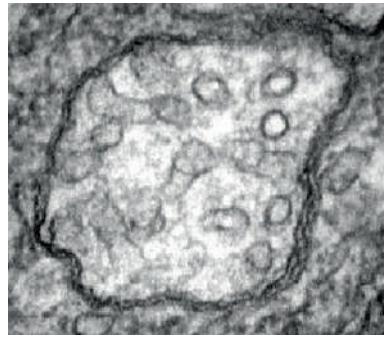


Які ж ознаки відрізняють твариноподібних організмів від справжніх тварин? Розглянемо їх на прикладі найвідоміших організмів – амеби протея, евглени зеленої та інфузорії туфельки.

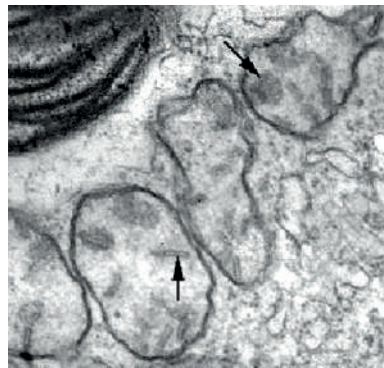
Згідно з молекулярно-генетичними дослідженнями **амеба звичайна** належить до надцарства Амебозої, що має спільні корені з Опістоконтами. Це гола однопорова амеба. В неї є пальцеподібні псевдоподії для переміщення й фагогетеротрофного живлення. Джгутиків взагалі немає, мітохондрії мають трубчасті розгалужені кристи (іл. 47).

У **евглени зеленої** є хлоропласти з трьома мембранами, що виникли завдяки вторинному симбіозу гетеротрофних еукаріотів із зеленими водоростями. Окрім того, евглени мають одне ядро і два джгутики (один довгий та один короткий), мітохондрії із дископодібними кристами, міксотрофне живлення, запасують близький до крохмалю полісахарид параміл (іл. 48). Ці та деякі інші особливості вказують на спорідненість евглени з найдавнішими еукаріотами, яких відносять до групи Екскавати.

Клітини **інфузорії туфельки** вкриті альвеолярною пелікулою, що утворена плазматичною мембраною та сплещеними мембранними цистернами – альвеолами. Мітохондрії мають трубчасті кристи. Сукупність пелікули й ектоплазми з усіма її структурами утворює кортекс. Клітина вкрита численними війками. Унікальною властивістю інфузорій є наявність двох функціонально різних геномів, що містяться в малому (генеративному) й великому (вегетативному) ядрах. Окрім того, клітини інфузорії мають спеціалізовані структури (клітинний рот, клітинну глотку, порошицю, трихоцисти), дві скоротливі вакуолі, здатні до кон'югації тощо. У сучасній системі органічного світу інфузорії належать до молодого й перспективного групи – Хромальвеоляти.



Іл. 47. Мітохондрії з трубчастими кристами



Іл. 48. Мітохондрії з дископодібними кристами

### Отже, **твариноподібні організми** –

збірна група неспоріднених одноклітинних організмів, об'єднаних такими морфофізіологічними ознаками, як відсутність клітинної стінки, гетеротрофне живлення та активний амебоїдний, джгутиковий або війковий рух.



### **ДІЯЛЬНІСТЬ**

#### **Самостійна робота з таблицею**

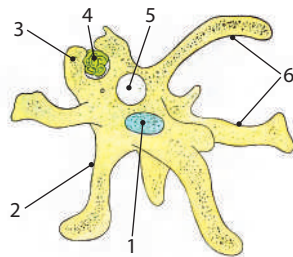
Заповніть таблицю та зробіть висновок про походження зелених рослин, справжніх грибів і справжніх тварин.

## Таблиця. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОСЛИН, ГРИБІВ Й ТВАРИН

Ознаки	Зелені рослини	Справжні гриби	Справжні тварини
Кристи мітохондрій			
Види хлоропластів і пігменти			
Джгутики (кількість і розташування)			
Тіло			
Тип живлення			
Основні групи			

### Біологія + Міфологія. Амеба протей – твариноподібний організм

**Амеба протей** (*Amoeba proteus*) була відкрита і описана німецьким ентомологом Р. фон Розенгофом у 1757 році після того як його служниця пролила воду на мікроскоп. Відкрити істоту вчений назвав «мінливим протеем». Назва «амеба» в перекладі з грецької означає «мінлива», а «протей» – на честь давньогрецького бога Протея, що міг перетворюватися в різних тварин і навіть у різні предмети. Розпізнайте та назвіть елементи будови амеби протей. Визначте таксономічне положення виду та доведіть, що ці істоти є самостійними твариноподібними організмами, а не справжніми тваринами.



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Техніка. Електронний мікроскоп

**Ернст Август Руска** (1906–1988) – винахідник електронного мікроскопа, лауреат Нобелівської премії у галузі фізики (1986 р.). Прототип першого електронного мікроскопа, що складався з двох послідовно розташованих магнітних лінз, був представлений науковцем 9 березня 1931 р. Який принцип дії електронного мікроскопа? Оцініть значення електронного мікроскопа для сучасних біологічних досліджень тварин.



Іл. 49. Тромб з ниток фібрину під електронним мікроскопом



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі справжні тварини? 2. Назвіть основні групи справжніх тварин. 3. До якого надцарства належать справжні тварини? 4. Хто такі твариноподібні організми? 5. Наведіть приклади твариноподібних організмів.
7 – 9	7. Яке місце тварин у системі еукаріотичних організмів? 8. Які особливості твариноподібних організмів? 9. Чому амеба протей, інфузорія туфелька не належать до справжніх тварин?
10 – 12	10. Що спільного й відмінного між справжніми тваринами, справжніми грибами й зеленими рослинами?

## § 17. Багатоклітинні тварини

**Основні поняття й ключові терміни:** БАГАТОКЛІТИННІ ТВАРИНИ. Первинні багатоклітинні. Справжні багатоклітинні.

**Пригадайте!** Хто такі тварини?



### Поміркуйте!

Гідра зелена (*Hydra viridissima*) (1), плоский черв'як конволюта (*Convoluta roscoffensis*) (2), молюск елізія зеленоуха (*Elysia chlorotica*) (3) мають зелене забарвлення і здатні до фотосинтезу, але їх відносять до багатоклітинних тварин. Чому?



### ЗМІСТ

#### Які особливості багатоклітинних тварин?

Багатоклітинні тварини є найбільшою й найскладнішою групою живих організмів. За особливостями організації розрізняють *первинні багатоклітинні* та *справжні багатоклітинні*.

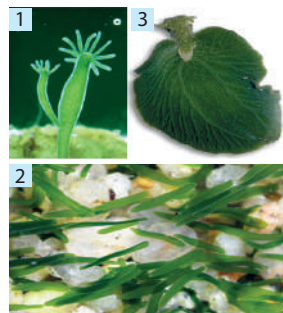
До *первинних багатоклітинних* належать тваринні істоти, в яких немає симетрії, тканин та органів.

*Справжні багатоклітинні* характеризуються наявністю симетрії, появою справжніх тканин, органів і систем органів. У справжніх багатоклітинних тварин з'являються травна, нервова, статева системи, органи чуття. Більшість істот цієї групи вже має видільну систему, а вищі тварини – ще й кровоносну та дихальну системи. У процесі ембріогенезу в справжніх багатоклітинних утворюються зародкові листки, з яких розвиваються тканини та органи дорослих тварин. Серед справжніх багатоклітинних найнижчий рівень посідають реброплави та кнідарії, а найвищий – хордові тварини з такими групами, як риби, амфібії, плазуни, птахи, ссавці.

Отже, **БАГАТОКЛІТИННІ ТВАРИНИ** – це організми, в яких тіло побудоване з великої кількості клітин, що спеціалізуються на здійсненні певних функцій і різняться будовою.

#### Які особливості та різноманітність первинних багатоклітинних?

**Пластинчасті** (*Placozoa*) – первинні багатоклітинні тварини, тіло яких складається з 5 типів клітин: епітеліальних з джгутиками, волокнистих, амeboїд-



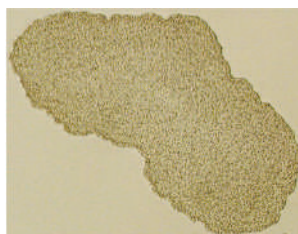
#### Багатоклітинні тварини (Metazoa)

##### Первинні багатоклітинні

Тип Пластинчасті  
Тип Губки

##### Справжні багатоклітинні

Розділ Радіальні  
Тип Реброплави  
Тип Жалкі, або Кнідарії  
Розділ Білатеральні  
Група Первиннороті  
Тип Плоскі черви  
Тип Молюски  
Тип Кільчасті черви  
Тип Круглі черви  
Тип Членистоногі  
Група Вториннороті  
Тип Голкошкірі  
Тип Хордові



Іл. 50. Трихоплакс – найпримітивніша багатоклітинна тварина

них з псевдоподіями, залозистих і слизових. У пластинчастих немає зародкових листків і органи не формуються. У них немає передньої чи задньої, верхньої чи нижньої частин тіла. Типовим представником групи є крихітна морська істота *Трихоплакс адгеренс* (іл. 50). Живиться трихоплакс мікроорганізмами, яких зовнішньо перетравлює й поглинає завдяки піноцитозу чи фагоцитозу за допомогою псевдоподій, а рухається за допомогою джгутиків, що вкривають тіло.

**Губки** (Porifera, Spongia) – первинні багатоклітинні асиметричні тварини, найзагальнішими ознаками яких є наявність пор у стінках тіла та двошаровість тіла. До типу належить близько 5 000 видів прісноводних і морських губок. У тілі, що нагадує мішок чи келих, знизу є основа для прикріплення до субстрату, а зверху – вустя, що веде до кишкової порожнини. У тілі губок розрізняють від 10 до 20 типів клітин. Це покривні пінакоцити, комірцеві хоаноцити, травні амебоцити, резервні археоцити та ін. Найвідомішими представниками є *бодяга ставкова* (іл. 51), *кошик Венери та келих Нептуна*.



Іл. 51. Бодяга ставкова (*Spongilla lacustris*)

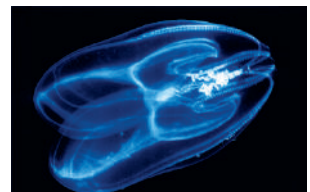
Отже, **Первинні багатоклітинні** (*Prometazoa*) – група примітивних асиметричних багатоклітинних тварин, у яких життєві функції виконують диференційовані клітини різних типів, які подібні до клітин одноклітинних твариноподібних організмів.

### Якими є сучасні погляди на систему справжніх багатоклітинних?

**Справжні багатоклітинні тварини** (*Eumetazoa*) – група примітивних симетричних багатоклітинних тварин, у яких життєві функції виконують різні органи й системи органів, а в життєвому циклі наявні зародкові листки. За симетрією усі справжні багатоклітинні поділяють на два розділи – Радіальні та Білатеральні, що є відображенням кардинальних еволюційних перетворень організації тіла тварин.

**Радіальні** (*Radiata*), або **Двошарові**, – це група справжніх багатоклітинних тварин, ознаками яких є радіальна (променева) симетрія та два зародкові листки. У межах розділу виокремлюють два типи – Реброплавці та Жалкі. Це хижачки, через їхнє тіло можна провести дві й більше площин симетрії, у них з'являється дифузна нервова система, у тілі – кишкова порожнина, а між екто- й ентодермою наявна мезоглея, дуже добре розвинута регенерація.

**Реброплавці** (*Stenophora*, від грец. *ktenos* – гребінь, *phoros* – ті, що несуть) – це група справжніх тварин, характерною ознакою яких є наявність на тілі виступів з війками. Нині відомо близько 200 видів, які живуть у морях. На поверхні тіла реброплавців є вісім валиків (ребер), на яких містяться гребневі пластинки, утворені війками. Під час руху пластинки розкладають світло на спектр, тому виникає ілюзія, що по тілу реброплавців пробігають веселкові переливи. Більшість цих тварин має два щупальця, вкриті клейкими клітинами для полювання. Представниками групи є *венерин пояс, мнеміопсис* (іл. 52).



Іл. 52. Реброплав мнеміопсис (*Mnemiopsis leidyi*)

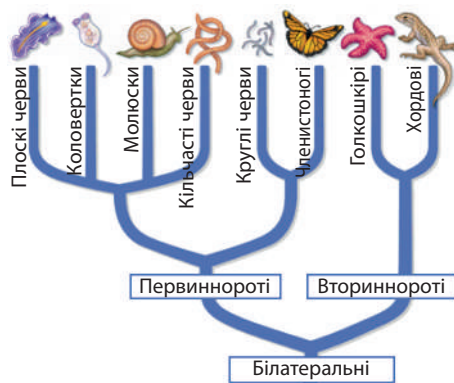
**Жалкі** (від лат. Cnidaria – ті, що жалять) – це група справжніх тварин, характерними ознаками яких є жалкі клітини та дві життєві форми – поліпи й медузи. До типу Жалкі належить понад 9 000 видів водних тварин, об'єднаних у дві групи – Коралові поліпи (актинії, корал-мозковик, червоний корал) та Медузозоїдні (гідра звичайна, медуза-хрестовик, вухата медуза, медуза-коренерот, морська оса) (іл. 53). Останні молекулярно-генетичні дослідження довели, що Коралові поліпи є найбільш примітивною та спільною предковою формою для всіх інших представників типу.



Іл. 53. Гідра звичайна (*Hydra vulgaris*)

**Білатеральні** (Bilateria), або **Тришарові**, – це група справжніх багатоклітинних тварин, найзагальнішими ознаками яких є білатеральна (двобічна) симетрія та три зародкові листки. Характерна ознака будови тварин цього розділу – двобічна симетрія, що поділяє тіло на дві частини (праву й ліву, передню й задню, спинну й черевну). В ембріогенезі тварин є вже три зародкові листки – екто-, енто- й мезодерма, з яких формуються тканини й органи. Дослідження довели, що група Білатеральні є монофілетичною, тобто двобічносиметричні тварини мали спільного предка. Згодом після своєї появи вони розділилися на дві гілки – Первиннороті й Вториннороті. Основна відмінність між ними – у способі формування ротового отвору. Із тих типів, що їх вивчають у школі, до первинноротих належать **Плоскі черви, Молюски, Кільчасті черви** (їх поєднали у еволюційну групу на основі таких спільних ознак, як спіральне дроблення та наявність личинки трохофори) та **Круглі черви й Членистоногі** (утворюють другу еволюційну лінію, для яких спільними ознаками є кутикула та линяння).

Раніше плоскі черви вважалися предками круглих червів, а кільчасті – предками членистоногих. Особливе місце в системі тварин посідає група Вториннороті, у яких в ембріогенезі на місці первинного рота розвивається анус, а ротовий отвір формується на протилежному боці зародка. До цієї групи належать **Голкошкірі** та **Хордові** (іл. 54).



Іл. 54. Спрощена система білатеральних

Отже, таксономічна революція, спричинена молекулярно-генетичними дослідженнями, привела до змін і у систематиці багатоклітинних тварин.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота

**Розпізнавання різних представників тварин і складання схем класифікації**

**Вправа 1.** Розгляньте запропоновані види тварин. Зіставте ілюстрації з відповідними назвами видів. Укажіть ознаки, за якими ви розпізнали запропоновані види тварин.



Види справжніх багатоклітинних білатеральних тварин: 1 – планарія молочно-біла; 2 – равлик виноградний; 3 – медична п'явка; 4 – аскарида людська; 5 – хрущ травневий; 6 – ланцетник європейський.

**Вправа 2.** За допомогою таблиці визначте належність зображених тварин до однієї із систематичних груп.

**Таблиця. ДЕЯКІ ОЗНАКИ ОСНОВНИХ ГРУП СПРАВЖНІХ ТВАРИН**

Характерні ознаки	Група	Представники
Сплошене тіло, передній та середній відділи травної системи, органи виділення – протонефридії	Плоскі черви	
Голова, тулуб, нога, мантия, черепашка, органи виділення – нирки	Молюски	
Сегментація тіла, вторинна порожнина тіла, органи виділення – метанефридії	Кільчасті черви	
Тіло вкрите кутикулою, первинна порожнина тіла, органи виділення – шкірні залози	Круглі черви	
Хітиновий екзоскелет, змішана порожнина тіла, органи дихання – зябра, легеневі мішки, трахеї	Членистоногі	
Зяброві щілини в глотці, нервова трубка, хорда, тіло вкрите шкірою	Хордові	

### Біологія + Міфологія. Гідра звичайна – справжня тварина

**Лернейська гідра** – міфологічна істота з тілом змії і 9 головами дракона, породжена Тіфоном і Єхидною. Знищення дев'ятиголової потвори – один з подвигів Геракла. Представників роду Гідра назвали іменем цієї істоти за високу здатність до регенерації. Визначте таксономічне положення виду **Гідра звичайна** (*Hydra vulgaris*) і доведіть його належність до справжніх тварин.

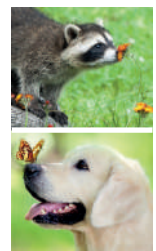
Домен	Царство	Тип	Клас	Ряд	Родина	Рід	Вид



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Етологія. Поведінка тварин

**Поведінка** – це пристосувальні дії, спрямовані на встановлення життєво необхідних зв'язків організмів із середовищем. У тварин поведінка є більш різноманітною й складнішою, ніж у рослин і грибів. Наведіть приклади етологічних особливостей тварин. Оцініть важливість знань особливостей поведінки тварин для систематики.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі багатоклітинні тварини? 2. Назвіть основні групи цих тварин. 3. Хто такі первинні багатоклітинні? 4. Назвіть два типи первинних багатоклітинних. 5. Хто такі справжні багатоклітинні? 6. Назвіть основні типи цих тварин.
7 – 9	7. Які особливості багатоклітинних тварин? 8. Які особливості та різноманітність первинних багатоклітинних? 9. Якими є сучасні погляди на систему справжніх багатоклітинних?
10 – 12	10. Порівняйте первинних та справжніх багатоклітинних тварин.



## Тема 2. ОБМІН РЕЧОВИН І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

*Ознаки живого є лише проявами головної властивості живої матерії – здатності вивільняти, перетворювати й використовувати енергію ззовні.*  
Н. Грін, У. Стаут, Д. Тейлор

### § 18. Обмін речовин і перетворення енергії – основа функціонування біосистем

**Основні поняття й ключові терміни:** ОБМІН РЕЧОВИН І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ. Асиміляція. Дисиміляція.

**Пригадайте!** Що таке біологічна система?



#### Поміркуйте!

**Система** – це множина ієрархічно організованих взаємодіючих елементів. Системи можуть бути закритими (у них можливий лише обмін енергією) й відкритими (наявний обмін речовин й енергії), простими й складними, неживими й живими. За формами руху матерії розрізняють фізичні, хімічні, біологічні, соціальні системи.

В чому ж головна відмінність між неживою (сніжинка) й живою (радіолярія *Acanthometra tetracopa*) системами?



#### ЗМІСТ

**Чому обмін речовин та енергії є основою функціонування біологічних систем?**

Біологічні системи є відкритими системами, які можуть існувати лише за умови постійного зовнішнього обміну речовинами, енергією та інформацією з навколишнім середовищем. Окрім того, всередині живих систем також відбувається інтенсивний внутрішній обмін речовин, енергії та інформації між окремими частинами біосистеми (органелами клітин, органами організму, організмами в екосистемі).

**ОБМІН РЕЧОВИН І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ** – сукупність процесів, що забезпечують надходження речовин й енергії із середовища, їхнє перетворення у біологічних системах та видалення продуктів життєдіяльності й енергії у середовище. Обмін речовин і перетворення енергії характерні для всіх біосистем і відбуваються на усіх рівнях їхньої організації. Так, на молекулярному рівні в обміні речовин беруть участь біоелементи, біонеорганічні та біоорганічні речовини, у клітинах обмін речовин та енергії здійснюється за участі ферментів,

в організмі відбуваються процеси взаємоперетворення речовин. У екосистемах і біосфері обмін речовин й енергії називають біологічним кругообігом, тому що його здійснюють живі організми – продуценти, консументи й редуценти в харчових ланцюгах.

У загальному потоці речовин, енергії та інформації, що пронизує та об'єднує усі біологічні системи, можна виокремити три етапи: 1) надходження речовин та енергії у біосистеми; 2) внутрішньосистемні перетворення речовин та енергії; 3) видалення речовин та енергії із біосистеми. Наприклад, у клітинах рослин сонячне світло потрапляє на хлорофіл, перетворюється в енергію хімічних зв'язків АТФ і глюкози, а кисень, що утворюється як кінцевий продукт, виділяється в атмосферу.

Обмін речовин відбувається і в неживій природі, однак цей процес значно відрізняється від обміну в живих системах. Ця відмінність зумовлена насамперед тим, що **ОБМІН РЕЧОВИН У БІОСИСТЕМАХ ЗАБЕЗПЕЧУЄ ПОСТІЙНЕ САМООНОВЛЕННЯ, САМОРЕГУЛЯЦІЮ І САМОВІДТВОРЕННЯ ТА ЗДІЙСНЮЄТЬСЯ ЗАВДЯКИ ЗЛАГОДЖЕНІЙ ДІЇ ЧИСЛЕННИХ СТРУКТУР.** У результаті обміну речовин енергія в біосистемах може накопичуватися, зберігатися й використовуватися для процесів життєдіяльності. Окрім того, ознаками біологічного обміну речовин й перетворення енергії є поетапність перебігу, біокаталітичний характер і регульованість процесів внутрішньосистемного перетворення.

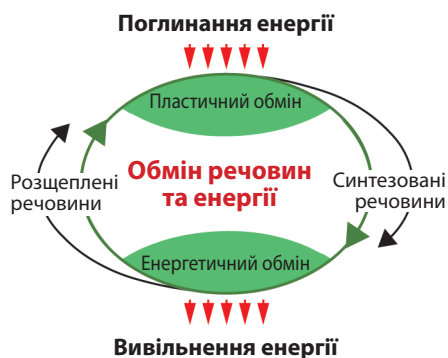
Отже, функціонування біологічних систем можливе лише за умови надходження, перетворення й видалення певних речовин, енергії та інформації.

### У чому полягає єдність процесів асиміляції й дисиміляції?

Обмін речовин й перетворення енергії в організмі складається з *фізіологічних* (живлення, травлення, дихання, транспортування речовин, всмоктування, виділення), *фізичних* (дифузія, осмос, розчинення) й *хімічних* (окиснення, відновлення, гідроліз, бродіння) процесів. Цю сукупність перетворень розглядають як єдність двох протилежних і взаємопов'язаних процесів – асиміляції і дисиміляції (ил. 55).

**Асиміляція** (від лат. *assimilatio* – уподібнення, засвоєння), або **анаболізм**, – частина загального обміну речовин й енергії, що полягає в поглинанні, нагромадженні та перетворенні речовин, що надходять в організм. Завдяки цим енерговитратним процесам організм засвоює поживні речовини, утворює власні речовини, будує з них свої структури, забезпечує ріст і розвиток, оновлення складників та накопичення запасів для використання їх як джерела енергії.

**Дисиміляція** (від лат. *dissimilatio* – несхожий), або **катаболізм**, – це частина загального обміну, під час якого відбуваються розщеплення, руйнування складних органічних сполук (білків, жирів, вуглеводів, нуклеїнових кислот) в організмі на простіші. Найпростішими кінцевими продуктами дисиміляції всіх організмів є вода, вуглекислий газ і амоніак. У процесі дисиміляції вивільняється енергія, яка перетворюється в інші форми та акумулюється в молекулах АТФ.



Ил. 55. Схема обміну речовин та енергії



Процеси асиміляції не завжди перебувають у рівновазі з процесами дисиміляції. На процеси асиміляції й дисиміляції впливають такі чинники, як умови середовища, вік, стать, спосіб життя, вид діяльності, фізіологічний стан тощо.

Отже, асиміляція й дисиміляція є взаємно протилежними і нерозривно пов'язаними потоками речовин та енергії.  
**СИНТЕЗ РЕЧОВИН ПОТРЕБУЄ ЕНЕРГІЇ, ЩО ВИВІЛЬНЯЄТЬСЯ ПІД ЧАС РОЗЩЕПЛЕННЯ РЕЧОВИН.**

### **Яке значення речовин, енергії та інформації для біосистем?**

**Речовина** – це сукупність атомів, атомних частинок чи молекул, що перебувають у певному агрегатному стані. Хімічні речовини, що складаються з атомів одного виду, є простими (метали і неметали), з атомів різних видів – складними. Складні хімічні речовини поділяються на **органічні** (наприклад, малі молекули, макромолекули) і **неорганічні** (оксиди, основи, кислоти й солі). Кожна речовина має свої специфічні властивості, тобто ознаки, за якими можна відрізнити її від інших речовин. Ознаки, за якими різні речовини подібні між собою або відрізняються одна від одної, називаються *властивостями речовин*. Розрізняють фізичні й хімічні властивості речовин, що визначають хімічні й фізичні процеси, які відбуваються в біосистемах. Речовини надходять до біосистем й беруть участь у пластичних й енергетичних перетвореннях. Пластична функція речовин полягає в утворенні власних речовин, тканин, органів живого. Енергетичні перетворення речовин пов'язані з утворенням або руйнуванням їхніх хімічних зв'язків.

**Енергія** (від грец. *енергос* – діяльний) – це загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Енергія не виникає ні з чого і нікуди не зникає, вона може тільки переходити з одного стану в інший (закон збереження енергії). Внаслідок існування закону збереження енергії поняття «енергія» об'єднує всі явища природи. Поняття енергії пов'язане зі здатністю фізичного тіла або системи виконувати роботу. При цьому тіло або система частково втрачає енергію, витрачаючи її на зміни в навколишніх тілах. Біологічні системи здатні отримувати **світлову** (енергія Сонця) або **хімічну** (енергія речовин) енергію ззовні, перетворювати її в різні види (механічну енергію руху, електричну енергію збудження, теплову енергію для терморегуляції тощо).

**Інформація** (від лат. *informatio* – пояснення, повідомлення) – це сукупність відомостей (даних), які сприймають із навколишнього середовища (вхідна інформація), видають у навколишнє середовище (вихідна інформація) або зберігають всередині певної системи. Для біологічних систем виокремлюють такі види інформації, як **зовнішня** й **внутрішня**, фізична (світлова, звукова, механічна, гравітаційна, теплова) й хімічна (нюхова, смакова). Так, зовнішня інформація про навколишнє середовище сприймається фото-, хемо-, термо-, механорецепторними молекулами чи клітинами, внутрішня генетична інформація записана на ДНК. Завдяки зовнішній інформації здійснюється подразливість живого, а генетична інформація забезпечує індивідуальний розвиток та зв'язок поколінь у часі.

Отже, триєдиний потік речовини, енергії та інформації виконує провідну інтегративну роль для самоорганізації та цілісності біологічних систем.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

За допомогою таблиці в робочому зошиті порівняйте етапи обміну речовин та перетворення енергії у запропонованих організмів. Сформулюйте висновок про єдність і взаємозалежність трьох етапів обміну речовин, енергії та інформації. Що є спільного й відмінного в обміні речовин та енергії цих організмів?



### Таблиця. ОСНОВНІ ЕТАПИ ОБМІНУ РЕЧОВИН І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Ознака	Калина	Горобець хатній
1. Надходження речовин та енергії до організму		
2. Внутрішньоклітинні перетворення		
3. Видалення речовин та енергії з організму		

### Біологія + Кібернетика. «Чорна скринька» й потік інформації у біосистемах

«Чорна скринька» – це термін, що використовують у кібернетичі для позначення систем, про принципи внутрішньої дії яких нічого не відомо, крім того, що певному вхідному інформативному сигналу відповідає певний вихідний сигнал. Чорна скринька є важливим елементом у дослідженнях потоку інформації через складні системи. Доведіть можливість застосування методу «чорної скриньки» для вивчення обміну інформації біосистем. В чому недолік цього методу при дослідженнях біосистем?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Психологія. Обмін речовин й репродуктивна поведінка

Репродуктивна поведінка людини формується під впливом політичних, економічних, етнокультурних, етичних чинників і виявляється як реакція людей на зовнішні й внутрішні стимули до продовження роду і планування майбутньої родини. А чи має репродуктивна поведінка зворотний вплив?

Наведіть приклади, що доводять взаємовпливи репродуктивної поведінки та обміну речовин й перетворення енергії в організмі людини.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке обмін речовин і перетворення енергії? 2. Назвіть основні етапи загального обміну речовин та енергії. 3. Що таке асиміляція? 4. Що таке дисиміляція? 5. Що таке потік речовин, енергії та інформації? 6. Які групи речовин, види енергії та інформації мають місце в біосистемах?
7 – 9	7. Чому обмін речовин та енергії є основою функціонування біологічних систем? 8. У чому полягає єдність процесів асиміляції й дисиміляції? 9. Яке значення речовин, енергії та інформації для біосистем?
10 – 12	10. Що є спільного й відмінного в обміні речовин та енергії різних організмів?

## § 19. Біоеlementи. Біонеорганічні речовини: огляд будови й біологічна роль

Основні поняття й ключові терміни: **БІОЕЛЕМЕНТИ. БІОНЕОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ.**

**Пригадайте!** Що таке хімічні елементи?



### Поміркуйте!

У складі живого є майже всі хімічні елементи Періодичної системи Д. І. Менделєєва, але основні ознаки живого визначаються властивостями й функціями лише приблизно 30 біоеlementів. Як ви думаєте, чому?



### ЗМІСТ

**Яка роль біоеlementів в обміні речовин та перетворенні енергії?**

**БІОГЕННІ ЕЛЕМЕНТИ (біоеlementи)** – це хімічні елементи, що входять до складу живої матерії, виявляють певні властивості та відіграють важливу роль у процесах життєдіяльності. Найбільший вміст у живій природі припадає на **елементи-органогени** (Гідроген, Оксиген, Карбон, Нітроген), що є типовими неметалами. Біологічне значення органогенів зумовлене такими властивостями: 1) атоми органогенів легко сполучаються між собою, утворюючи *міцні ковалентні зв'язки*, що забезпечує стійкість біомолекул; 2) Гідроген та Оксиген можуть утворювати *слабкі водневі зв'язки*, які зумовлюють можливість зміни структури біомолекул; 3) мають малі розміри, малу відносну атомну масу і є легкими елементами, що важливо для утворення біомолекул.

**Макроеlementами** є метали – Калій, Кальцій, Натрій, Магній, Ферум і неметали – Фосфор, Хлор, Сульфур. Атомна маса цих елементів дещо більша, але їхній зовнішній електронний шар має або потребує для заповнення невелику кількість електронів. Основними властивостями макроеlementів є: 1) висока здатність утворювати *йони* та участь в утворенні *йонних зв'язків*; 2) більшість є сильними *відновниками* або *окисниками*, тому в складі біосистем досить часто беруть участь у регуляції життєвих функцій.

**Мікроelementами** є Цинк, Йод, Купрум, Манган, Молібден, Кобальт та інші, що розташовуються в нижній частині таблиці, у переважній більшості є металами з відносною атомною масою, більшою за 50. Мікроelementи активують або пригнічують ферменти та входять до складних ферментів, тому їх називають «*каталізаторами каталізаторів*». До мікроelementів належать і такі важливі для живого неметали як Флуор, Силіцій, Селен та ін.

Біоеlementи в біосистемах виконують свої функції у складі біомолекул у формі нерозчинних сполук та йонів. За функціями й біологічними властивостями біоеlementи класифікують на структурні та метаболічні (регуляторні, біокаталітичні та кровотворні). **Структурні біоеlementи** беруть участь в утворенні сполук і виконують роль будівельного матеріалу для клітин, тканин й органів.

Так, Карбон, Оксиген, Нітроген, Гідроген утворюють органічні речовини, Кальцій й Фосфор – кістки, черепашку молюсків, Силіцій – опорні структури діатомових водоростей, хвощів, радіолярій. **Біокаталітичні елементи** забезпечують високу біологічну активність ферментів і вітамінів. Наприклад, Кобальт є в складі ціанкобаламіну, Купрум утворює цитохроми. **Регуляторні елементи** в складі гормонів здійснюють ендокринну регуляцію (Йод є структурним компонентом тироксину, Цинк – інсуліну), транспортують речовини крізь мембрани (натрій-калієвий насос), створюють різницю потенціалів по різні боки мембран для синтезу АТФ (йони Гідрогену) та ін. **Кровотворні біоелементи** (Ферум, Купрум) беруть участь у процесах гемопоезу.

Отже, біоелементи виконують у біосистемах структурну, біокаталітичну, регуляторну та кровотворну функції.

### Які прості неорганічні речовини беруть участь в обміні речовин і перетворенні енергії?

**БІОНЕОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ** – це прості й складні неорганічні речовини, що є обов'язковими компонентами будь-якої біосистеми, і нестача яких у живому призводить до порушення біологічних функцій.

З **неметалів** найбільше значення в біосистемах мають кисень та азот. Основною особливістю, що зумовлює біологічне значення неметалів, є те, що вони мають здатність приєднувати електрони та є **окисниками** в окисно-відновних реакціях. Яскравим прикладом таких речовин є кисень як акцептор електронів у реакціях кисневого розщеплення біомолекул. Важливим для життєдіяльності є й азот незважаючи на його хімічну інертність. У біосистеми цей газ надходить завдяки азотофіксуючій діяльності бульбочкових бактерій, ціанобактерій.

У Періодичній системі Д. І. Менделєєва 85 елементів є **металами**. Десять з них (Натрій, Калій, Магній, Кальцій, Манган, Ферум, Кобальт, Купрум, Цинк, Молібден) відіграють важливу роль у життєдіяльності організмів і отримали назву «метали життя», або **біометали**. Метали мають здатність віддавати електрони і бути **сильними відновниками** в окисно-відновних реакціях. Ці речовини легко утворюють стійкі йони, що беруть участь у транспортуванні речовин (Натрій, Калій), взаємоперетворенні форм енергії (Кальцій у м'язовому скороченні). Вони входять до складу гормонів (Цинк, Кобальт), ферментів й дихальних та фотосинтезуючих пігментів (Ферум, Купрум). Важкі метали чинять токсичну дію на організми (Кадмій, Меркурій).

Отже, прості речовини в складі живого здійснюють окисно-відновну, структурну, регуляторну, енергетичну функції.

### Яке біологічне значення складних біонеорганічних речовин?

Серед складних речовин виокремлюють оксиди, кислоти, основи, солі.

**Оксидами** є складні бінарні сполуки елементів з Оксигеном. **Кислотні оксиди** ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) переважно добре розчиняються у воді й утворюють мінеральні кислоти. Карбон(IV) оксид  $\text{CO}_2$  є регулятором дихання, а чадний газ  $\text{CO}$  – токсичною речовиною. **Основні оксиди** (за винятком оксидів лужних і деяких лужноземельних металів, таких як  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ) переважно нерозчинні у воді й здатні реагувати з кислотами з утворенням важливих для живого солей та основ. Серед **амфотерних оксидів** найбільше значення має  $\text{H}_2\text{O}$ .

У живих системах важливу роль виконує гідроген пероксид  $H_2O_2$ , який є сильним окисником і тому небезпечним для клітин. Роль нітроген (II) оксиду як сигнальної молекули в живих організмах була відкрита у 1980-х роках.

**Кислотами** називаються сполуки, що містять у молекулах атоми Гідрогену та кислотні залишки. Основною біологічною властивістю кислот є їхня здатність до дисоціації й визначення кислотності рідин внутрішнього середовища. Кислоти утворюють важливі для живого аніони  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  (беруть участь у регуляції процесів) та катіони  $H^+$ , від концентрації яких залежить рН рідин й секретів. **Сильні кислоти** активують травні ферменти (НСІ), здатні розчиняти мінеральні сполуки, що надходять для обміну речовин ( $H_2SO_4$ ), будують важливі біомолекули (залишки  $H_3PO_4$  у складі АТФ, нуклеотидів, фосфоліпідів тощо). У **слабких кислот** лише невелика частина молекул дисоціює повністю на йони, але й вони активно залучаються для регуляції рН крові ( $H_2CO_3$  й карбонатна буферна система), для утворення органічних сполук ( $H_2S$  для бактеріального фотосинтезу) тощо.

**Основами** називають сполуки, до складу яких входять атом металу і гідроксильні групи. Основи мають здатність зв'язувати йони  $H^+$  та беруть участь в утворенні буферних систем. Більшість основ у воді нерозчинні, тому живі організми утворюють їх як кінцеві продукти окисно-відновних реакцій. Розчинні основи беруть участь: 1) в утворенні солей (NaOH, KOH); 2) у реакціях нейтралізації ( $Ba(OH)_2$  – для нейтралізації НСІ й зменшення кислотності,  $Al(OH)_3$  – для нейтралізації алкалоїдів рослинної їжі у тварин); 3) в ґрунтоутворенні й створенні умов існування для ґрунтових мешканців ( $Ca(OH)_2$ ) тощо.

**Мінеральні солі** – це продукти повного або часткового заміщення атомів Гідрогену в кислотах на атоми металів. Розчинні солі під час дисоціації розкладаються на катіони металів та аніони кислотних залишків, завдяки чому відбуваються надходження із середовища існування до біосистем багатьох поживних елементів, окисно-відновні реакції, реакції обміну з основами, кислотами, іншими солями. **Нерозчинні солі** багато організмів використовують для побудови захисних та опорних утворень (наприклад, кальцій карбонат, кальцій фосфат утворюють черепашки, скелети коралів, зуби хребетних). **Кислі солі**, які утворюються у реакціях між лугами і кислотами, беруть участь у формуванні буферних систем. Із **розчинних солей** для організмів найбільше значення мають солі, що їх утворюють катіони Натрію, Калію, Кальцію, Магнію, Феруму та залишки хлоридної, сульфатної, нітратної кислот. Ці йони забезпечують транспортування речовин крізь мембрани клітин, регуляцію роботи серця, проведення збудження, активацію ферментів тощо.

Отже, складні неорганічні речовини беруть участь у найважливіших процесах функціонування усіх біологічних систем.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею «Значення біоелементів»

Перед вами хімічні символи 16 необхідних для життя біоелементів: Na, Ca, K, Mg, Fe, P, S, Cl, H, O, C, N, I, F, Cu, Co. Розташуйте їх у відповідному рядку таблиці «Біологічне значення елементів організму людини» навпроти функцій, що вони виконують.

Символ	Значення
	У складі молекул усіх органічних речовин
	У складі води і біомолекул, участь у реакціях окиснення
	У складі води і органічних речовин, участь у реакціях відновлення
	У складі білків, нуклеїнових кислот, АТФ, ферментів, вітамінів
	Транспортування речовин з клітини, регуляція ритму серцевої діяльності
	У складі кісток, регуляція ритму серця, зсідання крові
	Транспортування речовин у клітину, здійснення подразливості
	Компонент хлорофілу, активує діяльність ферментів катаболізму
	Компонент гемоглобіну, міоглобіну, ферментів-цитохромів
	Входить до складу кісток, білків, нуклеїнових кислот, АТФ тощо
	Входить до складу шлункового соку
	Входить до складу сульфуровмісних амінокислот, вітаміну B <sub>1</sub> (тіаміну)
	Входить до складу емалі зубів
	Входить до складу тироксину, трийодтироніну
	Компонент гемоціаніну молюсків, ферментів дихання
	У складі вітаміну B <sub>12</sub> , який регулює кровотворення

### Біологія + Хімія. Організм людини й метали

Експериментально доведено, що в організмі людини на метали припадає близько 3 % (у людини масою 70 кг це становить 2,1 кг): Кальцій (1700 г), Калій (250 г), Натрій (70 г), Магній (42 г), Ферум (5 г), Цинк (3 г). Зіставте названі біометали з їхнім біологічним значенням та отримайте назву хімічного елемента, з якого завдяки його біологічній сумісності для хірургії виробляють засоби для зшивання тканин, нервів, виготовлення протезів тощо. Які властивості цього елемента визначають його використання в медицині?

1 Кальцій	A <sub>1</sub> У вигляді катіонів забезпечує транспортування речовин із клітини
2 Калій	A <sub>2</sub> Компонент гемоглобіну й міоглобіну
3 Натрій	Л Компонент інсуліну, РНК-полімерази, ДНК-полімерази
4 Магній	Н У вигляді йонів підтримує гомеостаз рідин, транспортування речовин у клітини
5 Ферум	T <sub>1</sub> У складі кісток, зубів, регулює зсідання крові й роботу серця
6 Цинк	T <sub>2</sub> Необхідний для енергетики важливих процесів, протистресовий елемент



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Хімія. Значення біонеорганічної хімії

**Біонеорганічна хімія** виникла у 60-х роках ХХ ст. і складається з кількох тісно поєднаних між собою розділів, які вивчають виділення з організмів, синтез, будову та властивості, а також методи дослідження біонеорганічних сполук. Нині ця наука переживає період свого стрімкого розвитку. Оцініть її значення для медицини, агрономії, біотехнології та екології.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біоелементи? 2. Назвіть основні групи біоелементів. 3. Що таке біонеорганічні речовини? 4. Назвіть функції простих біонеорганічних сполук. 5. Наведіть приклади найважливіших для живого складних неорганічних сполук. 6. Назвіть функції складних біонеорганічних речовин.
7 – 9	7. Яка роль хімічних елементів в обміні речовин і перетворенні енергії? 8. Які прості неорганічні речовини беруть участь в обміні речовин і перетворенні енергії? 9. Яке біологічне значення складних біонеорганічних речовин?
10 – 12	10. Оцініть значення біонеорганічної хімії для медицини, агрономії, біотехнології та екології.

Значення біохімії полягає в тому, що вона дає фундаментальне розуміння того, як функціонують біологічні системи.  
Н. Грін, У. Стаут, Д. Тейлор. Біологія

## § 20. Біоорганічні речовини. Білки, нуклеїнові кислоти: огляд будови й біологічної ролі

Основні поняття й ключові терміни: **БІООРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ. БІЛКИ. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ.**

**Пригадайте!** Що таке речовини?



### Поміркуйте!

*Органічні речовини – речовини, що мають ковалентно зв'язані ланцюжки з Карбону. Сьогодні відомо понад 20 мільйонів органічних речовин, серед яких є природні й штучні. Цікаво, а чим біоорганічні речовини відрізняються від інших органічних?*

БІООРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ	
Малі молекули	Макромолекули
Мономери біополімерів: моносахариди, амінокислоти, нуклеотиди. Вищі жирні кислоти	Біополімери: полісахариди, білки, нуклеїнові кислоти. Ліпідні комплекси



### ЗМІСТ

**Які особливості та роль біомолекул в обміні речовин й енергії?**

**БІООРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ** – речовини, що входять до складу живої природи та беруть участь у перетвореннях речовин, енергії та інформації. Ці органічні речовини живого мають певні особливості, що тісно пов'язані із їхніми функціями. Біомолекули мають високу енергоємність завдяки численним зв'язкам, здатність до окиснення з виділенням великої кількості енергії, здатність до гідролітичного розкладу за участі води, залежну від умов змінну активність з визначальним впливом ферментів та ін. Для біомолекул характерні й складні взаємоперетворення. Наприклад, з вуглеводів утворюються й відкладаються жири, з білків можуть формуватися вуглеводи й жири, з жирів – вуглеводи. Взаємозв'язок між обміном білків, жирів і вуглеводів виникає на основі спільності проміжних продуктів та універсальної енергетичної ролі АТФ. Для біомолекул характерною є взаємодія з біонеорганічними речовинами. Так, у автотрофів біомолекули утворюються з  $\text{CO}_2$  й  $\text{H}_2\text{O}$ , розклад біомолекул у реакціях окиснення відбувається з утворенням  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  та амоніаку.

Основними функціями біоорганічних речовин в обміні речовин є: 1) **структурна** – участь у реакціях синтезу з утворенням різних нових молекул; 2) **енергетична** – участь у реакціях розкладу та забезпеченні енергетичних потреб живого (глюкоза, фруктоза, АТФ); 3) **регуляторна** – участь у регуляції біохімічних процесів та функцій (ферменти, вітаміни, гормони); 4) **резервна** – хімічна інертність та нерозчинність у воді зумовлюють відкладання певних біомолекул про запас (крохмаль, глікоген, жири, олії); 5) **захисна** – біомолекули знешкоджують внутрішні й зовнішні шкідливі речовини, захищають від ультрафіолетового випромінювання, хвороботворних вірусів, бактерій (лізоцим); 6) **інформаційна** – участь у процесах сприймання, збереження й реалізації інформації (рецепторні білки, РНК, ДНК).

Отже, найзагальнішими функціями біоорганічних речовин є структурна, енергетична, регуляторна, захисна, резервна та інформаційна.

### Яка будова та біологічна роль білків в обміні речовин?

**БІЛКИ** – це високомолекулярні біополімерні органічні сполуки, мономерами яких є амінокислоти. Білки є біополімерами з 20 різних мономерів – природних **основних (протеїногенних) амінокислот**, сполучених у макромолекули в специфічній кількості, складі й послідовності за допомогою **пептидних зв'язків**. Порядок розташування амінокислот у молекулах білків визначається послідовністю нуклеотидів в генах. Білки поділяють за хімічним складом на *прості* та *складні*. Прості білки (кератин, колаген) побудовані лише з амінокислотних залишків, а складні (муцин, гемоглобін) містять ще й небілкові компоненти (атоми металів, молекули ліпідів, вуглеводів, нуклеїнових кислот тощо). Виокремлюють чотири рівні структури білків: **первинну, вторинну, третинну й четвертинну**.

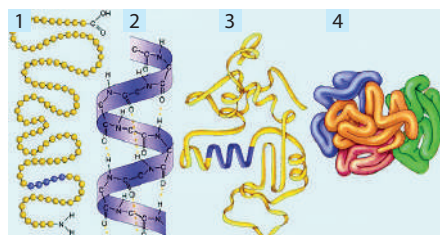
Більшість білків набуває правильної структури лише в певних умовах середовища. Зі зміною цих умов білок змінює свою структуру, або денатурує. **Денатурація** – процес порушення природної структури білків із збереженням первинної. Чинниками, що спричиняють зміну конформації білків, є: нагрівання, випромінювання, сильні кислоти, сильні основи, концентровані солі, важкі метали, органічні розчинники тощо. За умови збереження первинної структури відбувається **ренатурація** – відновлення втраченої природної структури білків. Таким чином, особливості білка визначаються його первинною структурою. А ось процес руйнування первинної структури білків завжди є необоротним. Це вже **деструкція**.

Біологічна роль білків виявляється на кожному з етапів метаболізму. Надходження речовин, енергії та інформації у біосистеми забезпечується білками, що здійснюють **транспортну, рухову, захисну, поживну** функції. Анаболічні й катаболічні перетворення всередині біосистем реалізуються завдяки **пластичній, енергетичній, каталітичній, резервній, регуляторній** функціям білків. У видаленні й знешкодженні продуктів обміну беруть участь **захисні** білки.

Отже, обмін білків посідає центральне місце у всьому різноманітті обмінних процесів біосистем.

### Яка біологічна роль нуклеїнових кислот у метаболізмі?

**НУКЛЕІНОВІ КИСЛОТИ** – складні високомолекулярні біополімери, побудовані з нуклеотидів. У всіх живих організмах нуклеїнові кислоти виконують роль збереження, передачі й реалізації спадкової інформації. Вперше їх виявлено в ядрі клітини, звідки й походить назва цих сполук (від лат. *nucleos* – ядро). Це інформаційні «молекули життя»: ДНК зберігає генетичну інформацію, а різні типи РНК сприяють її реалізації. Нуклеїновим кислотам, як і білкам, притаманна первинна



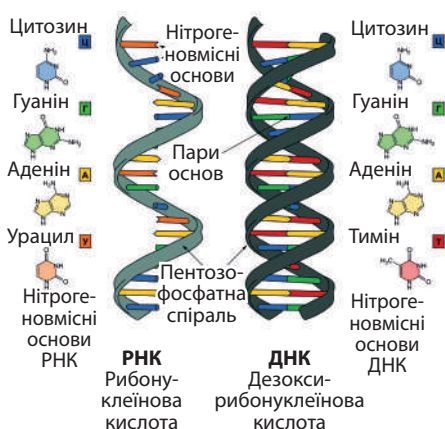
Іл. 56. Структурна організація білків:

- 1 – первинна структура (ланцюг);
- 2 – вторинна структура (спіраль);
- 3 – третинна структура (глобула);
- 4 – четвертинна структура (мультимер)



структура – певна послідовність розташування нуклеотидів, а також складніші вторинна і третинна структури, які формуються за допомогою водневих зв'язків, електростатичних, гідрофобних та інших взаємодій.

Нуклеїнові кислоти – основні «дійові особи» синтезу білкових молекул. Все, що необхідно клітині для життя, запрограмовано в ділянках молекул ДНК – генах. Закодована в них інформація реалізується молекулами РНК: іРНК переписує інформацію з гена й переносить її на рибосоми, в утворенні яких беруть участь рРНК. На молекулі іРНК, як на матриці, синтезується молекула певного білка, а окремі амінокислоти для його синтезу постачаються транспортною РНК (тРНК) (ил. 57, табл. 1).



ил. 57. Особливості будови і структури РНК і ДНК

**Таблиця 1. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДНК ТА РНК**

Ознаки	ДНК	РНК
Мономери	Дезоксирибонуклеотиди: <i>аденілові, тимідилові, гуанілові, цитиділові</i>	Рибонуклеотиди: <i>аденілові, уридилові, гуанілові, цитиділові</i>
Склад нуклеотидів	Нітрогеновмісні основи: <i>аденін, гуанін, тимін, цитозин</i> . Вуглевод – <i>дезоксирибоза</i> Ортофосфатна кислота	Нітрогеновмісні основи: <i>аденін, гуанін, урацил, цитозин</i> . Вуглевод – <i>рибоза</i> . Ортофосфатна кислота
Структура	Подвійна спіраль	Одинарний ланцюг
Властивості	Здатність до реплікації й репарації	Нездатні до реплікації й ренатурації
Функції	Спадкова	Інформаційна (іРНК), транспортна (тРНК), структурна (рРНК)

Отже, нуклеїнові кислоти разом з білками зберігають й реалізують генетичну інформацію, що є основою обміну речовин і перетворення енергії в біосистемах.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань « Функції білків »

Зіставте названі функції з тими білками, що їх реалізують. Заповніть таблицю відповідей та отримайте назву цілого класу білків, що забезпечують умови для з'єднання білків, витривалість клітин в умовах високої температури. Доведіть взаємозалежність будови, властивостей і функцій цих білків.

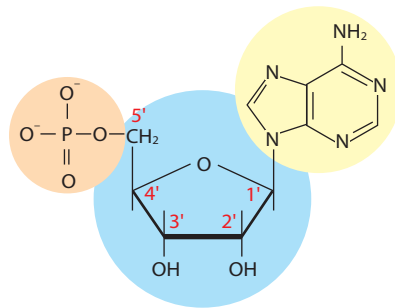
1	2	3	4	5	6	7	8

Функція білків	Приклади білків
1 Пластична	<b>А</b> Пепсин, трипсин, мальтаза
2 Каталітична	<b>Е</b> Родопсин, йодопсин
3 Регуляторна	<b>И</b> Казеїн молока
4 Рецепторна	<b>Н</b> Актин, міозин, тубулін
5 Захисна	<b>О</b> Білки клейковини
6 Резервна	<b>П</b> Інсулін, вазопресин
7 Рухова	<b>Р</b> Фібрин, антитіла
8 Поживна	<b>Ш</b> Колаген, кератин, осеїн

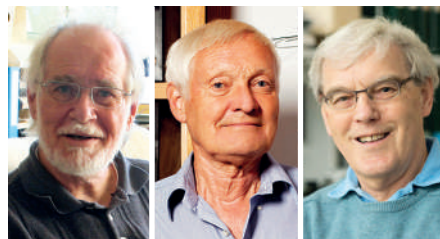
**Біологія + Англійська мова. Нуклеотиди й життя**

Перекладіть текст і поясніть значення нуклеотидів для життя.

«**Nucleotides** are organic molecules that serve as the monomer units for forming the nucleic acid polymers deoxyribonucleic acid (DNA) and ribonucleic acid (RNA), both of which are essential biomolecules in all life-forms on Earth. Nucleotides are the building blocks of nucleic acids; they are composed of three subunit molecules: a nitrogenous base, a five-carbon sugar (ribose or deoxyribose), and at least one phosphate group. Nucleotides also play a central role in life-form metabolism at the fundamental, cellular level. They carry packets of chemical energy – in the form of the nucleoside triphosphates ATP, GTP, CTP and UTP – throughout the cell to the many cellular functions that demand energy, which include synthesizing amino acids, proteins and cell membranes and parts; moving the cell and moving cell parts, both internally and intercellularly; dividing the cell, etc. In addition, nucleotides participate in cell signaling (cGMP and cAMP), and are incorporated into important cofactors of enzymatic reactions (e.g. coenzyme A, FAD, NAD, NADP)».

**СТАВЛЕННЯ****Біологія + Хімія. Кріоелектронна мікроскопія**

Нобелівську премію в галузі хімії у 2017 р. отримали науковці Ж. Дюбоше, Й. Франк і Р. Хендерсон, яких відзначено за «розвиток кріоелектронної мікроскопії, яка спрощує та поліпшує визначення структури біомолекул». Кріоелектронна мікроскопія дає змогу заморозити біомолекули під час руху та візуалізувати процеси, що є вирішальними для розуміння хімії життя. Що таке кріоелектронна мікроскопія? Яке значення може мати цей метод досліджень для розв'язування проблем збереження здоров'я людини?



Ж. Дюбоше Й. Франк Р. Хендерсон

**РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біомолекули? 2. Назвіть групи та функції біомолекул. 3. Що таке білки? 4. Назвіть функції білків у біосистемах. 5. Що таке ДНК? 6. Що таке РНК?
7 – 9	7. Які особливості та роль біомолекул в обміні речовин й енергії? 8. Яка будова та біологічна роль білків в обміні речовин? 9. Яка біологічна роль нуклеїнових кислот у метаболізмі?
10 – 12	10. Від чого залежать властивості й функції білків і нуклеїнових кислот?

Розміри, форма й біологічні функції макромолекул й клітин залежать від структурних компонентів.  
Альберт Ленінджер

## § 21. Вуглеводи, ліпіди: огляд будови й біологічної ролі

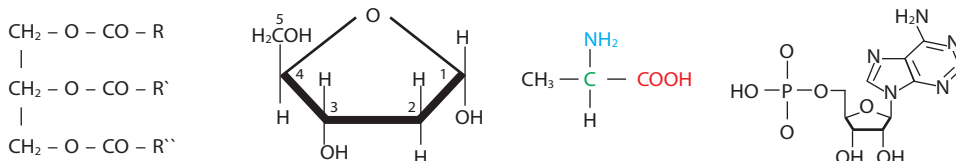
Основні поняття й ключові терміни: **ВУГЛЕВОДИ. ЛІПІДИ.**

**Пригадайте!** Що таке органічні речовини?



### Вступна вправа

Перед вами структурні формули жиру, рибози, аланіну й аденілового нуклеотиду. Яка із цих формул ілюструє вуглеводи й жири? Поясніть свій вибір.



### ЗМІСТ

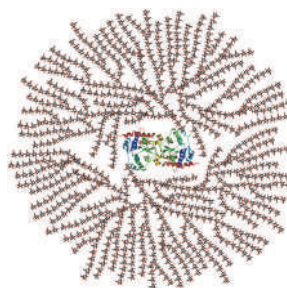
**Яке значення вуглеводів для обміну речовин і перетворення енергії?**

**ВУГЛЕВОДИ** (цукри) – органічні сполуки, до складу яких входять Карбон, Гідроген та Оксиген. Їхня загальна формула –  $C_n(H_{2n}O)_n$ , звідки й вихідна назва вуглеводів (вуглець і вода). Структура вуглеводів не закодована безпосередньо генетично, а утворюється внаслідок серії ферментативних реакцій фотосинтезу з низькомолекулярних сполук або глюконеогенезу із пірвіноградної кислоти, яка є проміжною сполукою метаболізму клітин.

Вуглеводи за хімічним складом можуть бути простими і складними. *Прості вуглеводи* утворені відповідно до загальної формули  $C_n(H_2O)_n$ . *Складні вуглеводи* утворюються внаслідок взаємодії молекул простих вуглеводів між собою.

Вуглеводи здатні до безкисневого й кисневого розщеплення, що зумовлює їх провідну **енергетичну функцію** в метаболізмі живого (глюкоза, фруктоза). Понад  $\frac{2}{3}$  енергетичних потреб організму забезпечується завдяки використанню вуглеводів. **Структурну функцію** виконують нерозчинні й стійкі вуглеводи клітинних оболонок грибів (*хітин*), рослин (*целюлоза*), бактерій (мурейн), прості вуглеводи слугують «будівельними блоками» для утворення нуклеотидів (рибоза і дезоксирибоза), оліго- чи полісахаридів (глюкоза, галактоза). **Резервна функція** вуглеводів полягає в запасанні *крохмалю* в зелених рослин й водоростей. Основною формою запасання глюкози в клітинах тварин, більшості грибів, багатьох бактерій та архей є *глікоген*, що має компактну розгалужену

Найпоширеніші вуглеводи організмів
<b>I. Моносахариди:</b> А. Пентози: <b>рибоза, дезоксирибоза</b> Б. Гексози: <b>глюкоза, фруктоза</b>
<b>II. Дисахариди: сахароза, лактоза, мальтоза</b>
<b>III. Полісахариди: крохмаль, целюлоза, хітин, глікоген, пектини</b>



Іл. 58. Схема молекули глікогену

структуру (іл. 58). Зв'язування й видалення з організму людини радіонуклідів за участі пектинів ілюструє **захисну функцію** вуглеводів.

Отже, вуглеводи в обміні речовин спеціалізуються на виконанні енергетичної, структурної, резервної та захисної функцій.

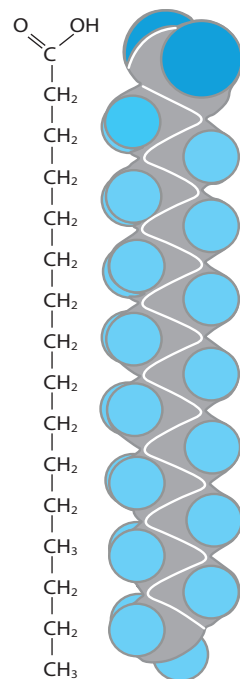
### Які особливості будови й роль ліпідів у метаболізмі?

**ЛІПІДИ** (від грец. *lipos* – жир) – це різноманітні за хімічним складом біоорганічні сполуки живого, спільною ознакою яких є їхня неполярність, через що вони розчиняються лише в неполярних розчинниках. Молекули ліпідів можуть містити залишки спиртів, жирних кислот, сульфатної кислоти, вуглеводів, білків та ін. Властивості багатьох ліпідів значною мірою визначаються насиченими (не мають подвійних зв'язків) жирними кислотами (іл. 59). Більшість ліпідів (воски, жири) характеризуються нерозчинністю у воді (гідрофобністю) та розчинністю в неполярних розчинниках: естерах, ацетоні, хлороформі, бензені та ін. Такі властивості зумовлені відсутністю полярних груп у їхніх молекулах. Інші групи ліпідів (фосфоліпіди, гліколіпіди) виявляють подвійні амфифільні властивості, тому що містять полярні (гідрофільні головки ортофосфатної кислоти чи спирту) і неполярні (ланцюжок жирної кислоти) групи (іл. 60).

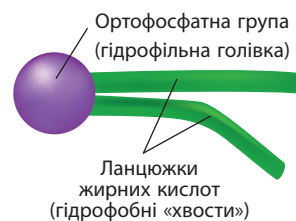
За структурними особливостями ліпіди класифікують на прості й складні. **Прості ліпіди** є похідними жирних кислот і спиртів. Найвідоміші з них – воски (бджолиний віск, спермацет, ланолін, суберин, кутин) й жири (рослинні – соняшникова, трояндова олії, масло какао; тваринні – китовий жир, свинячий жир, риб'ячий жир). Основними функціями восків є **захисна**, а жирів – **енергетична, резервна, водоутворювальна**. Біологічне значення простих ліпідів зумовлене тим, що серед них є такі необхідні для життя речовини, як ненасичені жирні кислоти, жиророзчинні вітаміни, фосфоліпіди, стерини.

**Складні ліпіди** окрім ліпідної частини містять й інші речовини. У ліпопротеїнів такими сполуками є білки, у фосфоліпідів – залишок ортофосфатної кислоти, у гліколіпідів – вуглеводи. Ці сполуки виконують здебільшого **структурну функцію**. До ліпідів відносять й жироподібні сполуки (ліпоїди), що є їхніми попередниками або похідними. Більшість із них здійснюють в організмі **регуляторну функцію**. Прикладом подібних речовин є стероїди (холестерин, жовчні кислоти, статеві гормони та гормони надниркових залоз – кортикостероїди). До жироподібних сполук належать жиророзчинні вітаміни А, D, Е і К.

Отже, ліпіди в біосистемах здійснюють енергетичну, структурну, захисну, регуляторну, водоутворювальну, резервну функції.



Іл. 59. Пальмітинова кислота ( $C_{15}H_{31}COOH$ ) – насичена жирна кислота



Іл. 60. Будова молекули фосфоліпиду

## У чому суть ієрархії молекулярного рівня організації життя?

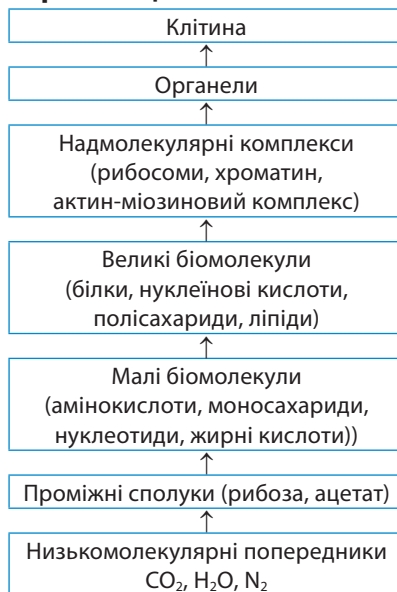
**Ієрархія молекулярного рівня організації життя** – порядок підпорядкованості простих хімічних структурних елементів й молекул складнішим. Стаючи частиною складнішого цілого, прості структури втрачають свою індивідуальність, проте нове ціле набуває нових властивостей.

Для молекулярного рівня організації життя характерна певна ієрархія біомолекул, що входять до його складу (іл. 61). Усі біоорганічні речовини походять від дуже простих *низькомолекулярних попередників*, що надходять у біосистеми із навколишнього середовища:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ . У живому, взаємодіючи між собою, вони утворюють *проміжні сполуки* (наприклад, ацетати, кетокислоти), які й утворюють прості органічні речовини, або *малі біомолекули*. Це передусім чотири класи молекул – жирні кислоти, моносахариди, амінокислоти та нуклеотиди.

Їх називають *будівельними блоками*, оскільки з них утворюються молекули наступного ієрархічного підрівня. Розміри, форма і хімічні властивості біомолекул дають їм змогу не тільки слугувати будівельними блоками при створенні складної структури клітин, а й брати участь у безперервних процесах перетворення речовини і енергії. Прості біомолекули сполучаються між собою різноманітними ковалентними зв'язками, утворюючи макромолекули (білки, полісахариди і нуклеїнові кислоти) та молекулярні комплекси (ліпіди).

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

Отже, для молекулярного рівня організації життя характерна певна структурна ієрархія: хімічні елементи – прості та складні неорганічні сполуки – проміжні сполуки – малі біомолекули – великі біомолекули – надмолекулярні комплекси – органели – клітина.



Іл. 61. Схема ієрархії молекулярного рівня організації життя



### ДІЯЛЬНІСТЬ

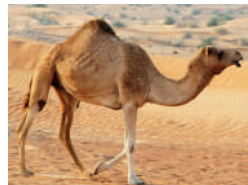
#### Завдання на порівняння

За допомогою таблиці порівняйте вуглеводи й ліпіди. Зробіть висновок про енергетичне й пластичне значення вуглеводів й ліпідів у метаболізмі.

Ознака	Вуглеводи	Ліпіди
Хімічний склад		
Властивості		
Синтез		
Розпад		
Основні групи		
Функції		

## Біологія + Екологія. Адаптації ксерофілів

*Ксерофіли* – наземні тварини, що пристосувалися до життя в безводних місцевостях (пустелях, напівпустелях, сухих степах). Прикладом таких тварин є одnogорбий верблюду, тушканчики, американський кенгуровий пацюк та ін. Одні з них задовольняються лише запасами води, що міститься в їжі, інші успішно використовують метаболічну воду. Який метаболічний процес забезпечує утворення води з жирів? У чому полягають переваги жирів як джерела води перед вуглеводами?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Художнє мистецтво

Акварель – фарби, що складаються з розтертого пігменту, змішаного з розчином рослинного (вишня, черешня) прозорого водорозчинного клею. Завдяки цьому клею акварель можна розчиняти у воді для нанесення тонких прозорих шарів, що міцно прилипають до паперу. Ця клейка суміш вуглеводів у біології називається «камедь» (гумі). Яке значення цього секрету для рослинних організмів, які його виділяють? Які вуглеводи є в складі камедей? Створіть акварельний малюнок плоду вишні.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке вуглеводи? 2. Назвіть функції вуглеводів в обміні речовин. 3. Що таке ліпіди? 4. Назвіть основні групи ліпідів. 5. Що таке ієрархія молекулярного рівня організації життя? 6. Назвіть складники молекулярного рівня організації життя.
7 – 9	7. Яке значення вуглеводів для обміну речовин й перетворення енергії? 8. Які особливості будови й роль ліпідів у метаболізмі? 9. У чому суть ієрархії молекулярного рівня організації життя?
10 – 12	10. На конкретному прикладі поясніть, як властивості жирів і вуглеводів залежать від структурних складників.

*Єдність функціонування живого – в обміні речовин, що в загальному подібний у всіх клітинах.*

*Андре Львов*

## § 22. Структури клітин, які забезпечують процеси обміну речовин та енергії

**Основні поняття й ключові терміни: МЕТАБОЛІЗМ. Мембранне транспортування. Біотрансформація.**

**Пригадайте!** Що таке клітина?



### Поміркуйте!

**Гепатоцити** (від грец. *hepar* – печінка, *цитос* – клітина) – клітини печінки, які секретують жовч і беруть активну участь в обміні речовин організму й знешкодженні токсинів. У гепатоцитів є свої способи мембранного транспортування, інтенсивний метаболізм, вони містять ферменти, яких немає в усіх інших клітинах організму. Як у цих клітинах відбувається обмін речовин та енергії?



## ЗМІСТ

### Як відбувається транспортування речовин крізь плазматичну мембрану?

Обмін речовин, енергії та інформації на рівні клітин відбувається внаслідок: 1) надходження речовин й енергії у клітину; 2) метаболізму; 3) видалення із клітин. Які структури клітин забезпечують ці процеси?

**Мембранне транспортування** (лат. *transporto* – переміщую) забезпечує перенесення різноманітних речовин, енергії та інформації крізь клітинні мембрани. Малі молекули та йони проходять крізь мембрани шляхом пасивного або активного транспортування, а перенесення макромолекул здійснюється завдяки ендо- й екзоцитозу.

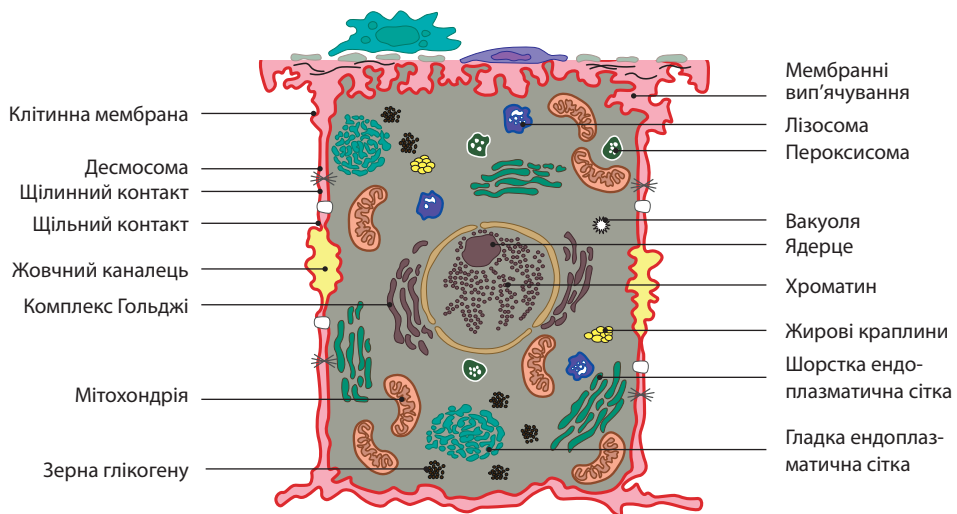
Функції тих чи інших клітин обов'язково позначаються на будові їхніх клітинних мембран. Так, гепатоцити на одному зі своїх полюсів мають мікрворсинки або внутрішньоклітинні вип'ячування мембран для збільшення поверхні й всмоктування шляхом **дифузії** речовин із крові. Розчинні у воді сполуки транспортуються в клітини шляхом **осмосу**, а гідрофобні неполярні речовини – шляхом **полегшеної дифузії** за участі білків-переносників. Мембрана гепатоцитів має високу ферментну активність для активного транспортування йонів й молекул як усередину клітини, так і з клітини. Активне транспортування речовин крізь мембрану здійснюється проти градієнта їх концентрації із затратою енергії АТФ та за участі спеціальних мембранних білків, які називаються **йонними насосами**. Наприклад, *натрій-калієвий насос* забезпечує переміщення низькомолекулярних сполук (амінокислот, глюкози) крізь мембрану за рахунок різної концентрації йонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$  всередині клітини і ззовні. За участі АТФ відбуваються ендоцитоз та екзоцитоз. При **ендоцитозі** плазматична мембрана утворює вирости, які потім перетворюються на внутрішньоклітинні пухирці, що містять захоплений клітиною матеріал. Розрізняють два види ендоцитозу: фагоцитоз і піноцитоз. Шляхом ендоцитозу відбувається всмоктування ліпопротеїнових частинок із крові після прийому жирної їжі, а шляхом **екзоцитозу** – вивільнення в кров жирових краплин, жовчі. У здійсненні транспортування речовин велике значення мають міжклітинні контакти. Так, біля жовчних каналців, у які секретується жовч, мембрани гепатоцитів зв'язані щільними контактами й десмосомами для запобігання дифузії. Для передачі сигнальних молекул чи поживних речовин між гепатоцитами існують щілинні контакти.

Отже, впорядкованість й регуляцію потоку речовин, енергії та інформації у клітину і з клітини забезпечує мембранне транспортування.

### Які структури клітини забезпечують процеси метаболізму?

**МЕТАБОЛІЗМ** (від грец. *метаболе* – перетворення, зміна) – сукупність хімічних процесів, що забезпечують перетворення речовин, енергії та інформації в клітині. Ці зміни спрямовані на ВПОРЯДКОВАНІСТЬ клітини, тому в метаболічних процесах беруть участь усі структури клітини. Особливості будови клітин, кількість й різноманітність їх структур залежать від інтенсивності процесів її

Транспортування речовин крізь мембрани	
Пасивне транспортування	Активне транспортування
Проста дифузія	Крізь мембрану (йонні насоси)
Полегшена дифузія	У мембранній упаковці: ендоцитоз (фагоцитоз і піноцитоз) та екзоцитоз
Осмоз	



Іл. 62. Будова гепатоцита

метаболізму та функцій в організмі. Для того щоб переконатись у цьому, розглянемо особливості будови гепатоцитів (іл. 62).

У центральній частині гепатоцита розміщене **ядро** з одним або двома **ядерцями**. Ядра можуть бути диплоїдними (2n), тетраплоїдними (4n) й навіть октаплоїдними (8n), що залежить від функціонального стану організму. Кількість таких ядер із віком поступово збільшується.

Основною функцією гепатоцита є *утворення й секреція жовчі* у жовчні каналці. Через те в клітинах добре розвинуті **секреторні міхурці**. Цитоплазма гепатоцитів рясніє **мітохондріями**, кількість яких в одній клітині може досягати 2000. Ці двомембранні органи окиснюють органічні речовини й синтезують у великій кількості АТФ.

Важливу роль відіграють гепатоцити в *синтезі білків, вуглеводів і ліпідів*. Гепатоцити синтезують альбуміни, більшу частину глобулінів і білків, що беруть участь у зсіданні крові. Білки в гепатоцитах синтезуються в **шорсткій ЕПС**, надходять до **комплексу Гольджі**, набувають функціональних особливостей, упаковуються в міхурці й виділяються за допомогою екзоцитозу в кров. Метаболізм вуглеводів й ліпідів пов'язаний з **гладкою ЕПС**, яка розсіяна в цитоплазмі у вигляді цистерн, трубочок й міхурців. Гепатоцити під дією інсуліну перетворюють надлишок глюкози на глікоген, який відкладається у вигляді зерен у цитоплазмі. За нестачі глюкози **зерна глікогену** розщеплюються до глюкози. У гепатоцитах також відбувається накопичення ліпідів у вигляді **жирових краплин**.

Отже, кількість, наявність та участь структур клітини в тих чи інших процесах визначається саме особливостями метаболізму та функціями клітин.

### Як відбувається знешкодження та виділення речовин із клітин?

У клітину разом з необхідними для її життя речовинами можуть потрапляти ззовні чужорідні або утворюватися всередині токсичні речовини (амоніак, гідроген пероксид, індол, скатол). Вони зазнають перетворень і видаляються. **Біотрансформація** (від грец. *bios* – життя, лат. *transformatio* – перетворення) – *біохімічні процеси, в ході яких речовини зазнають змін під дією різних фермен-*



тів клітин. У ході першої фази біотрансформації молекула шкідливої речовини збагачується полярними функціональними групами, що робить її реакційно-здатною і розчинною у воді. У другій фазі відбуваються синтетичні процеси поєднання з ендогенними молекулами (наприклад, з глюкуроною кислотою, сульфатами, гліцином), у результаті чого утворюються полярні сполуки, які й виводяться з клітин.

Знешкодження токсичних сполук у клітинах забезпечується ферментами оксидоредуктазами, гідролазами, пероксидазами та відбувається в цитоплазмі, ЕПС, мікротільцях, мітохондріях, лізосомах. Так, за допомогою ферментів ЕПС відбувається детоксикація алкоголю, пероксидаза мікротілець розщеплює гідроген пероксид на воду й кисень. У гепатоцитах отруйний амоніак знешкоджується в процесі перетворення на сечовину.

Основними процесами клітинного виділення є: а) розчинення продуктів обміну речовин й видалення їх з клітин за участі вакуолей, залишкових тілець; б) ізолювання продуктів обміну у вигляді клітинних включень.

Отже, у клітинах відбуваються процеси, під час яких знешкоджуються, перетворюються й видаляються назовні шкідливі речовини та підтримується клітинний гомеостаз.

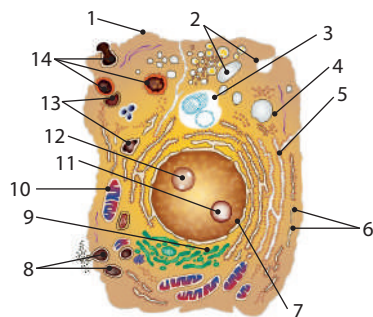


### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з ілюстрацією

Розгляньте ілюстрацію клітини людини із позначеними структурами: 1 – клітинна мембрана; 2 – піноцитозний міхурець; 3 – клітинний центр; 4 – гіалоплазма; 5 – зерниста ЕПС; 6 – незерниста ЕПС; 7 – ядерні пори; 8 – секреторні міхурці; 9 – комплекс Гольджі; 10 – мітохондрія; 11 – ядро; 12 – ядерце; 13 – лізосоми; 14 – фагоцитозні міхурці.

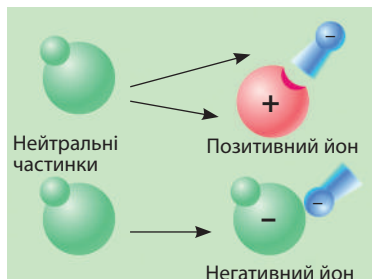
Визначте роль позначених структур у обміні речовин та перетворенні енергії, заповніть у робочому зошиті таблицю. Зробіть висновок про взаємозв'язок між будовою клітини та процесами її метаболізму.



Назва структури	Роль в обміні речовин, енергії та інформації

### Біологія + Хімія. Йони й метаболізм клітин

Існування йонів уперше теоретично передбачив Майкл Фарадей близько 1830 р., описуючи поведінку частинок молекул, що збираються біля катоду та аноду. Однак механізм йонізації не розуміли до 1884 р., аж поки Сванте Арреніус не описав його у своїй докторській дисертації. Що таке йони? Яка роль йонів у мембранному транспортуванні?





## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Медицина. Регенерація печінки

У печінці мишей виявлено спеціальні клітини, які відповідають за її відновлення. До цих пір залишалося невідомим, унаслідок чого відбувається регенерація цього органа. Нові клітини назвали **гібридними гепатоцитами**. Виявлені клітини допоможуть науковцям розробити безпечні способи лікування хвороб печінки. Застосуйте свої знання про будову гепатоцитів й поясніть, як відбувається відновлення печінки на клітинному рівні. У чому необхідність знешкодження токсичних сполук в організмі людини?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке мембранне транспортування? 2. Назвіть основні види транспортування. 3. Що таке метаболізм? 4. Наведіть приклади структур клітини, що беруть участь у процесах метаболізму. 5. Що таке біотрансформація? 6. Наведіть приклади шкідливих для клітин сполук.
7 – 9	7. Як відбувається транспортування речовин крізь плазматичну мембрану? 8. Які структури клітини забезпечують процеси метаболізму? 9. Як відбувається захист клітин від небезпечних речовин?
10 – 12	10. Доведіть взаємозв'язок між будовою клітини та процесами її метаболізму.

*Хоча енергія існує у багатьох формах, для живих істот стають у пригоді лише дві з них – світлова й хімічна енергія.  
Н. Грін, У. Стаут, Д. Тейлор*

## § 23. Особливості обміну речовин в автотрофних організмів

**Основні поняття й ключові терміни: АВТОТРОФНЕ ЖИВЛЕННЯ.**

**Пригадайте!** Що таке обмін речовин й енергії?



### Знайомтеся!

Рід **Пеларгонія** (від грец. *пеларгос* – лелека) має велику кількість видів й сортів із чудовими різнобарвними суцвіттями – білими, червоними, рожевими, фіолетовими, двоцвітними квітками, з візерунками на пелюстках. За гарного догляду ці невибагливі рослини цвітуть до пізньої осені. Які ж екологічні умови є оптимальними для **пеларгонії зональної садової** (*Pelargonium zonale hortorum*)?



### ЗМІСТ

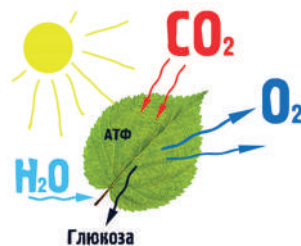
#### Які особливості живлення зелених рослин?

**АВТОТРОФНЕ ЖИВЛЕННЯ** (від грец. *аутос* – сам і *трофос* – їжа) – це надходження в організм неорганічних речовин, необхідних для синтезу власних органічних сполук. Залежно від джерел енергії, що використовується при цьому, розрізняють **фотоавтотрофне живлення** (властиве ціанобактеріям і зеленим

рослинам, у клітинах яких є зелені пігменти, що вбирають зовнішню світлову енергію) (іл. 63) та **хемоавтотрофне живлення** (у деяких груп бактерій, які використовують внутрішню хімічну енергію неорганічних сполук).

Якими ж є особливості обміну речовин й енергії у зелених рослин як найдосконалішої групи автотрофів?

По-перше, у зелених рослин *надходження неорганічних речовин забезпечують регульовані процеси повітряного і мінерального живлення. Повітряне живлення* – це процес поглинання та засвоєння з повітря вуглекислого газу, який є вихідним продуктом для фотосинтезу. Надходження  $\text{CO}_2$  відбувається крізь продихи листка, тому саме цей вегетативний орган є органом повітряного живлення. *Мінеральне живлення* – це процес поглинання та засвоєння з ґрунту води та хімічних елементів, необхідних для життєдіяльності. Органом мінерального живлення в рослин є корінь.



Іл. 63. Схема фотосинтезу в рослині

По-друге, звичайним явищем для зелених рослин є поєднання автотрофного живлення з гетеротрофним й *використання готових органічних речовин* із зовнішнього середовища або із резервів у клітинах. В усіх рослин є період, коли організм використовує для життя раніше синтезовані та відкладені про запас органічні речовини. У темновий період живлення рослин також є гетеротрофним. За особливостями живлення серед рослин виокремлюють такі групи: **рослини-сапрофіти** (ялиничка звичайна, гніздівка звичайна), **рослини-напів-паразити** (омела-біла, дзвінець, перестріч, очанка), **рослини-паразити** (вовчок, петрів хрест, повитиця), **рослини-хижаки** (венерина мухоловка, росичка круглолиста, жирянка, пухирник, непентес).

По-третє, зелені рослини із середовища *отримують енергію Сонця*. Утворення глюкози залежить передусім від якості й кількості світлової енергії, що поглинається хлорофілом і каротиноїдами листків. Найбільше значення для рослин мають сині, фіолетові й червоні промені видимого спектра. На початкових стадіях вегетації для росту й розвитку рослин важливими є сині промені, а в дорослому віці більш необхідними стають червоні промені.

Отже, особливостями живлення зелених рослин є повітряне й мінеральне живлення, використання готових органічних речовин і світлової енергії.

## Які особливості внутрішньоклітинного метаболізму автотрофних організмів?

Визначальними процесами автотрофного метаболізму є анаболічні реакції. Це різні види фотосинтезу архей, фотобактерій та еукаріотичних рослин й хемосинтез залізо-, сірко- та нітрифікуючих бактерій. У деяких солелюбних (галофільних) архей спостерігається **безхлорофільний фотосинтез**, що здійснюється за участі бактеріородопсину. Принциповою відмінністю між **кисневим фотосинтезом** зелених рослин і ціанобактерій та **бактеріальним фотосинтезом** зелених і пурпурних сіркобактерій є те, що останній відбувається за участі бактеріохлорофілів у анаеробних умовах, кисень не виділяється, джерелом Гідрогену є сірководень. Кисневий фотосинтез відбувається з виділенням кисню за участі хлорофілів

й каротиноїдів у зелених рослин та хлорофілів і фікобілінів – у ціанобактерій. Джерелом Гідрогену та молекулярного кисню для цього фотосинтезу слугує вода.

Ще однією особливістю автотрофів є їхня здатність перетворювати продукти фотосинтезу на амінокислоти, жирні кислоти, нуклеотиди, з яких далі утворюються складні біомолекули. Такий автотрофний анаболізм, що пов'язаний з фото- й хемосинтезом, називається *первинним синтезом органічних речовин*. І ось тут виявляється ще одна особливість, пов'язана з використанням мінерального Нітрогену у вигляді амоніаку й нітратів, а точніше їхніх йонів ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Зелені рослини можуть завдяки цьому синтезувати усі необхідні їм амінокислоти в процесах амінування й переамінування.

Біосинтез білка в автотрофів відбувається так само, як і у тварин: на рибосомах за участі іРНК й тРНК. Однак у рослин існує *додатковий шлях синтезу білка за допомогою ферментів-транспептидаз* (транспептидази). Він полягає в тому, що ферменти переносять пептиди від однієї білкової молекули до іншої. При цьому відбувається рекомбінація ділянок різних білкових молекул із заданою амінокислотою послідовністю. В результаті нові білки утворюються без великих витрат енергії та речовин.

Для катаболізму автотрофів також характерні особливості, пов'язані з хемо- й фотосинтезом. Автотрофні організми в реакціях катаболізму розщеплюють синтезовані ними ж органічні речовини (найчастіше глюкозу або крохмаль). Окрім того, АТФ синтезується не лише в процесі дихання після окиснення глюкози, а й під час світлової фази фотосинтезу завдяки фотофосфорилуванню.

Отже, метаболізм автотрофних організмів має особливості, що визначаються їхньою здатністю до первинного синтезу органічних сполук з неорганічних речовин.

### Які особливості виділення речовин у автотрофів?

**Екскреція** – сукупність процесів, спрямованих на виведення невикористаних продуктів обміну речовин й енергії, а також чужорідних і шкідливих для клітини сполук. Особливостями екскреції у автотрофів є те, що вони – первинні продуценти і *синтезують в необхідній кількості усі потрібні органічні речовини*. Наприклад, у рослин синтезується лише стільки білків, скільки необхідно на даний час. Вони ніколи не утворюють білків у надлишку і тому виділяють дуже мало нітрогеновмісних відходів – продуктів розщеплення білків. Окрім того, *кінцеві продукти обміну речовин* у автотрофних організмів ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , вода) *служать вихідними сполуками для інших реакцій*. Наприклад, у рослин  $\text{CO}_2$  використовується в темновій фазі фотосинтезу, а вода – в світловій. *Спеціалізованих органів екскреції у автотрофів немає*, однак продукти виділення в них можуть накопичуватися та видалятися в середовище з тканинами й органами, що відмирають. Так, у зелених рослин відходи метаболізму відкладаються у відмерлих тканинах, у листках чи корі, що періодично видаляються. Виділення води у вигляді пари відбувається під час транспірації через продиhi, сочевички, видалення надлишку води (гутація – від лат. *gutta* – крапля) – через водяні продиhi (гідатоди) тощо. Вода випаровується через усі частини рослини та найінтенсивніше це здійснюють листки (іл. 64).



Іл. 64. Гутація на листках приворотня блискучого

Своєрідним способом виділення є внутрішньоклітинне виділення та ізоляція переведених у важкорозчинну форму продуктів обміну. Наприклад, органічні кислоти, що можуть спричинити шкоду клітині, зв'язуються з катіонами і відкладаються у вигляді кристалів у цитоплазмі (наприклад, включення з кальцій оксалату в щавлю).

Отже, виділення речовин у процесі життєдіяльності є важливим компонентом обміну речовин і гомеостазу рослинного організму.

**ОБМІН РЕЧОВИН У АВТОТРОФНИХ ОРГАНІЗМІВ** – це обмін, що характеризується надходженням неорганічних речовин, які є джерелом Карбону, Гідрогену й Нітрогену, переважанням у клітинах анаболічних реакцій, первинним синтезом власних органічних сполук і використанням кінцевих продуктів обміну для реакцій.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

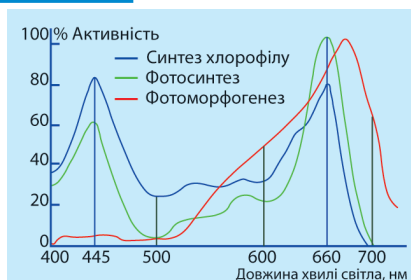
#### Самостійна робота з таблицею

За допомогою таблиці в робочому зошиті порівняйте процеси фотосинтезу в прокариотів та еукаріотів. Сформулюйте висновок про подібність й відмінності фотосинтезу в різних фотоавтотрофних організмів.

Ознака	Прокариоти	Еукаріоти
Тип фотосинтезу		
Організми-фототрофи		
Джерело Гідрогену		
Джерело Карбону		
Джерело енергії		
Фотопігменти		
Вихідні продукти		
Кінцеві продукти		

## Біологія + Рослиництво. Штучне освітлення рослин

Для вирощування рослин під штучним освітленням здебільшого використовують електричні джерела світла, якими можуть бути лампи розжарювання, люмінесцентні, газорозрядні, індукційні лампи. Нині в професійному рослинництві здебільшого застосовують фітолюмінесцентні й світлодіодні лампи. Проаналізуйте графік і поясніть, яким має бути спектр кольорів у ламп для вирощування рослин за умов штучного освітлення.



Вплив довжини хвилі світла на розвиток рослин



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Екологія. Гумус

У живленні рослин велике значення мають гумусні органічні речовини ґрунтів. У землеробстві з давніх-давен відомо: чим більше гумусу в ґрунті, тим він родючіший. Тому не випадково створене з допомогою дощових каліфорнійських черв'яків органічне добриво «Біогумус» нині широко застосовується у вирощуванні рослин. Що таке гумус? Яке екологічне значення гумусу ґрунтів для життєдіяльності рослин?





## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі автотрофи? 2. Назвіть основні групи автотрофних організмів. 3. Що таке анаболізм й катаболізм? 4. Назвіть визначальну особливість метаболізму автотрофів. 5. Наведіть приклади речовин, що видаляються з клітин автотрофних організмів. 6. Які особливості обміну речовин у автотрофних організмів?
7 – 9	7. Які особливості живлення зелених рослин як автотрофних організмів? 8. Які особливості метаболізму автотрофних організмів? 9. Які особливості виділення речовин у автотрофів?
10 – 12	10. Порівняйте процеси фотосинтезу в прокариотів та еукаріотів.

*Гетеротрофами називають організми, які використовують для живлення складні органічні сполуки.  
Н. Грін, У. Стаут, Д. Тейлор*

## § 24. Особливості обміну речовин у гетеротрофних організмів

**Основні поняття й ключові терміни: ГЕТЕРОТРОФНЕ ЖИВЛЕННЯ.**

**Пригадайте!** Що таке автотрофне живлення?



### Вступна вправа

Поділіть наведені організми на дві групи і заповніть табличку: 1 – білий гриб; 2 – клен гостролистий; 3 – молочнокислі бактерії; 4 – улотрикс; 5 – бульбочкові бактерії; 6 – трутовики; 7 – аурелія; 8 – магнолія; 9 – навікула; 10 – ламінарія. Що було критерієм для розподілу організмів на групи?

Автотрофи	
Гетеротрофи	

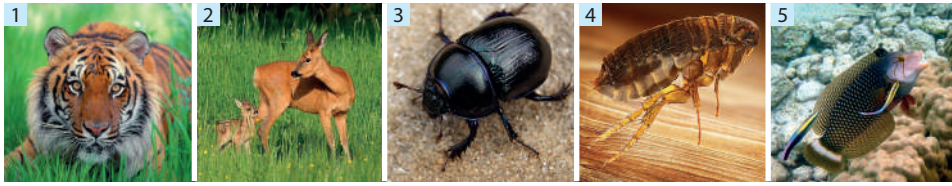


### ЗМІСТ

**Чому розрізняють різні типи й види гетеротрофного живлення?**

**ГЕТЕРОТРОФНЕ ЖИВЛЕННЯ** (від грец. *гетерос* – різний і *трофос* – їжа) – це процес надходження в організм готових органічних речовин, що слугують джерелом Карбону. Залежно від джерел енергії розрізняють **фотогетеротрофне живлення** (пурпурні несірчані бактерії, геліобактерії мають бактеріохлорофіли, що використовують зовнішню світлову енергію) та **хемотротрофне живлення** (археї, більшість бактерій, тварини, гриби, що використовують внутрішню хімічну енергію органічних сполук). У живій природі виокремлюють ще один тип живлення – міксотрофний. **Міксотрофне живлення** (від грец. *міксо* – змішаний і їжа) – це процес надходження в організм за одних умов середовища неорганічних речовин для фотоавтотрофного живлення, а за інших умов – готових органічних речовин для хемотротрофного живлення. Іншими словами, це змішане живлення, що спостерігається в комахоїдних рослин, рослин-паразитів, евглени зеленої, діатомових водоростей, певних груп бактерій.

Найбільш поширеними є організми з хемотротрофним типом живлення – хемотротрофи. Саме вони демонструють *різноманітність видів гетеротрофного живлення*. За джерелом готових органічних речовин їх класифікують на **хижаків** (хижі тварини, хижі гриби, хижі рослини отримують готові органічні речовини з тіла



Іл. 65. Тварини з різними видами хемогетеротрофного живлення:

1 – тигр (хижак); 2 – лань (фітофаг); 3 – жук-гноювик (сапрофаг); 4 – блоха (ектопаразит); 5 – губан-чистильник (симбіотроф)

своїєї жертви), **фітофагів** (рослиноїдні тварини використовують органічні речовини зеленої маси), **сапрофагів** (жук-гноювик, річкові раки, гієни, грифи споживають органічні речовини відмерлих організмів), **паразитів** (черви-гельмінти, блохи, воші живляться поживними речовинами живих організмів, чим завдають їм шкоди) та **симбіотрофів** (актинії, губани-чистильники, мікоризні гриби живляться поживними речовинами живих організмів, не завдаючи їм шкоди) (іл. 65).

Способи здобування їжі в гетеротрофних організмів є дуже різноманітними, але шлях засвоєння поживних речовин у більшості з них подібний і складається з таких етапів: поглинання їжі – перетравлювання складних поживних речовин – всмоктування малих біомолекул – метаболізм – виділення.

Отже, типи й види гетеротрофного живлення розрізняють за джерелом енергії та джерелами отримання готових органічних речовин.

### Які особливості метаболізму гетеротрофів?

Визначальними й переважаючими процесами метаболізму гетеротрофів є *катаболічні реакції розщеплення складних органічних речовин*. Завдяки їм відбуваються вивільнення хімічної енергії, перетворення її в енергію АТФ і використання для життєдіяльності та реакцій анаболізму. Катаболізм більшості гетеротрофів можна поділити на три етапи.

- **Підготовчий етап** – це специфічний для гетеротрофів етап перетравлювання й розщеплення біополімерів до малих молекул: білки – до амінокислот, жири – до жирних кислот і гліцеролу, полісахариди – до моносахаридів. Цей етап відбувається у травній системі, а також внутрішньоклітинно в лізосомах. У цих процесах не виділяється достатньої кількості енергії для синтезу АТФ, вся вона втрачається в тепловій формі.
- **Безкисневий (анаеробний) етап** – розщеплення мономерів до ще менших молекул, переважно ацетил-КоА; на цьому етапі в реакціях синтезується незначна кількість АТФ. За неповного розщеплення 1 моль глюкози вивільняється 200 кДж енергії. Одним із основних шляхів 2-го етапу аеробного дихання є гліколіз.
- **Кисневий (аеробний) етап** включає цикл Кребса та окиснювальне фосфорилування, що відбуваються в мітохондріях. На цьому етапі органічні речовини окиснюються до вуглекислого газу, а всі відщеплені від них електрони та протони переносяться на кисень, внаслідок чого утворюється вода. На цьому етапі синтезується найбільша кількість АТФ. Так, з 1 моль глюкози вивільняється 2600 кДж енергії.

Вивільнена енергія й малі молекули беруть участь в анаболічних процесах утворення власних органічних речовин. Таку сукупність перетворень називають *вторинним синтезом органічних речовин*. Цей синтез здійснюється завдя-

ки внутрішньоклітинній енергії окиснення речовин, а не зовнішній світловій енергії, як у автотрофів. Ще однією особливістю анаболізму гетеротрофів є *потреба в незамінних амінокислотах й жирних кислотах*, що не синтезуються в їхніх організмах і мають надходити з їжею. На відміну від автотрофів, здатних засвоювати Нітроген мінеральних сполук, гетеротрофні організми потребують Нітроген в органічній формі (амінокислоти, білки).

Отже, метаболізм гетеротрофних організмів має особливості, що визначаються використанням готових органічних речовин та їхньою здатністю до вторинного синтезу органічних речовин.

### Як відбувається екскреція у гетеротрофних організмів?

У зв'язку з різноманіттям видів живлення й переважанням катаболічних реакцій розщеплення в організмі гетеротрофів утворюються й *видаляються дуже різні речовини*. Такими сполуками можуть бути: 1) кінцеві продукти окиснення (вуглекислий газ, вода); 2) надлишок води й солей; 3) отруйні сполуки, що надійшли до організму з їжею або утворилися під час реакцій (наприклад, токсини); 4) кінцеві продукти обміну білків (амоніак, сечовина); 5) чужорідні речовини (наприклад, отрутохімікати, радіонукліди).

Виділення з організму може здійснюватись шляхом дифузії (у грибів, твариноподібних організмів, бактерій) або за участі спеціальних видільних органів (*протонефридії, метанефридії, зелені залози, видільні трубочки, нирки*) (іл. 66).

Своєрідним способом виділення є відкладання переведених у важкорозчинну форму продуктів обміну в клітинах тіла (наприклад, у клітинах жирового тіла комах).

Для гетеротрофів важливим видом обміну речовин є обмін білків. У ньому *кінцевими продуктами є нітрогеновмісні сполуки* – амоніак, сечовина, сечова кислота, що швидко видаляються з організму. Досить часто у зв'язку з потребами економії води легкорозчинні амоніак і сечовина замінюються на важкорозчинні речовини, якими є гуанін (наприклад, у павуків) або сечова кислота (наприклад, у комах, плазунів, птахів).

Отже, завершальний етап обміну речовин й енергії у гетеротрофів також має свої особливості, якими є наявність нітрогеновмісних кінцевих продуктів і спеціалізованих органів виділення.



Іл. 66. Органи виділення представників різних груп тварин



**ОБМІН РЕЧОВИН У ГЕТЕРОТРОФНИХ ОРГАНІЗМІВ** – це обмін, що характеризується надходженням готових органічних речовин, які є джерелом вільної хімічної енергії, Карбону, Гідрогену й Нітрогену, переважанням у клітинах катаболічних реакцій розщеплення цих речовин, вторинним синтезом власних органічних сполук і видаленням із клітин кінцевих продуктів обміну, зокрема амоніаку.



## **ДІЯЛЬНІСТЬ**

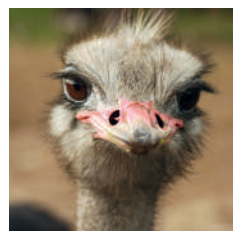
### **Завдання на порівняння**

За допомогою таблиці в робочому зошиті порівняйте автотрофний та гетеротрофний типи обміну речовин й перетворення енергії. Сформулюйте висновок про подібність та відмінності.

Ознака	Обмін речовин у автотрофних організмів	Обмін речовин у гетеротрофних організмів
Особливості надходження речовин й енергії		
Особливості метаболізму		
Особливості виділення		
Групи організмів із типом обміну		

### **Біологія + Тварини. Особливості обміну речовин у птахів**

*Struthio camelus* – така латинська назва цього птаха, в якій слово *camelus* означає «верблюду». І це не дивно, адже про подібність африканських страусів з верблюдами говорять опуклі очі, великі вії та розміри тіла. Це найбільший із сучасних птахів. Його зріст сягає 270 см, а маса – 175 кг. Мало хто знає, що страус – єдиний сучасний птах, у якого є сечовий міхур. Які особливості обміну речовин й перетворення енергії у організмів цього виду?



## **СТАВЛЕННЯ**

### **Біологія + Хімія. Молочнокисле бродіння**

Квашені овочі отримують завдяки молочнокислому бродінню, за якого утворюється молочна кислота, що є консервантом овочевої продукції. Консервовану продукцію треба зберігати без доступу кисню, інакше на розсолі розвиватиметься грибок оїдіум (*Oidium lactis*), який призводить до зменшення кількості речовини-консерванту і розвитку процесів гниття. А що таке бродіння як процес катаболізму?



## **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі гетеротрофи? 2. Назвіть основні групи гетеротрофів. 3. Назвіть етапи катаболізму гетеротрофних організмів. 4. Назвіть визначальну особливість метаболізму гетеротрофів. 5. Наведіть приклади речовин, що видаляються в гетеротрофних організмів. 6. Які особливості обміну речовин у гетеротрофних організмів?
7 – 9	7. Чому розрізняють різні типи й види гетеротрофного живлення? 8. Які особливості метаболізму гетеротрофів? 9. Як відбувається екскреція в гетеротрофних організмів?
10 – 12	10. На конкретному прикладі організмів охарактеризуйте обмін речовин у гетеротрофів.

## § 25. Роль ферментів у забезпеченні метаболізму клітини та цілісного організму

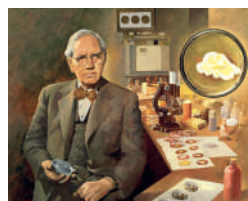
Основні поняття й ключові терміни: **ФЕРМЕНТИ**.

**Пригадайте!** Що таке біологічно активні речовини?



### Знайомтеся!

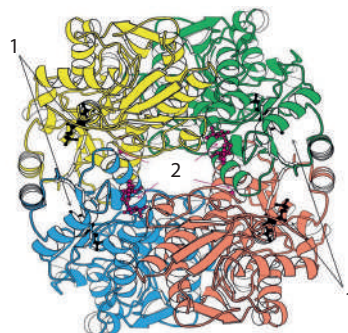
Одного разу **Александр Флемінг** (1881–1955) випадково чхнув у чашку Петрі, в якій перебували бактерії, і через декілька днів виявив, що в тих місцях, куди потрапили краплини слини, бактерії було знищено. В результаті був відкритий захисний фермент лізоцим, що є найпоширенішим природним антибіотиком. Першу статтю про це відкриття було опубліковано в 1922 р.



### ЗМІСТ

#### Які особливості ферментів зумовлюють їхнє значення?

**ФЕРМЕНТИ** (від лат. *fermentum* – закваска), або **ензими**, – високоспецифічні білкові молекули, або РНК-молекули, які є біологічними каталізаторами процесів обміну речовин і перетворення енергії у клітинах та організмі. Термін «фермент» запропонував ще в XVII ст. нідерландський хімік і фізіолог Я. ван Гельмонт (1580–1644). Наука про ферменти виокремилася в окрему галузь біохімічної науки – **ферментологію (ензимологію)**, що інтенсивно розвивається в тісному зв'язку з хімією, фізіологією, токсикологією, мікробіологією, генетикою, фармакологією та ін.



Іл. 67. Каталітичні (1) та регуляторні (2) центри ферменту

Загальними особливостями усіх ферментів є:

- наявність **активних (каталітичних) центрів** (іл. 67) – ділянок, до яких приєднуються молекули субстрату. Ці ділянки у простих ферментах утворюють амінокислоти, а у складних – небілкові частини-кофактори (вітаміни, йони Купруму, Феруму, Магнію);
- наявність **регуляторних центрів** (іл. 67), до яких можуть приєднуватися різні молекули й спричиняти збільшення або зменшення каталітичної активності. Через ці центри на активність ферментів впливають такі регуляторні чинники, як продукти реакцій, гормони, нейромедіатори та ін. Регуляторні чинники, що підвищують активність ферментів, називають **активаторами** (йони кислот, жовчні кислоти для ліпаз), а ті, що зменшують, – **інгібіторами** (наприклад, катіони важких металів);
- **специфічність**, що визначається здебільшого комплементарною відповідністю між ділянкою ферменту й молекулою субстрату;

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

Отже, здатність ферментів впливати на швидкість біохімічних реакцій є вирішальною умовою для процесів обміну речовин і перетворення енергії у клітинах та організмах.

### Як класифікують ферменти?

У сучасній ензимології відомо понад 3000 ферментів; їх класифікують за різними критеріями.

За місцем утворення ферменти поділяють на ендо- й екзоферменти. Переважна більшість ферментів діють всередині клітин або організму, де вони утворилися, тобто є **ендоферментами**. Зазвичай фермент іменують за типом реакції, яку він каталізує, додаючи суфікс *-аза* до назви субстрату (наприклад, лактаза – фермент, що бере участь у перетворенні лактози). Паразитичні бактерії та гриби-паразити використовують **екзоферменти** як чинники, що послаблюють організм хазяїна, руйнують його захисні системи, розщеплюють макромолекули. Травні ферменти хижих тварин (павуки, змії, личинки жуків-плавунців) секретуються для зовнішнього травлення, захисту від хижаків (іл. 68).



Іл. 68. Личинка жука-плавунця, який має зовнішнє травлення

Класифікація ферментів за хімічним складом включає прості та складні ферменти. **Прості ферменти** (однокомпонентні) містять лише білкову частину. Більшість ферментів цієї групи можуть кристалізуватися. Прикладами простих ферментів є рибонуклеаза, гідролази, уреаза та ін. **Складні ферменти** (двокомпонентні) складаються з білкового (апоферменту) й небілкового (кофактора) компонентів. Білковий компонент визначає *специфічність ферментів*, синтезується, як правило, організмом та є чутливим до зміни температури. Небілковий компонент *визначає активність* складних ферментів і, як правило, надходить в організм у вигляді попередників або в готовому вигляді та зберігає стабільність за несприятливих умов. Кофактори можуть бути як неорганічними молекулами (наприклад, йони металів), так і органічними (наприклад, флавін). Прикладами складних ферментів є оксидоредуктази (наприклад, каталаза), лігази (наприклад, ДНК-полімераза, тРНК-синтетази), ліази та ін.

Існує класифікація ферментів і за типом реакцій, згідно з якою їх поділяють на 6 класів: *оксидоредуктази, трансферази, гідролази, ліази, ізомерази та лігази*.

Отже, ферменти класифікують за місцем утворення, хімічним складом і типом каталітичних реакцій.

### Яка біологічна роль ферментів?

За біологічним значенням ферменти поділяють на метаболічні, травні й захисні.

**Метаболічні ферменти** – група ферментів, що каталізують анаболічні й катаболічні реакції у клітинах. Вони можуть міститися в гіалоплазмі (ферменти бродіння), в ядрі (РНК-полімераза, ДНК-полімераза), в мітохондріях (дегідроген-

нази й цитохроми дихального ланцюга), на рибосомах (синтетази білків), у хлоропластах (рибулозобіфосфаткарбоксилаза, або RuBisCo, – фермент фіксації CO<sub>2</sub>) та ін. У клітинах метаболічні перетворення субстратів здійснюються послідовно декількома ферментами. Кожний з цих ферментів каталізує певну ділянку загального метаболічного шляху. Сукупність ферментів, які каталізують перетворення субстрату через ланцюг послідовних реакцій, називається мультиферментним комплексом (мультиферментною системою). Метаболічні ферменти беруть участь у процесах дихання, росту, подразливості, скорочення м'язів тощо.

**Травні ферменти** – група ферментів, що розщеплює складні органічні сполуки та їх комплекси до простіших. Ці ферменти в живій природі спостерігаються в лізосомах твариноподібних організмів, секреторних міхурцях грибів, травних секретах комахоїдних рослин, травній системі тварин (ил. 69). Травні ферменти належать до групи гідролаз, що каталізують реакції гідролізу. Так, у травному тракті хребтних тварин й людини наявні протеази (каталізують розщеплення білків), ліпази (ферменти розщеплення ліпідів), амілази (ферменти розщеплення вуглеводів), нуклеази (розщеплюють нуклеїнові кислоти до нуклеотидів).



Ил. 69. Непентес – комахоїдна рослина з травними ферментами у глечиках

Серед ферментів є й такі, що захищають від токсичних речовин (наприклад, антиоксидантні ферменти пероксидаза, каталаза й супероксиддисмутаза), від втрат крові (наприклад, ферменти зсідання крові – тромбін, фібрин). Основним **захисним ферментом** багатьох організмів є лізоцим, що міститься в лейкоцитах, яєчному білку, шкірі, слизових оболонках і рідинах організму (слини, слізної рідини). Лізоцим розщеплює речовини, що є основою клітинної оболонки бактерій і захищає слизові оболонки ока, порожнини рота, кишечнику від інфекцій.

Отже, роль ферментів полягає в забезпеченні метаболізму клітин, перетравлюванні складних речовин до простіших і забезпеченні захисту від несприятливих чинників.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Пошукове завдання «Характеристика окремих ферментів»

Заповніть таблицю про окремі відкриття у ферментології та підготуйте повідомлення про фермент, назву якого ви отримаєте після встановлення відповідності між прізвиськом науковця і відкриттям.

Науковець	Відкриття
1 Я. ван Гельмонт	<b>E</b> Довів, що екстракт клітин дріжджів здійснює спиртове бродіння так само, як і незруйновані дріжджові клітини
2 Е. Бюхнер	<b>I</b> Здатність ферментів до кристалізації
3 Г. Е. Фішер	<b>H<sub>1</sub></b> Специфічність ферментів визначається точною відповідністю між формами ферменту й субстрату
4 А. Д. Розенфельд	<b>H<sub>2</sub></b> Доведення білкової природи ферментів
5 Д. Б. Самнер	<b>P</b> Запропонований термін «фермент»

## Біологія + Медицина. Отрута змій

Отрута гадюки звичайної, на яку в Україні можна натрапити в лісовій, лісостеповій зонах та в Карпатах, має переважно геморагічний вплив. Чим ближче

місце укусу до голови, тим він небезпечніший. Навесні отрута гадюки є більш токсичною, ніж влітку. Симптоми отруєння: в'ялість, головний біль, нудота, інколи блювота, пришвидшений пульс, паморочливість. Застосуйте знання про ферменти й поясніть механізм впливу отрути гадюки звичайної на живі організми.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Харчова промисловість

Сичужний фермент (хімозин) – традиційний продукт для згурдження молока, що широко використовується в сироварінні. В Італії окрім сичужного хімозину широко застосовують інші ферменти, що їх виробляють мигдалики телят і ягнят. Це надає специфічного пікантного смаку італійським сирам. Яке значення цих ферментів у процесах варіння сирів з молока?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке ферменти? 2. Наведіть приклади ферментів. 3. Що таке прості й складні ферменти? 4. Як класифікують ферменти за біологічним значенням? 5. Що таке метаболічні ферменти? 6. Що таке травні ферменти?
7 – 9	7. Які особливості ферментів зумовлюють їхнє значення? 8. Як ферменти класифікують? 9. Яка біологічна роль ферментів?
10 – 12	10. Яке значення мають знання про ферменти в харчовій промисловості й медицині?

*«Вітаміни, дорогий товаришу предводителю, задарма нікому не даються».  
І. Ільф, Є Петров. Дванадцять стільців*

## § 26. Вітаміни, їх роль в обміні речовин та енергії

**Основні поняття й ключові терміни: ВІТАМІНИ. Водорозчинні вітаміни. Жиророзчинні вітаміни.**

**Пригадайте!** Що таке біологічно активні речовини?



### Новини науки

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) вирішила дослідити стан справ щодо використання вітамінних препаратів у світі. Результат досліджень був таким: свіжі овочі та фрукти набагато корисніші, аніж вітамінні препарати. Що краще: фрукти чи пігулки аскорбінової кислоти? Чому?



### ЗМІСТ

**Які особливості вітамінів визначають їхнє значення?**

**ВІТАМІНИ** (від лат. *vitae* – життя та *amin* – амін) – біологічно активні речовини різної хімічної природи, необхідні в невеликих кількостях для нормального обміну

речовин і життєдіяльності живих організмів. Вітаміни не виконують в організмі ані енергетичної, ані структурної функції, але є необхідними для обміну речовин і перетворення енергії (іл. 70).

Існування і значення вітамінів для життя наприкінці минулого століття встановив М. І. Лунін (1881). Пізніше польський хімік К. Функ (1912) назвав речовину, що виділили з висівків, «вітаміном», оскільки її молекула містила аміногрупу. Ця назва збережена до цього часу, хоча Нітроген є не в усіх вітамінах. У 1913 р. американський біохімік Е. В. Макколлум запропонував називати вітаміни літерами латинської абетки. Нідерландський лікар К. Ейкман довів, що захворювання бері-бері спричиняє нестача важливих для організму речовин. Нині відомо близько 50 вітамінів, що їх вивчає наука **вітамінологія**.

За властивостями вітаміни поділяють на **водо-** та **жиророзчинні**. Розчинність впливає на всмоктування, транспортування, зберігання та екскрецію вітамінів. Так, гідрофільні вітаміни містяться у соковитих складниках їжі, а гідрофобні – в жирах і оліях. Водорозчинні вітаміни всмоктуються безпосередньо в кров, жиророзчинні потрапляють спочатку в лімфу, а потім у кров і переносяться транспортними білками. У клітинах водорозчинні вітаміни вільно циркулюють у цитоплазмі, в той час як жиророзчинні депонуються у вигляді включень. Невеликий надлишок водорозчинних вітамінів може легко виводитись через органи виділення. Через те що жиророзчинні вітаміни накопичуються в тілі, їх живляють у відносно великих кількостях час від часу, щоб задовольнити потреби організму, а ось водорозчинні мають надходити регулярно.

Автотрофні мікроорганізми й зелені рослини синтезують вітаміни самостійно. Не всі вітаміни є обов'язковими для різних видів тварин. Так, вітамін С є необхідним для людини, людиноподібних мавп і морських свинок, а для кроликів, щурів, мишей він не є вітаміном, оскільки синтезується в організмі. Гетеротрофні організми використовують синтезовані вітаміни в складі їжі або вступають в мутуалістичні відносини з організмами, здатними їх утворювати. І лише деякі вітаміни можуть синтезуватися в клітинах гетеротрофів. Так, у клітинах росткового шару шкіри людини синтезується вітамін D, у клітинах печінки утворюються вітаміни В<sub>1</sub> й В<sub>3</sub>, але в недостатній кількості. Усі інші вітаміни в організмі людини не синтезуються взагалі, тому мають обов'язково надходити в складі харчових продуктів.

Отже, вітаміни потрібні організму в невеликій кількості, вони є водо- і жиророзчинними; їхнє значення визначається участю в життєво важливих процесах обміну речовин.

### Які особливості й значення водорозчинних вітамінів?

**Водорозчинні вітаміни** є гідрофільними сполуками, що нерозчинні в жирах і органічних розчинниках. Ці вітаміни містять Нітроген, не накопичуються



Іл. 70. Вітаміни в харчових продуктах людини

в клітинах і виявляють свою дію в складі ферментів; можуть спричиняти гіповітамінози. До групи водорозчинних вітамінів належать вітаміни В<sub>1</sub> (тіамін), В<sub>2</sub> (рибофлавін), В<sub>3</sub> (нікотинова кислота), В<sub>5</sub> (пантотенова кислота), В<sub>6</sub> (піридоксин), В<sub>9</sub> (фолієва кислота), В<sub>12</sub> (ціанокобаламін), Н (біотин), С (аскорбінова кислота).

*Вітамін В<sub>1</sub> (тіамін, антиневритний)* – кристалічна сполука, добре розчинна у воді, стійка проти світла, кисню, нагрівання у кислому середовищі. Тіамін в складі ферментів активно впливає на обмін речовин, а також на нервову регуляцію. Нестача цього вітаміну призводить до захворювання **бері-бері**.

*Вітамін В<sub>2</sub> (рибофлавін, вітамін росту)* широко розповсюджений у рослинному світі, синтезується мікроорганізмами. Є попередником флавінових складних ферментів, що беруть участь у регулюванні окисно-відновних процесів. У такий спосіб рибофлавін відіграє важливу роль у вуглеводному, білковому й жировому обміні.

*Вітамін В<sub>12</sub> (ціанокобаламін, антианемічний)* тканинами тварин не утворюється. Його синтез у природі здійснюється тільки мікроорганізмами. Потреби людини й тварин у ньому забезпечуються мікрофлорою кишечника. Ціанокобаламін входить до складу ферментів синтезу нуклеїнових кислот, є чинником росту й стимулятором гемопоезу, впливає на функції печінки й нервової системи, активує обмін вуглеводів і ліпідів.

*Вітамін С (аскорбінова кислота, антискорбутний)* – безколірна кристалічна речовина, має кислий смак, розчиняється у воді і руйнується за тривалого кип'ятіння. Міститься в значних кількостях у плодах шипшини, капусти, лимонах, апельсинах, хріні, ягодах, хвої та ін. Відкриття вітаміну С пов'язане із захворюванням під назвою «**цинга**», або «скорбут». Вітамін С є антиоксидантом, регулює всі види обміну речовин, зсідання крові, регенерацію тканин, синтез колагену, підвищує проникність капілярів, стійкість до інфекцій.

Отже, водорозчинні вітаміни синтезуються переважно рослинами й мікроорганізмами. Ці вітаміни впливають на процеси кровотворення в організмі, у складі ферментів регулюють обмін речовин, підвищують стійкість до інфекцій та ін.

### Яке значення жиророзчинних вітамінів для організму людини?

**Жиророзчинні вітаміни** нерозчинні у воді, але розчиняються в органічних розчинниках, термостійкі й нечутливі до змін рН середовища; можуть накопичуватися в організмі й спричиняти гіпервітамінози. До жиророзчинних вітамінів належать вітаміни А (ретинол), D (кальциферол), Е (токоферол), К (філохінони).

*Вітамін А (ретинол, антиксерофтальмічний)* синтезується тільки у тваринних тканинах. Рослини позбавлені цього вітаміну, однак багато з них містять каротин, що є попередником ретинолу. Вітамін А – антиоксидант, регулює процеси зроговіння, бере участь у синтезі родопсину, необхідний для підтримки імунітету й протипухлинного захисту організму. Нестача вітаміну А в організмі людини спричиняє захворювання, відоме як **куряча сліпота**.

*Вітамін D (кальциферол, антирахітний)* міститься переважно в організмах тварин й людини. У рослин й грибів є їхні попередники – стерини. Вітамін D чинить гормоноподібну дію, бере участь у метаболізмі Кальцію та Фосфору. У разі нестачі вітаміну D у людини розвиваються **рахіт**, остеомаліяція й деякі форми остеопорозу.

**Вітамін Е (токоферол, антистерильний)** міститься в рослинних оліях й чинить антиоксидантний вплив. Відсутність цих вітамінів у їжі негативно позначається на здатності організму до розмноження. Через те вітамін Е називають також вітаміном розмноження. Авітаміноз Е порушує обмін речовин.

**Вітамін К (філохінон, антигеморагічний)** називають вітаміном коагуляції, оскільки підвищує зсідання крові. Крім того, він прискорює загоювання ран і регенерацію тканин після опіків. У людей авітаміноз К трапляється дуже рідко, його синтезують організми кишкової мікрофлори.

Отже, жиророзчинні вітаміни визначають здатність організму до розмноження, забезпечують зсідання крові, регулюють обмін солей, впливають на функцію зору та ін.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

#### Різноманітність та значення вітамінів для організму людини»

На 2012 р. 13 речовин в науці визнано вітамінами. Заповніть у робочому зошиті таблицю та зробіть узагальнення щодо ролі вітамінів у метаболізмі клітин та обміні речовин організму людини.

#### Таблиця. КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО ОСНОВНІ ВІТАМІНИ

ВОДОРОЗЧИННІ ВІТАМІНИ		ЖИРОРОЗЧИННІ ВІТАМІНИ	
Назва	Функції	Назва	Функції
<b>В<sub>1</sub></b> (тіамін)		<b>D</b> (кальцифероли)	
<b>В<sub>2</sub></b> (рибофлавін)		<b>E</b> (токофероли)	
<b>В<sub>3</sub></b> (нікотинова кислота)		<b>K</b> (філохінони)	
<b>В<sub>5</sub></b> (пантотенова кислота)		<b>A</b> (ретинол)	
<b>В<sub>6</sub></b> (піридоксин)			
<b>В<sub>9</sub></b> (В <sub>12</sub> , фолієва кислота)			
<b>В<sub>12</sub></b> (ціанкобаламін)			
<b>H</b> (біотин)			
<b>C</b> (аскорбінова кислота)			

#### Біологія + Література. Вітамін А

«Старий також пив щодня по кухлю жиру з акулячої печінки, <...> що добре допомагав проти застуди та грипу й був корисний для очей» (Е. Гемінгвей. Старий і море). Одним із корисних компонентів печінки є вітамін А, що був відкритий ще в 1913 р. Опишіть, як відбувається засвоєння вітаміну А в організмі людини. Чи корисно для організму споживати у великій кількості вітамін А?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Медицина. Кальцифероли та їх значення

Останнім часом отримано багато даних, які свідчать про те, що функція вітаміну D не обмежується регулюванням обміну Кальцію і Фосфору. Доведено його ефективність у профілактиці пухлинних захворювань молочної залози, простати, товстого кишечника, а також ожиріння, хвороб серця й депресії. Досліди з нематодами показали,





що кальциферол взаємодіє з «генами довголіття» і захищає клітини від розвитку порушень у діяльності білків та їх неправильного з'єднання. А як і де синтезується вітамін D в організмі людини?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке вітаміни? 2. Назвіть декілька особливостей вітамінів. 3. Що таке водорозчинні вітаміни? 4. Наведіть приклади водорозчинних вітамінів. 5. Що таке жиророзчинні вітаміни? 6. Назвіть жиророзчинні вітаміни.
7 – 9	7. Які особливості вітамінів визначають їхнє значення? 8. Які особливості й значення водорозчинних вітамінів? 9. Яке значення жиророзчинних вітамінів?
10 – 12	10. Доведіть участь вітамінів в обміні речовин організму людини.

*Вільна енергія – це та енергія реакцій, що може бути перетворена в роботу.  
З підручника біохімії*

## § 27. Енергетичне забезпечення процесів метаболізму

**Основні поняття й ключові терміни: ОБМІН ЕНЕРГІЇ. АТФ. КЛІТИННЕ ДИХАННЯ.**

**Пригадайте!** Що таке метаболізм?



### Поміркуйте!

Для організмів нашої планети основним джерелом енергії є сонячне світло. Незначною мірою в процесах метаболізму може використовуватися теплота вулканічного походження, енергія з надр земної кори та ін. Енергія потрібна організмам для синтезу власних органічних речовин з неорганічних (автотрофи) або з готових органічних (гетеротрофи). А що відбувається з енергією після її надходження в клітину?

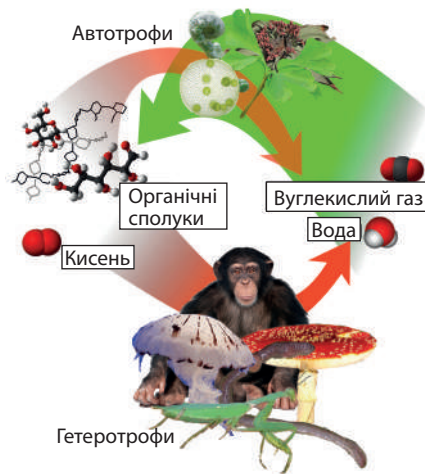


### ЗМІСТ

#### Яка роль АТФ у забезпеченні процесів метаболізму?

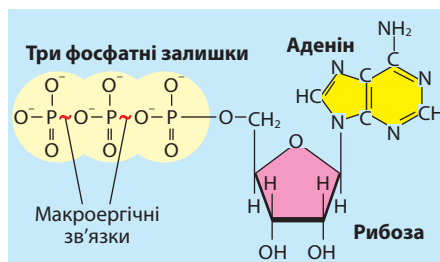
**ОБМІН ЕНЕРГІЇ** – це сукупність процесів, що забезпечують надходження, перетворення та видалення енергії у біосистемах. Як зазначають науковці, «хоча енергія існує у багатьох формах, для анаболізму живих істот придатними є лише дві із них – світлова й хімічна енергія». Основним джерелом світлової енергії є Сонце, а хімічної – хімічні зв'язки готових органічних речовин.

Енергетичні перетворення світлової чи хімічної енергії у клітинах відрізняються від енергетичних процесів неживої природи тим, що: а) основою є окисно-відновні реакції, що відбуваються за участі ферментів; б) мають поступовий (поетапний) характер; в) здійснюються за участі високоспеціалізованих структур – фотомембран, мезосом, мітохондрій та хлоропластів; г) для акумулявання, збереження й внутрішнього перенесення енергії слугує АТФ.



### Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ) – органічна сполука, що належить до вільних нуклеотидів і є універсальним хімічним акумулятором енергії у клітині.

Пригадаємо, що молекула АТФ є нуклеотидом, який складається із аденіну, рибози і трьох залишків ортофосфатної кислоти (іл. 71). Під час відщеплення фосфатної групи від АТФ вивільняється близько 42 кДж енергії та утворюється АДФ (аденозиндифосфатна кислота). Коли ж від молекули АТФ відщеплюються два фосфат-йони, то утворюється АМФ (аденозинмонофосфатна кислота) і звільняється близько 84 кДж енергії. Процеси розщеплення й утворення АТФ відбуваються постійно відповідно до схеми:



Іл. 71. Схема будови молекули АТФ

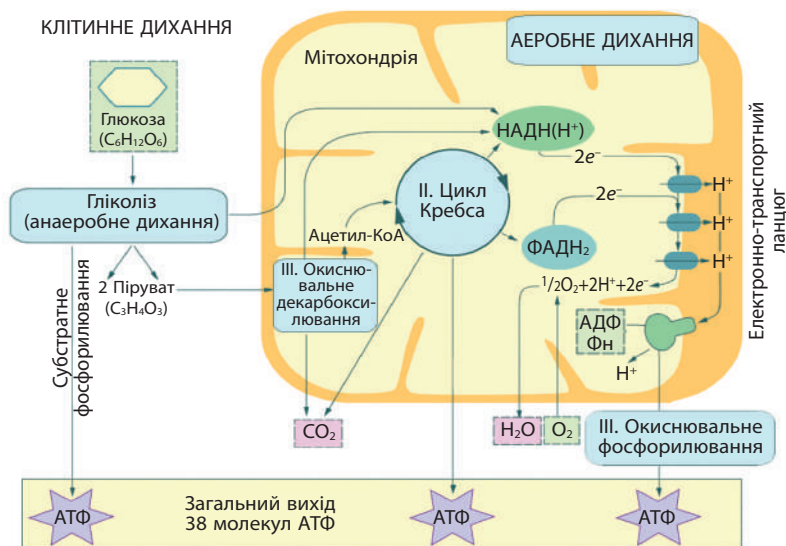


Енергія макроергічних зв'язків АТФ вивільняється в реакціях гідролізу і використовується для виконання будь-якої роботи клітини. Синтез АТФ відбувається завдяки реакціям фосфорилування, що можуть здійснюватися в цитоплазмі (субстратне фосфорилування), в мітохондріях (окиснювальне фосфорилування) або в хлоропластах (фотофосфорилування).

Отже, основна функція АТФ – це енергетична, оскільки сполука бере участь в енергетичному обміні, запасаючи в своїх макроергічних зв'язках значну кількість енергії.

### Які є способи отримання енергії живими організмами?

У живій природі розрізняють три основні способи отримання енергії. Перший із них властивий автотрофним організмам, другий – гетеротрофним, а третій властивий авто- й гетеротрофам:



Іл. 72. Схема процесів клітинного дихання

1. **У автотрофних організмів** зовнішня енергія поглинається хлорофілом (бактеріохлорофілом) й перетворюється в хімічну енергію АТФ. Далі з вуглекислого газу й води в темновій фазі синтезується глюкоза. Як ви вже знаєте, в живій природі цей спосіб властивий фотоавтотрофам, у яких спостерігається кисневий фотосинтез (ціанобактерії, рослини) й бактеріальний фотосинтез, що на відміну від кисневого фотосинтезу відбувається в анаеробних умовах без виділення кисню (пурпурні й зелені сіркобактерії). Поряд з фотосинтезом зв'язування вуглекислого газу в природі здійснюється в процесі хемосинтезу з використанням хімічної енергії окиснення неорганічних сполук (сірко, залізо- та нітрифікуючі бактерії).

2. **У гетеротрофних організмів** хімічна енергія поживних речовин перетворюється в процесах **клітинного дихання** в енергію макроергічних зв'язків АТФ (іл. 72). Ці енергетичні перетворення відбуваються в мітохондріях як процеси гліколізу, бродіння, субстратного та окиснювального фосфорилування.

3. **У автотрофних й гетеротрофних організмів** внутрішньоклітинні перетворення енергії АТФ в різні форми енергії (електричну, світлову, теплову, механічну) сприяють виконанню клітиною процесів життєдіяльності. Частина цієї енергії втрачається у вигляді теплоти.

Отже, за способом отримання енергії живі організми поділяють на автотрофів і гетеротрофів.

### Яка роль процесів дихання в забезпеченні організмів енергією?

**КЛІТИННЕ ДИХАННЯ** – це сукупність процесів біологічного окиснення поживних речовин з вивільненням хімічної енергії, що акумулюється в АТФ. Процеси дихання в клітинах організмів різних царств живої природи подібні за багатьма ознаками. Ознаками подібності є утворення таких універсальних речовин, як пірвіноградна кислота й АТФ, використання кисню як акцептора електронів й Гідрогену, розщеплення до кінцевих продуктів  $H_2O$  і  $CO_2$ , використання подібних ферментів тощо. Виокремлюють два основні типи клітинного дихання: анаеробний та аеробний. Клітинне дихання є частиною енергетичних перетворень, завдяки яким поетапно вивільняється енергія власних органічних речовин.

**Таблиця 2. ЕТАПИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБМІНУ**

Назва етапу	Характеристика
<b>I. Підготовчий</b> (у травних вакуолях, лізосомах чи травному каналі; вивільняється всього 0,2 – 0,8 % енергії)	Під дією травних ферментів складні органічні сполуки розщеплюються до сполук, що їх може засвоювати організм. Енергетичний ефект цього етапу незначний, і вся енергія розсіюється у вигляді теплоти
<b>II. Безкисневий (анаеробний)</b> (у гіалоплазмі клітин; вивільняється лише 5 – 7 % енергії)	Прості органічні сполуки розщеплюються без участі кисню: розщеплення глюкози – <b>гліколіз</b> , жирних кислот – ліполіз, амінокислот – протеоліз. Енергетичний ефект гліколізу – 200 кДж (116 кДж – на теплоту, 84 кДж – на АТФ): $C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2H_3PO_4 \rightarrow 2 C_3H_4O_3 + 2H_2O + 2ATP$
<b>III. Кисневий (аеробний)</b> (у матриці й на кристах мітохондрій за участі кисню; вивільняється основна кількість енергії (понад 90 %))	Аеробне перетворення вуглеводів продовжується завдяки розщепленню пірвіноградної кислоти до води і вуглекислого газу. Енергетичний ефект: 2600 кДж (1088 кДж – на теплоту, 1512 кДж – на АТФ): $2C_3H_4O_3 + 6O_2 + 36H_3PO_4 + 36ADP \rightarrow 6CO_2 + 42H_2O + 36ATP$

Сумарним енергетичним результатом розщеплення 1 моль глюкози є 2800 кДж енергії (200 кДж + 2600 кДж), з якої в 38 молекулах АТФ акумулюється 55 % (42 кДж × 38 = 1596 кДж), а 45 % (1204 кДж) – розсіюється у вигляді теплоти. Рівняння повного розщеплення глюкози:



Отже, клітинне дихання є сукупністю процесів, під час яких розщеплюються поживні речовини, вивільняється хімічна енергія та акумулюється в макроергічних зв'язках АТФ.



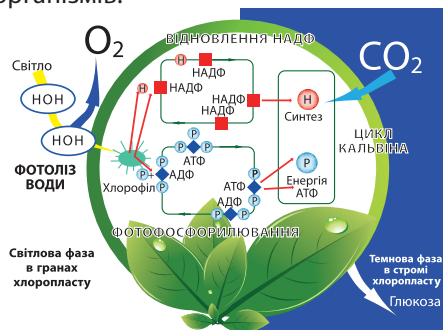
## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з ілюстрацією. Особливості обміну енергії фототрофів

Розгляньте схему фотосинтезу та дайте визначення основних складових процесів. У робочому зошиті заповніть таблицю і сформулюйте висновок про особливості обміну енергії фотоавтотрофних організмів.

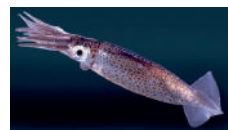
**Таблиця. ФАЗИ Й ПРОЦЕСИ ФОТОСИНТЕЗУ**

Назва	Визначення
I. Світлова фаза	
• Фотоліз води	
• Відновлення НАДФ	
• Фотофосфорилування	
II. Темнова фаза	
• Цикл Кальвіна	



### Біологія + Домашні тварини. Особливості обміну енергії гетеротрофів

**Золотистий ретривер (Голден ретривер)** – порода псів, яка сьогодні стала універсальною. Поліцейські собаки й рятувальники, мисливці й лікарі, няньки і компаньйони – ось далеко не повний перелік того, на що здатні ці пси. Слухняний, розумний, з природними здібностями до роботи, добродушний і впевнений собака. Не багато існує інших порід, представники яких виявляють таку саму доброзичливу, м'яку і люблячу натуру, як золотистий ретривер. Як відбувається енергетичне забезпечення метаболічних процесів у гетеротрофних організмів?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Фізика. Люмінесценція живого

«То блакитний промінь сапфіра, то опаловий промінь топаза, то обидва кольори змішувались і засліплювали розкішним сяйвом, що оточувало вночі молюска, і він здавався одним із найчудовіших творинь природи». Так французький натураліст Ж. Б. Верані описує біоломінесценцію одного з глибоководних кальмарів. Як відбуваються енергетичні перетворення під час біоломінесценції? Доведіть необхідність взаємозв'язку енергетичних й пластичних перетворень в клітинах.





## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке обмін енергії? 2. Що таке АТФ? 3. Хто такі автотрофи? 4. Хто такі гетеротрофи? 5. Що таке клітинне дихання? 6. Назвіть етапи енергетичного обміну.
7 – 9	7. Яка роль АТФ у забезпеченні процесів метаболізму? 8. Які є способи отримання енергії живими організмами? 9. Яка роль процесів дихання в забезпеченні організмів енергією?
10 – 12	10. Які особливості обміну енергії у клітинах автотрофних та гетеротрофних організмів?

*Біоенергетика і метаболізм клітин – «основна страва» динамічної біохімії.  
А. Ленінджер*

## § 28. Обмін речовин в організмі людини

**Основні поняття й ключові терміни: Обмін білків. Обмін ліпідів. Обмін вуглеводів.**

**Пригадайте!** Що таке обмін речовин?



### Вступна вправа

Розгляньте схему «Етапи обміну речовин і перетворення енергії» та визначте значення обміну речовин й енергії для організму.

I. Надходження речовин та енергії	II. Перетворення речовин та енергії	III. Видалення речовин та енергії
Живлення. Травлення. Дихання. Теплоутворення	Анаболізм ↑↓ Катаболізм	Виділення. Тепловіддача



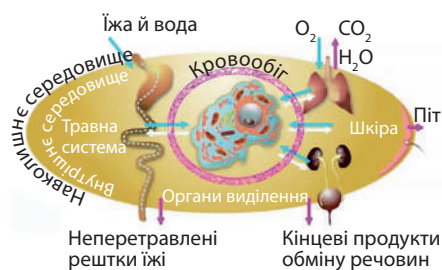
### ЗМІСТ

**Які системи органів забезпечують обмін речовин в організмі людини?**

Системний рівень організації утворений органами, поєднаними в системи виконанням спільної функції. В організмі людини виокремлюють травну, дихальну, кровоносну, видільну, опорно-рухову, нервову, ендокринну, покривну, сенсорні та інші системи. В обміні речовин, енергії та інформації беруть пряму або опосередковану участь усі системи органів, але найважливіша роль належить системам, що здійснюють надходження, поглинання, транспортування та видалення речовин й енергії (ил. 73).

**Травна система** забезпечує фізичне й хімічне розщеплення складних органічних речовин на прості з подальшим їхнім всмоктуванням у кров та лімфу й видалення неперетравлених решток. Ця фізіологічна система є наскрізною й складається з травного каналу й травних залоз. **Дихальна система** здійснює надходження кисню до клітин, газообмін та видалення з клітин вуглекислого газу як кінцевого продукту окиснення органічних речовин. Завдяки диханню вивільняється хімічна енергія поживних речовин. **Кровоносна система** транспортує по замкненій системі судин від травної системи й легень до клітин прості поживні речовини та кисень, а від клітин до органів виділення – продукти метаболізму. Транспортування речовин кровоносною системою відбувається за участі крові,

що складається з плазми та формених елементів. **Сечовидільна система** є сукупністю органів, що здійснюють утворення та видалення сечі, в якій містяться сечовина, надлишок солей й води, сечова кислота, жовчні пігменти тощо. **Шкіра** в обміні речовин реалізує видільну й терморегуляторну функції. Потові залози видаляють надлишок води й солей, а через усю поверхню шкіри відбувається тепловіддача в зовнішнє середовище.



Іл. 73. Обмін речовин й енергії у людини

Отже, фізіологічні системи органів організму людини забезпечують зовнішній (загальний) обмін речовин й перетворення енергії у зв'язку з навколишнім середовищем.

### Які особливості обміну білків, ліпідів та вуглеводів в організмі людини?

**Динамічна біохімія** – розділ біохімії, що вивчає обмін речовин в організмі від моменту надходження поживних речовин до утворення кінцевих продуктів обміну, механізми нейтралізації токсичних продуктів, виведення їх з організму і регулювання швидкості відповідних перетворень.

Для **обміну білків** в організмі людини характерні певні особливості: *утворення сечовини як кінцевого продукту обміну, відсутність процесів депонування білків, однонаправлене перетворення білків на жири й вуглеводи, необхідність для білкового синтезу незамінних і замінних амінокислот, синтез специфічних білків та ін.* Особливості метаболізму білків пов'язані передусім з їх *пластичною функцією* в організмі. Їх участь у забезпеченні енергетичних витрат організму порівнянно з ліпідами й вуглеводами є набагато меншою. Вона не перевищує 15 % і складається з енергії, що виділяється під час розщеплення зношених білків. *Розщеплення білків* у травній системі відбувається у шлунку й тонкому кишечнику за участі ферментів-протеаз до амінокислот. Ці прості органічні молекули надходять у кров і транспортуються до клітин, де здійснюється *внутрішньоклітинне перетворення амінокислот*. У клітинах з амінокислот на рибосомах відбувається *біосинтез білків*, властивих лише даному виду організмів. Регуляція обміну білків відбувається за участі гіпоталамуса та гормонів тироксину, глюкокортикоїдів і соматотропіну.

Для **обміну ліпідів** характерні: *утворення великої кількості енергії під час окиснення, наявність процесів депонування, можливість утворення з білків та перетворення на вуглеводи, необхідність для синтезу власних жирів незамінних та замінних жирних кислот та ін.* Ці особливості пов'язані з тим, що жири виконують *енергетичну й пластичну функції*. Як джерело енергії жири у процесі окиснення виділяють удвічі більше енергії, ніж вуглеводи й білки. *Розщеплення жирів* відбувається переважно в тонкому кишечнику під дією травних ферментів-ліпаз. Необхідною умовою розщеплення жирів є їх подрібнення з утворенням емульсії, чому сприяють жовчні кислоти. У такому вигляді жири можуть розщеплюватися до жирних кислот й гліцеролу та безпосередньо всмоктуватися стінками кишок. Для відкладання про запас жири надходять до клітин підшкірної клітковини, сальника, бурої жирової тканини. Центр регуляції обміну жирів розміщується в гіпоталамусі, який впливає на перетворення жирів через гіпофіз, статеві, щитоподібну і підшлункову залози.

Для **обміну вуглеводів** характерні *легке й швидке окиснення з утворенням значної кількості енергії, здатність постачати енергію в кисневих і безкисневих умовах, наявність процесів депонування в печінці та м'язах, можливість утворення з білків й жирів та ін.* Особливості перетворень вуглеводів в організмі людини пов'язані передусім з їх основною енергетичною функцією. Розщеплення вуглеводів відбувається в ротовій порожнині, тонкому й товстому кишечниках. У травній системі дія ферментів-амілаз людини й мікроорганізмів мікрофлори сприяє утворенню моносахаридів. Ці малі молекули всмоктуються стінками кишечника в кров і надходять до печінки, де утворюються глюкоза й глікоген. Частина глюкози перетворюється на жири й окиснюється в тканинах. Якщо в організмі спостерігається нестача вуглеводів, то вони синтезуються з білків і жирів. Центром регуляції вуглеводного обміну є гіпоталамус проміжного мозку. Інсулін – єдиний гормон, який знижує концентрацію глюкози в крові; гормони глюкагон та адреналін підвищують рівень глюкози в крові.

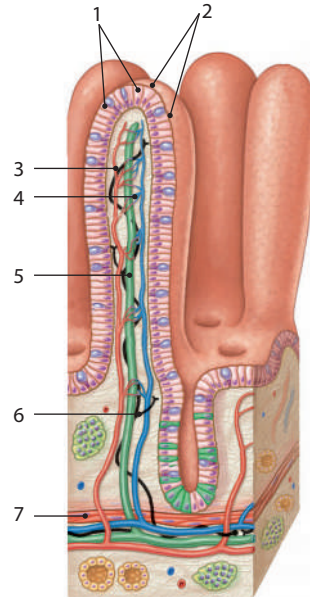
Отже, особливості метаболізму в організмі людини пов'язані з функціями поживних речовин у загальному обміні речовин і перетворенні енергії.

### Яке значення всмоктування поживних речовин?

**Всмоктування поживних речовин** – активний фізіологічний процес транспортування поживних речовин крізь слизову оболонку травного тракту в рідини внутрішнього середовища. Цей процес відбувається після остаточного перетравлення складних поживних речовин до простих. Основною ділянкою травної системи, де відбувається всмоктування поживних речовин, є **тонка кишка**. Цьому сприяють її структурні особливості й велика площа загальної поверхні, що становить близько 200 м<sup>2</sup>. Основною структурно-функціональною одиницею всмоктування поживних речовин є **ворсинка** (іл. 74).

Розрізняють *пасивне всмоктування*, що здійснюється завдяки дифузії, полегшеній дифузії й осмосу, та *активне всмоктування* за участі йонних насосів та ендоцитозу. Безпосередньо у кров через ентероцити шляхом активного транспортування або через проміжки між ними шляхом дифузії переходять розчинні у воді глюкоза, амінокислоти, нуклеотиди та нижчі жирні кислоти. Продукти розщеплення ліпідів надходять у кров або зазнають ресинтезу з утворенням жирів й фосфоліпідів, що відбувається в епітеліальних клітинах ворсинок (ентероцитах). Потім жири й фосфоліпіди поєднуються з білками й утворюють частинки (хіломікрони), які шляхом піноцитозу надходять у лімфу, а згодом потрапляють й у кров.

Велика роль у процесах всмоктування належить інтенсивності кровотоку. Якщо до приймання їжі крізь слизову оболонку тонкої кишки проходить близько 200 мл/хв крові, то під час всмоктування



Іл. 74. Ворсинка тонкої кишки: 1 – ентероцити; 2 – мікроросинки; 3 – артеріола; 4 – капіляри; 5 – лімфатична судина; 6 – нервові відростки; 7 – гладкі м'язи

кровотік зростає до 500 – 600 мл/хв. Гладкі м'язи в стінці тонкої кишки забезпечують ритмічні скорочення ворсинок, що посилює відтік із кровоносних і лімфатичних капілярів.

Отже, всмоктування забезпечує надходження поживних речовин у рідини внутрішнього середовища і далі до клітин.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Практична робота 1

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

**Мета:** розвивати уміння застосовувати знання для пояснення процесів власного організму; формувати переконання про єдність та взаємозалежність процесів обміну речовин.

#### Хід роботи

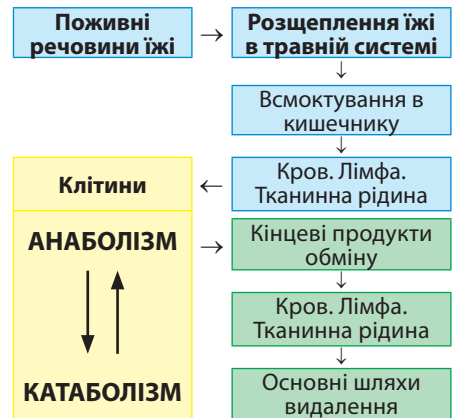
1. Розгляньте загальну схему обміну поживних речовин в організмі людини. Назвіть три етапи обміну речовин.
2. За допомогою схеми та запропонованих запитань складіть окремі схеми обміну вуглеводів, ліпідів та білків в організмі людини.

#### Запитання для конкретизації змісту схеми

1. Які поживні речовини є у складі їжі?
2. Які травні ферменти розщеплюють складні поживні речовини їжі?
3. У якому вигляді всмоктуються поживні речовини?
4. Які види транспортування забезпечують надходження речовин у клітини?
5. Які процеси обміну забезпечують перетворення поживних речовин?
6. Які кінцеві продукти обміну видаляються з клітин у кров?
7. У якому вигляді транспортуються кінцеві продукти обміну?
8. Які органи беруть участь у видаленні продуктів обміну?

**Підсумок роботи.** У чому полягають єдність та взаємозалежність процесів обміну речовин в організмі людини?

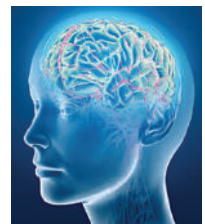
#### Схема. ОБМІН РЕЧОВИН В ОРГАНІЗМІ ЛЮДИНИ



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Філософія. Одиночне й загальне

Маса головного мозку у людини становить близько 2 % маси тіла. Проте потреби в речовинах та енергії надзвичайно великі. Так, потреби в кисні у дорослої людини в умовах спокою становлять 29 – 25 % від загальних потреб, а в дітей до 4 років – до 50 %. Які особливості метаболізму головного мозку в людини? Яка роль головного мозку в загальному обміні речовин організму людини?







## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Які системи органів беруть участь у обміні речовин у людини? 2. Яке значення фізіологічних систем органів у забезпеченні обміну речовин? 3. Назвіть особливості обміну білків. 4. Назвіть особливості обміну жирів та вуглеводів. 5. Що таке всмоктування поживних речовин? 6. Чи залежить метаболізм клітин від всмоктування?
7 – 9	7. Які системи органів забезпечують обмін речовин в організмі людини? 8. Які особливості обміну білків, ліпідів і вуглеводів в організмі людини? 9. Яке значення всмоктування поживних речовин?
10 – 12	10. Чим зумовлені особливості обміну речовин і перетворення енергії у людини?

*Отрута – хімічний компонент середовища проживання, що надходить в кількості, яка не відповідає властивостям організму.  
І. Саноцький*

## § 29. Порушення обміну біоелементів і біонеорганічних речовин, пов'язані з їх нестачею або надлишком

**Основні поняття й ключові терміни: Біоелементози. Питна вода.**

**Пригадайте!** Що таке біоелементи, біонеорганічні речовини, біорганічні речовини?



### Поміркуйте!

В одному з найвідоміших романів А. Дюма «Граф Монте-Крісто» автор вкладає у уста головного героя такі слова: «Перш за все встановимо, що отрут самих по собі не існує: медицина користується найсильнішими отрутами, але, якщо уміло застосовувати, вони перетворюються на рятівні ліки. Проте пам'ятайте: у маленькій дозі – це ліки, у великій дозі – отрута». Чому порушуються процеси обміну речовин і перетворення енергії?



### ЗМІСТ

**Які хвороби пов'язані з порушенням вмісту хімічних елементів в організмі людини?**

Біоелементи надходять у біосистеми з повітря, води, ґрунту, а до живих організмів ще й з їжею. Нестача або надлишок певних елементів у біосистемах може порушити функціонування, тому в процесі еволюції виникли різні механізми регуляції для підтримання постійного й оптимального елементного складу. Але через певні причини (забруднення навколишнього середовища, нестача елементів, «цвітіння» й отруєння води, інфекційні та інвазійні хвороби) стало співвідношення біоелементів у біосистемах змінюється, що спричиняє хвороби із загальною назвою **біоелементози** (більш вживанішою є назва **мікроелементози**).

**Біоелементози (мікроелементози)** – тимчасове або тривале порушення біоелементного складу організму, що пригнічує процеси життєдіяльності. Ці порушення виникають внаслідок надлишку, нестачі чи дисбалансу біоелементів у живому організмі й трапляються в усіх організмів, але найбільш вивченими є біо-

елементози людини. У сучасній медицині стрімко розвивається **біоелементна медицина**, що вивчає склад, вміст, зв'язки і взаємодію біоелементів в організмі людини в нормі й за патологічних станів. Згідно з найпоширенішою сучасною класифікацією розрізняють природні ендогенні, природні екзогенні, техногенні та ятрогенні біоелементози.

**Природні ендогенні біоелементози** можуть бути вродженими (наприклад, залізо- чи цинкодефіцитні стани дитини формуються через нестачу Феруму й Цинку в організмі матері) й спадковими (*хвороба Вільсона – Коновалова* з порушенням обміну Купруму).

**Природні екзогенні біоелементози**, або **ендемичні хвороби**, пов'язані з нестачею чи надлишком певних біоелементів в тій чи іншій географічній місцевості (наприклад, **ендемичний зуб, флюороз, селеноз, молібденоз**).

Серед **техногенних біоелементозів**, пов'язаних з виробничою діяльністю людини, розрізняють професійні, сусідські та трансгресивні хвороби. *Професійні хвороби* виникають у людей, які працюють на шкідливих виробництвах (наприклад, антракоз у шахтарів, силікоз у робітників цементних заводів). У людей, які проживають неподалік від виробництва, можуть виникнути *сусідські хвороби* (*хвороба Мінамату*, хвороба ітай-ітай). В останні роки привертають увагу *трансгресивні хвороби*. Цим терміном позначають біоелементози, що виникають на значній відстані від виробництва в результаті атмосферного чи водного перенесення забрудників, якими є сполуки важких металів, радіонукліди, чужорідні речовини-ксенобіотики тощо. За мірою токсичності елементи можна розмістити в такій послідовності: Hg, Pb, Zn, Cd, Ni, Cu та ін. Прикладами трансгресивних хвороб можуть бути **меркуріалізм** (за надлишку сполук ртуті), сатурнізм (за надлишку сполук Плюмбуму), сидероз (за надлишку сполук Феруму) та ін.

**Ятрогенні біоелементози** пов'язані з інтенсивним або тривалим лікуванням різних хвороб препаратами, що містять мікроелементи (наприклад, **аргіроз**) (іл. 75).

Профілактику біоелементозів проводять в різні способи, серед яких: вживання харчових продуктів, що містять той чи інший біоелемент (наприклад, йодовану сіль, селянський сир, що багатий на Кальцій, родзинки винограду, що містять багато Калію), використання спеціальних засобів особистої гігієни (наприклад, флуоромісні зубні пастки), раціональне збалансоване харчування з використанням рослинних продуктів, вживання біологічно активних добавок до їжі, комплексних препаратів тощо.



Іл. 75. Людина, в якій розвинувся аргіроз унаслідок тривалого вживання препаратів Аргентуму

Отже, надлишок, нестача або дисбаланс біоелементів можуть стати причиною захворювань, що називають біоелементозами (мікроелементозами).

### Які хвороби людини пов'язані з нестачею чи надлишком неорганічних сполук?

На відміну від органічних речовин, що в переважній більшості утворюються в клітинах, неорганічні надходять до організмів із навколишнього середовища. Очевидно, що у цьому випадку має бути баланс між кількістю речовин, що над-

ходять і що видаляються. Порушення цього балансу можуть призводити до захворювань.

*Хвороби, пов'язані з надлишком біонеорганічних речовин.* Через порушення обміну речовин можуть відбуватися порушення живлення тканин, що спричиняє важкі захворювання – **остеохондроз** та **подагру**, за яких спотворюються суглоби кінцівок, втрачається гнучкість хребта, розвиваються напади болю в нирках (іл. 76). У нирках, жовчному міхурі й сечовому міхурі через відкладання солей органічних (сечової та щавлевої) або неорганічних



Іл. 76. Подагра

(карбонатної чи ортофосфатної) кислот розвивається **жовчокам'яна** або **сечокам'яна хвороба**. Надлишок нітратів у організмі людини перетворюється на нітрити, які взаємодіють з гемоглобіном крові, утворюючи метгемоглобін, що не може транспортувати кисень. В організмі порушується тканинне дихання й розвивається хвороба **метгемоглобінемія**.

*Хвороби, пов'язані з нестачею неорганічних речовин.* Прикладом захворювань, пов'язаних з дефіцитом Кальцію, є **остеопороз**, що призводить до підвищення крихкості кісток і високого ризику їх переломів. Цинк є важливим чинником для здорового функціонування чоловічих репродуктивних органів. Цей елемент ще називають «чоловічим металом». Критичний дефіцит Цинку може стати причиною **доброякісної гіперплазії простати** (аденоми простати). Нестача Феруму в організмі може спричинити **залізодефіцитну анемію**, що виявляється зниженням рівня еритроцитів і гемоглобіну в крові. За даними ВООЗ, дефіцит Феруму виявлено в кожного п'ятого жителя Землі.

Отже, як надлишок, так і нестача неорганічних речовин однаково шкідливі для організму людини.

### Яке значення якості питної води для збереження здоров'я людини?

**Питна вода** – це вода, що призначена для щоденного необмеженого й безпечного вживання людиною. Серед основних показників якості питної води виокремлюють: **фізичні** (смак, забарвлення, запах, каламутність), **хімічні** (мінералізація, твердість, рН), **біологічні** (наявність бактерій, вірусів і паразитів). Питання якісної питної води в Україні належить до найгостріших соціальних проблем. Зanedбаний технічний стан водогонів, застарілі технології водоочищення, забрудненість криниць нітратами, відсутність системи водного моніторингу, стічні води, нераціональне водовикористання – це далеко не повний перелік причин такої ситуації.

Невідповідність води санітарним вимогам може стати причиною бактеріальних (черевний тиф, дизентерія, холера), вірусних (гепатит А, поліомієліт), інвазійних (амебна дизентерія), гельмінтозів (аскаридоз, лямбліоз), а також хвороб, пов'язаних з хімічним забрудненням води (метгемоглобінемія, флюорози). У фаховому колі вважається, що підвищена твердість питної води є однією із причин розвитку сечокам'яної хвороби. Підвищений вміст хлоридів у воді може сприяти розвитку хвороб системи кровообігу, новоутворень сечостатевого органу, хлоридів і сульфатів – виникнення новоутворень стравоходу, шлунку. Надлишок Феруму порушує процес кровотворення. Процес хлорування, що й досі є основним методом очищення питної води, веде до появи хлороорганічних токсичних сполук, що мають мутагенний й канцерогенний ефект.

Отже, якісна питна вода має бути чистою за біологічними, фізичними й хімічними показниками.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

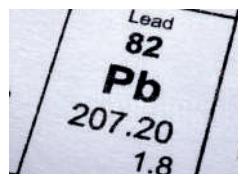
### Самостійна робота з таблицею. Окремі біоелементози людини

Застосуйте знання і визначте причини вказаних порушень. Заповніть у робочому зошиті таблицю та обґрунтуйте зв'язок між кількістю елементів чи речовин, що надходять в організм, та порушеннями метаболізму.

Порушення	Група хвороб	Причина
Ендемічний зоб		
Флюороз		
Хвороба Мінамату		
Аргіроз		
Остеохондроз		
Подагра		
Сечокам'яна хвороба		
Остеопороз		
Залізодефіцитна анемія		

### Біологія + Історія. Падіння Риму й сатурнізм

Упродовж багатьох століть історики вивчають причини занепаду Римської імперії. Зрозуміло, що не має простої й однозначної відповіді на те, що трапилось з могутньою в минулому цивілізацією. Однак є гіпотези, що отруєння сполуками Плюмбуму відіграло далеко не останню роль у занепаді Риму. Що таке сатурнізм? Як відбувалось отруєння сполуками Плюмбуму в стародавніх римлян?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Екологія. Якість води

Характерними ознаками низької якості води є запах хлору, жовтуватий колір, «металевий» присмак, утворення плівок на поверхні, зміна кольору овочів і фруктів під час відварювання. Якими є способи очищення води в домашніх умовах? Оцініть важливість якості питної води та раціонального харчування для збереження здоров'я.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біоелементози? 2. Наведіть приклади хвороб, пов'язаних з надлишком або нестачею біоелементів. 3. Що таке біонеорганічні речовини? 4. Наведіть приклади порушень обміну біонеорганічних речовин. 5. Що таке питна вода? 6. Назвіть основні показники якісної питної води.
7 – 9	7. Які хвороби пов'язані з порушенням вмісту хімічних елементів в організмі людини? 8. Які хвороби людини пов'язані з нестачею або надлишком неорганічних сполук? 9. Яке значення якості питної води для підтримання здоров'я людини?
10 – 12	10. Поясніть роль окремих хімічних елементів, речовин в метаболізмі.

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

Основні поняття й ключові терміни: **РАЦІОНАЛЬНЕ ХАРЧУВАННЯ. Енергетичний баланс людини.**

**Пригадайте!** Що таке живлення?



### **Знайомтеся!**

Один із засновників гігієни харчування, відомий арабський лікар **Авіценна** (Абу Алі Хусейн Ібн Абдаллах Ібн Сіна) (бл. 980–1037) перший розробив правила раціонального харчування. Його рекомендації щодо різноманітності їжі та помірної кількості її споживання важливі й тепер. Наведіть приклади рекомендацій раціонального харчування.



### **ЗМІСТ**

**Чому раціональне харчування є основою нормального обміну речовин?**

**РАЦІОНАЛЬНЕ ХАРЧУВАННЯ** (від грец. *раціо* – розум) – це харчування, за якого до організму з харчовими продуктами надходять усі поживні речовини, вітаміни та мінеральні солі в кількостях, необхідних для нормальної життєдіяльності. Таким чином, раціональне харчування – це розумне, розраховане забезпечення людини їжею.

Науковці виокремлюють декілька найважливіших принципів раціонального харчування: 1) поживність та калорійність їжі мають відповідати енергетичним витратам організму; 2) для забезпечення пластичних витрат дотримуватись білкового оптимуму, що становить 100 – 110 г білка на добу, а під час фізичної роботи – до 130 – 140 г; 3) максимальна різноманітність їжі для поповнення кількості речовин, що здійснюють регуляторну функцію; 4) дотримання індивідуального режиму харчування, що визначається масою, віком та рівнем рухової активності кожної людини. Рекомендації щодо раціонального харчування ґрунтуються на вимогах щодо харчового раціону й складу харчових продуктів, режиму й умов харчування.

На основі цих принципів й вимог можна сформулювати такі основні рекомендації щодо раціонального харчування.

- Забезпечення *різноманітності й збалансованості харчового раціону* (набір продуктів, необхідних людині на певний період), в якому співвідношення білків, жирів та вуглеводів згідно із сучасними вимогами становить 1,0 : 2,3 : 5,8. Неодмінно вживати овочі та фрукти, що містять *вітаміни*,



**БІЛКИ : ЖИРИ : ВУГЛЕВОДИ =  
= 1,0 : 2,3 : 5,8**

- пектинові речовини* (забезпечують зв'язування та видалення з організму токсинів, сполук важких металів, радіонуклідів), *клітковину* (забезпечує моторну та секреторну функції кишок, є джерелом речовин для мікроорганізмів кишечника, які синтезують вітаміни В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>12</sub>, К).
- Дотримання *сумісності* продуктів і вживання змішаної їжі, яка засвоюється краще.
  - Дотримання *режиму харчування* і приймання їжі в одні й ті самі години, щоб забезпечити нормальну секрецію травних соків. Харчуватися краще 4 рази на день, інтервал між споживанням їжі не має перевищувати 6 год. Перший сніданок – 25 % добового раціону, обід – 35 %, підвечірок – 20 % і вечеря – 20 %. Необхідно їсти перші страви, що збуджують апетит, підвищують секрецію залоз і є важливим джерелом вітамінів, мікроелементів.
  - Важливими *умовами харчування* є гарний настрій під час приймання їжі, повільне й добре її пережовування, розумна кулінарна обробка харчових продуктів, категорична відмова від тютюнокуріння й вживання алкогольних напоїв.

Отже, раціональне харчування сприяє збереженню здоров'я, опірності шкідливим чинникам середовища, високій працездатності та активному довголіттю.

### Як визначається енергетичний баланс організму людини?

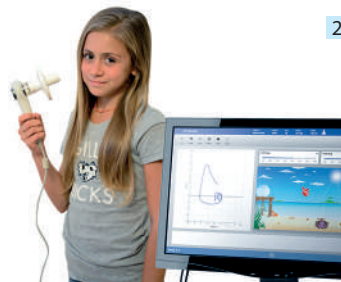
Основним критерієм раціонального харчування є дотримання **енергетичного балансу організму**, тобто *кількість енергії, що надходить в організм, має дорівнювати кількості енергії, що витрачається в процесі життєдіяльності*.

**Енергетичний баланс людини** – це співвідношення між кількістю енергії, що надходить в організм, і кількістю енергії, що виділяється ним. Якщо цей баланс буде позитивним, маса тіла збільшуватиметься, якщо негативним – зменшуватиметься. Харчування людини буде раціональним за умови врахування всіх енергетичних витрат людини за певний проміжок часу. Через те виникає необхідність визначення енергетичної цінності харчових продуктів і вимірювання енергетичних витрат організму за різних навантажень.

*Харчова цінність (поживність)* їжі характеризується хімічним складом продукту з урахуванням його споживання в загальноприйнятій кількості. Усі речовини, що входять до складу харчових продуктів та їжі, поділяють на 2 групи: поживні (білки, жири, вуглеводи) й додаткові (вітаміни, органічні кислоти, мінеральні солі, харчові добавки). *Енергетична цінність (калорійність)* характеризує ту частку енергії, що вивільняється з поживних речовин їжі в процесі окиснення і використовується для забезпечення фізіологічних функцій організму. В результаті окиснення 1 г жиру організм отримує 39,2 кДж



1



2

Іл. 77. Прямая (1) й непряма (2) калориметрія

(9 ккал); 1 г білка – 17,6 кДж (4 ккал), 1 г вуглеводів – 17,6 кДж (4 ккал). Енергетична цінність продукту вимірюється в кілокалоріях (ккал) або кілоджоулях (кДж) у розрахунку на 100 г продукту.

Енергетичні витрати організму вимірюють двома основними методами: прямою і непрямю калориметрією (іл. 77). **Пряма калориметрія** – метод безпосереднього вимірювання кількості теплоти, виділеної організмом за певний час. Для цього використовують калориметри – герметичні камери з подвійними стінками, між якими циркулює вода. **Непряма калориметрія** – метод визначення кількості виділеного теплоти за кількістю спожитого кисню та виділеного вуглекислого газу.

Отже, визначення метаболічних потреб й організація раціонального харчування відбуваються на основі енергетичного балансу.

## Які наслідки нестачі чи надлишку поживних речовин в організмі людини?

*Недостатнє вживання білків* призводить до порушення працездатності, пригнічення захисних сил організму, підвищеної сприйнятливості до інфекцій і в крайніх випадках – до *дистрофії* і «голодних набряків». За *надмірного вживання білків* посилюються процеси гниття в товстій кишці, що спричиняє розлади травлення. Крім того, надлишок білків сприяє розвитку *подагри* в осіб, які мають схильність до цього захворювання.

*За недостатнього вживання вуглеводів* глюкоза може утворюватися із глікогену. Першою ознакою пониження вмісту цукру в крові є сильне відчуття голоду і зниження фізичної й розумової працездатності. Якщо вміст цукру в крові знижується настільки, що перестає задовольняти потреби в ньому головного мозку, то настає втрата свідомості й судоми (*гіпоглікемічний шок*). За *надлишкового вживання вуглеводів* вони перетворюються на жири і в такому вигляді відкладаються про запас. Надмірне вживання вуглеводів може призвести до розладів травлення через посилення процесів бродіння в товстому кишечнику, а за тривалого споживання великої кількості – до *цукрового діабету*.

*Зі зниженням вживання жирів* зменшується надходження жиророзчинних вітамінів, що може спричинити *гіповітамінози* за жиророзчинними вітамінами А, D, E і К. Цими порушеннями є куряча сліпота, рахіт, безплідність, порушення зсідання крові тощо. Крім того, може спостерігатися нестача незамінних жирних кислот, що зумовлює появу шкірних захворювань, порушень обміну речовин, пошкодження мітохондрій та ін. За надмірного вживання насичених жирних кислот може підвищуватися вміст холестеролу, що призводить до утворення жовчних каменів, атеросклерозу. *З підвищенням у раціоні вмісту жирів* збільшується відкладання жиру в організмі.

Отже, як нестача, так і надлишок поживних речовин призводять до порушень обміну речовин і розвитку захворювань, тому харчування має бути повноцінним і достатнім.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Дослідницька робота

Придбайте в магазині харчовий продукт з маркуванням і дослідіть його харчові якості за допомогою етикетки. Заповніть таблицю.

Таблиця. ХАРАКТЕРИСТИКА ХАРЧОВОГО ПРОДУКТУ

Ознака	Характеристика
Назва харчового продукту	
Група продуктів (за походженням)	
Склад: а) поживні речовини; б) додаткові речовини; в) харчові добавки	
Функції харчового продукту	
Харчова цінність (поживність)	
Енергетична цінність (калорійність)	
Країна-виробник	

### Біологія + Наука. Метаболом людини

Все популярнішими стають у науці дослідження метаболому людини, тобто всієї сукупності відносно невеликих молекул-метаболітів, що функціонують у клітинах організму. У 2004 р. в Канаді стартував міжнародний проект «Метаболом людини» (*Human Metabolome Project*). На сьогодні науковці вже охарактеризували 2500 метаболітів, 1200 лікарських препаратів і 3500 харчових компонентів, що їх знайдено в організмі людини. Яке значення цих досліджень для здоров'я людини?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Дієтологія. Дієта DASH

Англійська абревіатура *DASH* (розшифровується як *Dietary Approaches to Stop Hypertension*) означає «Харчові підходи для протидії гіпертензії». Доведено, що ця вегетаріанська дієта ефективно знижує масу, рівень холестерину, а також зменшує ризик декількох типів раку, серцево-судинних захворювань, інсульту, серцевої недостатності, ішемічної хвороби серця, утворення ниркових каменів, діабету. Застосуйте знання рекомендацій щодо раціонального харчування та оцініть переваги й недоліки вегетаріанської дієти.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке раціональне харчування? 2. Назвіть основні принципи раціонального харчування. 3. Що таке енергетичний баланс людини? 4. Назвіть основні методи вимірювання енергетичних витрат людини. 5. Наведіть приклади хвороб, причиною яких є надлишок поживних речовин. 6. Наведіть приклади хвороб, причиною яких є нестача поживних речовин.
7 – 9	7. Чому раціональне харчування є основою нормального обміну речовин? 8. Як визначається енергетичний баланс організму людини? 9. Які наслідки нестачі чи надлишку поживних речовин в організмі людини?
10 – 12	10. Оцініть значення раціонального харчування як основу нормального обміну речовин.



## § 31. Негативний вплив на обмін речовин чужорідних сполук та їх знешкодження в організмі людини

Основні поняття й ключові терміни: **Ксенобіотики. Психоактивні речовини. Біотрансформація.**

**Пригадайте!** Що таке обмін речовин?



### Знайомтеся!

Мабуть, всі ви чули термін «органічні продукти». Він асоціюється з чимось безпечним та екологічним. Принаймні, безпечнішим та екологічнішим, ніж те, що ми щодня вживаємо в їжу. І це дійсно так, адже **органічні продукти** (біопродукти, *organic food* англійською) – це продукти, виготовлення яких передбачає мінімальне використання пестицидів, синтетичних мінеральних добрив, регуляторів росту, штучних харчових добавок. Це продукти без ксенобіотиків (від грец. *ксенос* – чужий, *біос* – життя).



### ЗМІСТ

**У чому полягає негативний вплив ксенобіотиків на організм людини?**

Крім поживних речовин в організм людини з харчовими продуктами, повітрям, питною водою або крізь шкіру можуть потрапити й чужорідні хімічні речовини, що їх називають ксенобіотиками. Ці речовини не використовуються в організмі ні як пластичний, ні як енергетичний матеріал. До ксенобіотиків належать діоксини, ліки, наркотичні речовини, пестициди, мінеральні добрива, мийні засоби, радіонукліди, синтетичні барвники та інші. Найнебезпечнішими у цій групі є діоксини, пестициди, сполуки важких металів, нітрати.

**Діоксини** – група хлоровмісних вуглеводнів із потужною токсичною дією на організм. Найнебезпечнішими джерелами діоксинів є підприємства з хлоровмісними технологічними процесами (хімічні, целюлозно-паперові, металургійні), сміттєспалювальні заводи та звалища хімічних відходів. Спалювання будь-яких хлорованих вуглеводнів (гуми, поролону, лінолеуму, поліетилену, пластику) супроводжується викидом цих сполук в атмосферу. Діоксини добре розчиняються в жирах і тому в організм надходять головним чином із м'ясом, рибою та молоком.

**Пестициди** – хімікати, що використовуються для боротьби зі шкідниками та для захисту рослин. Особливо небезпечними є хлороорганічні пестициди (гексахлоран, поліхлоропінен), фосфороорганічні інсектициди (дихлофос, карбофос, хлорофос), ртутьорганічні речовини (гранозан). Усі без винятку пестициди за ретельного вивчення виявляли або мутагенну, або іншу негативну дію на живу природу і людину. Близько 90 % усіх фунгіцидів, 60 % гербіцидів і 30 % інсектицидів є канцерогенними сполуками.

У зв'язку з антропогенним впливом значно зріс рівень забруднення довкілля **сполуками важких металів** (Cu, Ni, Cd, Zn, Pb, Hg). Висока потенційна небезпе-

ка забруднення ними значною мірою пов'язана з їх здатністю до накопичення. Сполуки важких металів виявляють токсичну дію на білки, порушуючи цим відповідні функції організму.

Особливої уваги у зв'язку з надлишковим вмістом у живій речовині потребують **нітрати**. Це термічно нестійкі, добре розчинні у воді сполуки, які можуть накопичуватись в коренеплодах і плодах рослин. Самі нітрати не є отруйними, але в організмі людини вони перетворюються на нітрити, які взаємодіють з гемоглобіном крові. В організмі порушується тканинне дихання, внаслідок чого розвивається хвороба метгемоглобінемія. Крім того, дія нітритів є небезпечною для організму через утворення канцерогенів – нітрозозамінів.

Отже, **ксенобіотики** – чужорідні речовини, що не синтезуються в організмі людини, але потрапляючи всередину або на покриви тіла, можуть спричиняти алергічні реакції, мутації, хвороби, послаблювати імунітет, порушувати обмін речовин тощо.

### Який негативний вплив психоактивних сполук на обмін речовин в організмі людини?

**Психоактивні речовини** – речовини, що спричиняють звикання та залежність за умов систематичного їх вживання, внаслідок чого змінюється поведінка людини. До цієї групи речовин належать алкоголь, нікотиновмісні, опіюїди, кокаїн, снотворні, барбітурати та ін.

Всі психоактивні речовини впливають на роботу головного мозку людини: прискорюють передачу сенсорних сигналів або перешкоджають нервовим центрам виконувати свої функції. В основі ефектів, зумовлених дією психотропних речовин, – їх вплив на нейромедіатори (речовини, що передають сигнали від одного нейрона до іншого). Найпоширенішими речовинами цієї групи є етанол, нікотиновмісні (іл. 78) й наркотичні речовини.

**Етанол** (етилловий спирт) у клітинах постійно утворюється на етапах обміну вуглеводів. У нормі у крові людини завжди міститься близько 0,001–0,015 г/л спирту. Невелика кількість етанолу не є небезпечною, оскільки швидко знешкоджується ферментами печінки. Вплив алкоголю на процеси обміну в організмі, на структуру клітин складається з дії двох речовин – етилового спирту та похідного ацетальдегіду, що спричиняє різноманітні розлади внутрішньоклітинного обміну. Найважливішими з них є ушкодження мембран, порушення окисно-відновних реакцій, нестача поживних речовин, зниження швидкості синтезу білків, зміни в обміні нейромедіаторів, порушення механізмів регуляції функцій організму. Збільшення кількості етанолу в організмі призводить до виникнення метаболічної залежності від нього.



Іл. 78. Тютюн справжній (*Nicotiana tabacum*) – рослина родини Пасльонові

У тютюновому димі шкідливих сполук багато (чадний газ, бензпірен, формальдегід, ацетальдегід, бензен тощо), але найнебезпечнішим є **нікотин**. Це алкалоїд, що в організмі виявляє нейротоксичну отруйну дію. Йдеться про екзогенний нікотин. У самому організмі міститься власний природний ендогенний нікотин, що синтезується клітинами печінки в невеликих кількостях і входить до

складу багатьох ферментів, що беруть участь в обміні речовин. На відміну від тютюнового нікотину ця речовина неутруйна. Що ж відбувається, якщо нікотин потрапляє в організм під час тютюнокуріння? Організм людини перестає виробляти свій нікотин і стає залежним від тютюнового.

**Наркотичні речовини** – чужорідні щодо обміну речовин сполуки, що спричиняють залежність унаслідок заміщення однієї з речовин природного метаболізму. Як засвідчили дослідження, головний мозок сам виробляє речовини, які чинять дію на певні нервові центри мозку, що викликає у людини почуття задоволення. Усі поведінкові акти, які мають біологічну та соціальну зумовленість, супроводжуються позитивними емоціями. Організм ніби сам себе стимулює на правильну поведінку. Фізіологічний механізм полягає в тому, що під час задоволення потреб підвищується синтез ендорфінів (енкефалінів), що викликають позитивні емоції. При вживанні наркотиків формується залежність, і наркотичні речовини сприймаються організмом як ендорфіни й енкефаліни.

Отже, **психоактивні речовини** мають виражений нейротоксичний і психоруйнівний ефект, подібність до внутрішніх чинників обміну речовин і, замінюючи їх у процесах життєдіяльності, спричиняють залежність.

### Як відбувається знешкодження токсичних сполук в організмі людини?

**Біотрансформація** – знешкодження токсичних речовин шляхом перетворення їх у молекулярну форму із зміненими біологічними властивостями і виведення з організму. Багато шкідливих речовин, потрапивши в організм людини, зазнають знешкодження і виділяються у вигляді метаболітів. В організмі також знешкоджуються кінцеві продукти метаболізму, що мають потенційно токсичні властивості (жовчні пігменти, амоніак), продукти гниття білків у товстій кишці (феноли, індоли, скатоли).

В організмі людини знешкодження небезпечних сполук здійснює печінка за участі спеціальних ферментів і мембранних рецепторів, які регулюють їхню активність. Знешкоджені сполуки видаляються з організму із сечею або жовчю. Біотрансформація ксенобіотиків відбувається у дві фази:

1-ша фаза: **модифікація** – це окисно-відновні та гідролітичні реакції, що каталізуються ферментами ЕПС (цитохром Р450, епоксидгідролаза). Молекула ксенобіотика збагачується функціональними групами (–ОН, –СООН, –SH, –NH<sub>2</sub>), що робить її розчинною у воді.

2-га фаза: **кон'югація** – реакції синтезу за участі ферментів-трансфераз. До проміжних продуктів метаболізму приєднуються ендогенні молекули (глюкуронова кислота, сульфатна кислота, глутамін), у результаті чого утворюються полярні сполуки для видалення з організму.

Упродовж багатьох років перетворення ксенобіотиків в організмі розглядається тільки як позитивне явище, спрямоване на зменшення токсичності, а випадки збільшення токсичності вважалися винятком. Однак із часом було встановлено, що підвищення токсичності є швидше правилом, аніж винятком. Через те термін **біотрансформація** є точнішим, ніж **детоксикація**.

Отже, живим організмам властиві механізми знешкодження та видалення токсичних речовин, що мають екзогенне або ендогенне походження.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

Заповніть у робочому зошиті таблицю та зробить висновок про участь систем органів у захисті організму людини від ксенобіотиків.

Система	Органи	Значення
Травна		
Дихальна		
Сечовидільна		
Шкіра		
Імунна		

### Біологія + Медицина. Вітамін PP

*Нікотинова кислота* (ніацин, вітамін B<sub>3</sub>, вітамін PP, антипелагрічний вітамін) – водорозчинний вітамін, який має настільки корисні властивості, що офіційна медицина прирівнює його до ліків. Яке значення вітаміну PP в обміні речовин? Назвіть харчові продукти, що містять вітамін PP.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Дієтологія. Житній хліб

Хліб у харчовому раціоні людини посідає особливе місце. Дієтологи радять дорослій людині упродовж дня з'їдати близько 150–200 г житнього й 150 – 200 г пшеничного хліба. Визначте переваги і недоліки вживання житнього хліба. Оцініть значення житнього хліба у знешкодженні токсичних речовин.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке ксенобіотики? 2. Наведіть приклади найшкідливіших ксенобіотиків. 3. Що таке психоактивні речовини? 4. Наведіть приклади психоактивних речовин. 5. Що таке біотрансформація? 6. Назвіть дві основні фази біотрансформації ксенобіотиків в організмі людини.
7 – 9	7. У чому полягає негативний вплив ксенобіотиків на організм людини? 8. У чому полягає негативний вплив на обмін речовин психоактивних речовин? 9. Як відбувається знешкодження ксенобіотиків в організмі людини?
10 – 12	10. Обґрунтуйте значення різних фізіологічних систем організму людини для захисту від ксенобіотиків.

## § 32. Нейрогуморальна регуляція процесів метаболізму в організмі людини

**Основні поняття й ключові терміни:** Регуляція обміну речовин та енергії.

**Пригадайте!** Що таке обмін речовин і перетворення енергії?



### Поміркуйте!

Хто по-справжньому щирий з нами, відданий нам і любить нас, хто приносить радість і дарує тепло, рятує від самотності і заліковує душевні рани? Ну, звичайно ж, наші тварини, наші вдячні й вірні друзі, у яких всім нам варто багато чого повчитися. Ось лише декілька наукових фактів про позитивний вплив домашніх тварин на людину: знижують вірогідність проявів алергії, підвищують самооцінку, зміцнюють імунітет, позбавляють від негативних емоцій тощо. А ще які чинники впливають на організм людини та її обмін речовин?



### ЗМІСТ

**Які чинники впливають на процеси метаболізму в організмі людини?**

Чинники регуляції метаболізму визначають інтенсивність процесів надходження, перетворення й видалення речовин та енергії. Їх поділяють на статичні й динамічні, зовнішні й внутрішні.

Чинники регуляції метаболізму, що не піддаються корекції з боку людини, називаються **статичними**. Це *спадковість, стать, тип статури тіла, вік, нервові й ендокринні впливи регуляторних систем*. Так, з віком інтенсивність обміну знижується на 7 – 10 % кожні десять років, досягаючи в старості свого мінімуму, а простуда чи травми активізують обмінні процеси. Обмін речовин у чоловіків у середньому на 10 – 20 % вищий, ніж у жінок, оскільки у них відсоткова частка м'язів є більшою відносно маси тіла. Високий рівень обміну речовин у дитячому віці пояснюється високою активністю процесів, посиленням ростом тканин. У похилому віці поряд із зниженням вмісту води, кількості й активності клітин знижується й м'язова активність.

В іншу групу об'єднують чинники, вплив яких людина може змінювати. Їх назвали **динамічними**. Це *раціон і режим харчування, маса тіла, психоемоційний стан, сон, фізична активність, хронічні хвороби*. Важливим є вплив на обмін речовин загальної кількості й складу їжі. Разом із генетичними чинниками та способом життя саме їжа визначає стан здоров'я кожної конкретної людини. Недарма існують приказки «Ми є те, що ми їмо», «Свою хворобу шукай на дні своєї таріл-

ЧИННИКИ РЕГУЛЯЦІЇ МЕТАБОЛІЗМУ
<b>Статичні чинники</b> Спадковість, стать, тип статури тіла, вік, впливи регуляторних систем
<b>Динамічні чинники</b> Раціон й режим харчування, маса тіла, емоційний стан, сон, фізична активність, хронічні хвороби

ки». Приймання їжі підвищує інтенсивність обміну речовин, що триває протягом 5 – 6 год. Такий вплив їжі на рівень обміну речовин та енергії називається **специфічною динамічною дією їжі**. Механізм такої дії їжі більшість дослідників пояснюють впливом на клітини продуктів розпаду й проміжного обміну, активізацією перистальтики кишечника і посиленням роботи травних залоз.

На метаболізм впливають **зовнішні й внутрішні чинники**. Так, тривалий вплив на організм людини низької температури підвищує обмін речовин (зі зниженням температури повітря на 10 °С рівень обміну підвищується на 2,5 %). Добові та сезонні зміни в природі визначають спадкову ритмічність процесів обміну речовин. Так, підвищення інтенсивності обміну речовин спостерігається навесні та раннім літом, а зниження – пізньої осені й узимку. Під час відпочинку обмін речовин знижується на 13 % (за рахунок розслаблення скелетних м'язів). На рівень обміну впливають й такі внутрішні чинники, як гормони та участь енергетичних систем у забезпеченні клітин енергією. Це фосфатна система АТФ (забезпечення енергією на час, менший за 30 с), гліколізна (анаеробна) (від 30 с до 3 хв) та аеробна (на час, більший за 3 хв) системи.

Отже, на метаболізм впливають статичні й динамічні, зовнішні та внутрішні чинники; їхня взаємодія визначає особливості обміну речовин у кожної людини.

### Як регулюється метаболізм в організмі людини?

**Регуляція обміну речовин та енергії** – сукупність рівнево організованих біохімічних й фізіологічних процесів, що здійснюють пристосування обміну речовин й енергії до потреб організму. На молекулярному рівні організації організму людини відбувається **генетична регуляція**, що визначає синтез ферментів. Регуляція на рівні генів веде до збільшення чи зменшення концентрації тих чи інших ферментів шляхом впливу на активність ферментних генів регуляторних білків-індукторів чи репресорів. Цей тип регуляції обміну речовин вирізняється високою специфічністю, але сам процес відбувається повільно (зазвичай годинами).

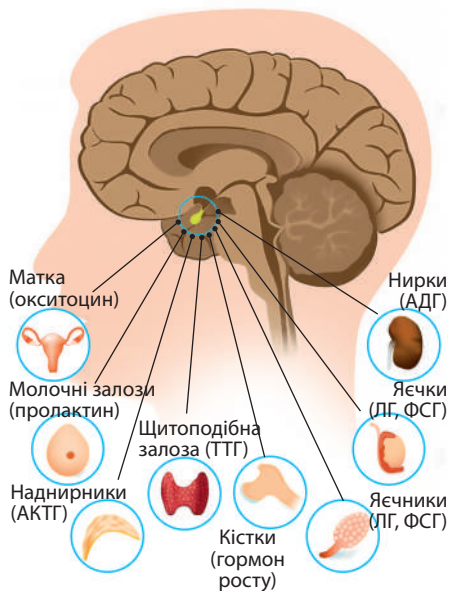
**Клітинна регуляція** ґрунтується на особливостях взаємодії ферменту і субстрату. За наявності субстрату клітина синтезує фермент, за відсутності – припиняє синтез. Окрім того, активність ферментів у клітинах залежить від умов, в яких діє фермент, а саме від рН середовища, температури, концентрації як ферменту, так і субстрату. Наприклад, накопичення кислих продуктів реакції може сповільнити швидкість біокаталітичної реакції.

**Гуморальна регуляція** обміну речовин на рівні організму полягає в дії гормонів на активність ферменту або на діяльність тканин та органів. Наприклад, тиреотропний гормон гіпофіза впливає на щитоподібну залозу, яка може секретувати більше чи менше тироксину, що веде до прискорення чи сповільнення обміну речовин. Гуморальна регуляція обміну речовин має повільну регулювальну дію, і її прояви підпорядковані нервовій системі. Регулювальна дія гормонів є різнобічною і може бути реалізована через активацію й пригнічення ферментів, біосинтезу білків, зміну проникності клітинних мембран тощо. Гормони беруть важливу участь як у *терміновій регуляції*, так і у *тривалій регуляції* (адаптації) обміну речовин до умов середовища, кількості та якості вживаної їжі, регуляції надходження і засвоєння кількості рідини та електролітів в організмі. Після

реалізації своїх функцій відбувається руйнування гормонів. Невелика частина залишків гормональних продуктів може знову ресинтезуватись у гормони, але більша їх частина піддається незворотному катаболізму. Видалення гормонів та їхніх метаболітів здійснюється переважно із сечею й жовчю.

Найвищим рівнем регуляції обміну речовин в організмі людини є **нервова регуляція**. Контроль за обміном речовин й перетворенням енергії належить до інтегративних процесів, що регулюються гіпоталамусом. Крім центрів голоду, ситості й спраги, центрів, що регулюють обмін білків, вуглеводів, ліпідів, водно-солевий обмін, у гіпоталамусі розміщений і центр терморегуляції. Вони поєднані в один інтегративний центр, який регулює усі ці процеси. Найчастіше нервова система свою регуляторну функцію здійснює через ендокринну систему. Яскравим прикладом цього зв'язку є вплив емоцій на обмін речовин. Нервова регуляція обміну речовин перебуває також під контролем кори великого мозку, тому людина може свідомо й швидко впливати на процеси харчування й чинники, від яких залежить обмін речовин. Така регулювальна дія кори головного мозку називається *кортикальною регуляцією*.

Нервова регуляція обміну речовин здійснюється трьома шляхами: 1) виділенням нейромедіаторів – біологічно активних речовини, за допомогою яких передаються імпульси з нейронів через синапси (наприклад, серотонін, адреналін, гістамін, ацетилхолін); 2) зміною концентрації йонів, що активують або сповільнюють дію ферментів; 3) за допомогою впливів на ендокринні залози (наприклад, дія гіпоталамаса через гіпофіз на ендокринні залози) (іл. 79).



Іл. 79. Гіпоталамо-гіпофізарна система регуляції

Умовні позначки гормонів гіпофіза:

- АКТГ – адренокортикотропний гормон
- ТТГ – тиреотропний гормон
- АДГ – антидіуретичний гормон
- ЛГ – лютеїнізуючий гормон
- ФСГ – фолікостимулюючий гормон

Отже, регуляція обміну речовин в організмі людини здійснюється на різних рівнях його організації.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

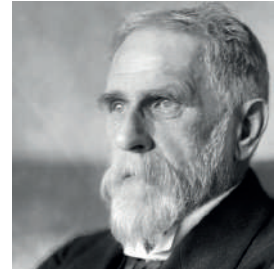
#### Регуляція обміну речовин в організмі людини

Організм людини має такі рівні організації, як молекулярний, клітинний, рівень органів, системний, організмовий. Наведіть приклади фізичних, хімічних чи фізіологічних процесів обміну речовин, що відбуваються на кожному із цих рівнів організації організму людини. Заповніть у робочому зошиті таблицю та сформулюйте висновок.

Рівень організації	Приклади процесів обміну речовин
Молекулярний	
Клітинний	
Рівень органів	
Системний	
Організмівий	

### **Біологія + Фізика. Закон поверхні тіла**

**Макс Рубнер** (1854–1932) – німецький фізіолог, сформулював закон поверхні тіла, який відображає залежність між інтенсивністю обміну речовин та площею тіла. В основі цього закону лежить суто фізичне явище видалення внутрішньої теплової енергії будь-якого тіла через його поверхню. В чому сутність закону поверхні тіла? Які фізичні й хімічні процеси забезпечують регуляцію обміну речовин в організмі людини?



### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія + Спорт. Обмін речовин і біг**

Як показали дослідження, інтенсивність обміну речовин у спринтерів у забігах на 100 м становить 22 кВт, а в марафонців (на 42 км 195 м) – 1,6 кВт, що майже в 13 разів менше (іл. 80). Визначте й поясніть: 1) який чинник впливає на обмін речовин у цьому прикладі; 2) чому чим довшою є дистанція бігу, тим нижчим є рівень метаболізму в бігуна; 3) чому тіло спринтера мускулисте, а марафонця – навпаки. Оцініть значення знань про регуляцію процесів метаболізму в організмі людини у спорті.



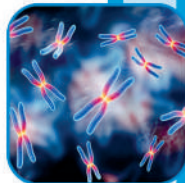
Іл. 80. Марафонський бігун і спринтер



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке чинники обміну речовин? 2. Назвіть групи чинників, що впливають на обмін речовин. 3. Наведіть приклади зовнішніх й внутрішніх чинників обміну речовин. 4. Що таке регуляція обміну речовин? 5. Назвіть основні типи регуляції обміну речовин та енергії. 6. Наведіть приклади нервової й гуморальної регуляції обміну речовин.
7 – 9	7. Які чинники впливають на обмін речовин й перетворення енергії в організмі людини? 8. Як регулюється обмін речовин в організмі людини? 9. Як відбувається нервова й гуморальна регуляція обміну речовин?
10 – 12	10. Які фізичні, хімічні та фізіологічні процеси становлять основу обміну речовин, енергії та інформації?





## Тема 3. СПАДКОВІСТЬ І МІНЛИВІСТЬ

*Успадковуються не самі ознаки, а спадкові чинники,  
що визначають розвиток цих ознак.  
Г. Мендель*

### § 33. Основні поняття генетики

**Основні поняття й ключові терміни: ГЕНЕТИКА.**

**Пригадайте!** Що таке генетика?



#### Новини науки

Аналіз фрагментів ДНК давніх кішок, чиї залишки знаходили в єгипетських пірамідах, підтвердив, що сучасні породи домашніх кішок походять від одного з підвидів кішки дикої (*Felis silvestris*), а саме від дикої лівійської кішки (*Felis silvestris lybica*), ареал якої охоплює північну Африку й південно-західну Азію. Одомашнення почалося ще в неоліті. У такий спосіб **палеогенетика** допомагає зрозуміти еволюцію органічного світу. А яке значення інших розділів сучасної генетики?



#### ЗМІСТ

#### **Які основні розділи сучасної генетики?**

**ГЕНЕТИКА** (від грец. *geneticos* – походження) – наука про закономірності спадковості та мінливості організмів. Датою народження генетики вважається 1900 р., коли було перевідкрито закони Г. Менделя, сформульовані ним ще у 1865 р. Термін «генетика» запропонував один із її засновників англійський біолог **Вільям Бетсон** (1861–1926) у 1906 р.

Велике значення для сільського господарства, медицини, ветеринарії, спорту, криміналістики, фармацевтики мають такі вже відомі вам розділи, як селекційна, медична, радіаційна, популяційна, молекулярна генетика. Окрім названих розділів виникли й розвиваються *епігенетика, екогенетика, фармакогенетика, психогенетика* та ін.

**Епігенетика** досліджує зміни активності генів, за яких структура ДНК залишається незмінною. Найкращою ілюстрацією значення цього розділу генетики є роль епігенетичних механізмів у процесах індивідуального розвитку, коли з клітин бластули з однаковим генотипом виникають різні спеціалізовані клітини. Ще одним прикладом, що показує значення епігенетики, є дослідження, що доводять залежність здоров'я людини від тих умов, за яких відбувалося його раннє формування.



Сучасна людина живе у середовищі, що швидко змінюється. У ньому виникає багато нових для генотипів людей чинників. Реакції генотипів на зміни умов середовища існування досліджує **екогенетика**. Окремим її розділом є **фармакогенетика**, що вивчає значення спадковості у формуванні індивідуальних реакцій організму на лікарські препарати, що можуть проявлятися у вигляді підвищеної чутливості, толерантності щодо впливу або незвичної, часом парадоксальної відповіді.

**Психогенетика**, або генетика поведінки (англ. *behavioural genetics*), вивчає роль генетичних чинників у визначенні особливостей поведінки. Нині вже є загальновідомим фактом, що зовнішність, риси характеру та особливості поведінки людини багато в чому визначаються спадковими чинниками. Однак нові наукові дослідження засвідчують, що роль генів у формуванні поведінки організмів є ще більш значущою, ніж прийнято вважати. Так, вчені виявили докази існування генів, що визначають сором'язливість, схильність до щастя, здатність переносити стрес, тягу до подорожей чи лінощів тощо.

З досліджень спадкових основ груп крові тварин і людини, чутливості різних видів організмів та окремих особин до дії токсинів і сприйнятливості до інфекцій розпочала свій розвиток **імуногенетика**. Нині її досягнення застосовують у трансплантології, біотехнології, селекції та ін.

Отже, досягнення сучасної генетики є основою багатьох досліджень й досягнень у таких галузях діяльності людини, як медицина, екологія, психологія, біотехнологія, промисловість тощо.

### Чому генетика є наукою?

Генетика є важливою наукою сучасності, оскільки має предмет та об'єкти досліджень, власні методи, поняття й символи, теоретичну основу у вигляді законів й теорій та практичне значення. Предметом генетики є фундаментальні властивості живого – спадковість і мінливість.

**Спадковість** – здатність живих організмів передавати свої ознаки й особливості індивідуального розвитку нащадкам. Розрізняють два види спадковості: ядерну й цитоплазматичну. Матеріальними носіями спадковості є хромосоми, до складу яких входить ДНК. Передачу спадкової інформації наступному поколінню здійснюють статеві клітини за статевого розмноження і соматичні клітини у випадку нестатевого відтворення. При цьому передаються не ознаки й властивості майбутнього організму, а спадкові задатки, що їх називають генами.

**Ген** – ділянка молекули нуклеїнової кислоти, що кодує інформацію про білок або РНК та визначає ознаки організмів. Кожний ген розташований у певній хромосомі, де займає визначене місце – локус. Кожна соматична клітина містить диплоїдний набір гомологічних хромосом, що мають у своїх локусах різні форми одного гена. **Алелі** – стани гена, що визначають прояви ознаки й розташовані в однакових ділянках гомологічних хромосом. Алелі одного гена визначають різні прояви ознаки (наприклад, жовте й зелене забарвлення гороху). Одна з

#### Основні поняття генетики

1. Спадковість
2. Мінливість
3. Ген
4. Фен
5. Генотип
6. Фенотип
7. Домінантний алель
8. Рецесивний алель
9. Гомозигота
10. Гетерозигота

гомологічних хромосом несе алель від материнського організму, а друга – від батьківського. Алельні гени можуть бути **домінантними** (позначають великими літерами латинської абетки: A, B, C, ...) і **рецесивними** (позначають малими літерами латинської абетки: a, b, c, ...). В обох гомологічних хромосомах можуть перебувати однакові або різні алельні гени. **Гомозигота** – це *ди- або поліплоїдна клітина (особина), гомологічні хромосоми якої несуть однакові алелі певного гена*. Гомозиготна особина в потомстві не дає розщеплення, утворює один сорт гамет; позначають AA або aa. **Гетерозигота** – це *ди- або поліплоїдна клітина (особина), гомологічні хромосоми якої несуть різні алелі певного гена*. Гетерозиготна особина в потомстві дає розщеплення, утворює різні сорти гамет; позначають Aa.

Алельні гени в гомозиготному або гетерозиготному стані утворюють генотип. **Генотип** – *сукупність усіх генів організму, що одержані від батьків*. Це спадкова програма організму, яка є цілісною й взаємодіючою системою генів. Генотип у взаємодії із середовищем визначає **фенотип** – *сукупність ознак і властивостей організму, які є результатом взаємодії генотипу з умовами зовнішнього середовища*. Фенотип особини об'єднує не лише зовнішні морфологічні ознаки, а й біохімічні, цитологічні, анатомічні та інші ознаки, що завдяки мінливості можуть мати найрізноманітніші прояви.

**Мінливість** – *здатність живих організмів набувати нових ознак і їхніх станів у процесі індивідуального розвитку*. Забезпечує пристосованість організмів до умов середовища (неспадкова мінливість) та появу ознак, завдяки чому утворюються нові види і відбувається історичний розвиток живого (спадкова мінливість). **Ознака** – *це особливість організму, що існує у своїх проявах*. Наприклад, забарвлення насінин гороху посівного є ознакою, а жовтий й зелений колір насінин – це прояви ознаки забарвлення. Кожна ознака визначається складними процесами на молекулярному рівні організації за участі білків, закодованих певним геном чи генами. Для позначення проявів ознак В. Йогансен ще в 1909 р. ввів поняття фен. **Фен** – окремий варіант певної ознаки, що визначається генотипом й умовами середовища (іл. 81).



Іл. 81. Різноманітність фенів за ознакою забарвлення в кішки домашньої

Отже, генетика вивчає дві протилежні й нерозривно поєднані властивості, характерні для всього живого.

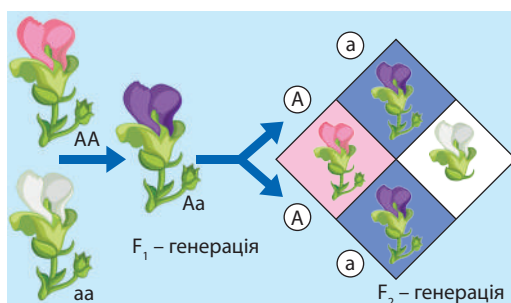


## **ДІЯЛЬНІСТЬ**

### **Самостійна робота із символами**

Визначте основні символи генетики і запишіть у робочі зошити. Поясніть символи, що їх використано на ілюстрації схеми моногібридного схрещування.

- ... – батьківські особини
- ... – схрещування особин
- ... – чоловічі особини або гамети
- ... – жіночі особини або гамети
- ... – нащадки, або гібриди
- ... – гамети
- ... – статеві хромосоми
- ... – домінантні прояви ознаки
- ... – рецесивні прояви ознаки
- ... – гомозиготи домінантні
- ... – гомозиготи рецесивні
- ... – гетерозиготи



### Біологія + Англійська мова

Перекладіть текст і підготуйте повідомлення про Вільгельма Йогансена.

«**Wilhelm Ludvig Johannsen** (1857–1927) – Danish botanist and geneticist whose experiments in plant heredity offered strong support to the mutation theory. Johannsen studied in Copenhagen, Germany, and Finland and was a professor first at the Institute of Agriculture in Denmark and then at the University of Copenhagen. After working initially in plant physiology, he devoted himself entirely to experimental research in heredity, becoming a leading authority in that subject. He found in studies with princess beans that in the succession of individuals arising from a single seed there existed what he termed a “**pure line**”. About 1905 he demonstrated that he could produce large or small plants from beans of corresponding size. He concluded that although the plants differed in external characteristics, or in their “**phenotype**,” they nevertheless carried identical hereditary units or, in other words, preserved a common “**genotype**”; his terms phenotype and genotype are now a part of the language of genetics».



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Література

Перед вами чотири ілюстрації. Знайдіть між ними зв'язок, визначте тему та підготуйте твір-мініатюру в такому жанрі сучасної літератури, як оповідання.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що вивчає генетика? 2. Назвіть основні розділи сучасної генетики. 3. Назвіть галузі діяльності людини, для яких генетика має найбільше значення. 4. Що таке спадковість? 5. Що таке мінливість? 6. Що таке ген і фен?
7 – 9	7. Які основні розділи сучасної генетики? 8. Яке значення генетики в практичній діяльності людини? 9. Чому генетика є наукою?
10 – 12	10. Чому спадковість й мінливість є фундаментальними властивостями живого?

## § 34. Закономірності спадковості. I та II закони Менделя

**Основні поняття й ключові терміни:** Гібридологічний метод. ЗАКОН ОДНОМАНІТНОСТІ ГІБРИДІВ ПЕРШОГО ПОКОЛІННЯ. ЗАКОН РОЗЩЕПЛЕННЯ.

**Пригадайте!** Що таке схрещування?



### Поміркуйте!

**Горох посівний** (*Pisum sativum*) – однорічна трав'яниста рослина родини Бобові, що часто слугує об'єктом наукових досліджень. Горох посівний став найдавнішим модельним організмом у генетиці, його використовують в екології для вивчення можливостей рослин щодо пошуку води, здатності використовувати звуки для росту в напрямку води, у космічній біології для дослідження росту в умовах невагомості та ін. Які особливості гороху посівного як модельного організму?



### ЗМІСТ

**Завдяки чому Г. Мендель досяг успіхів у дослідженні успадкування ознак?**

Свої дослідження з гібридизації рослин **Грегор Йоганн Мендель** (1822–1884) розпочав ще в 1856 р. Основні ж закономірності спадковості було сформульовано ним в 1865 р. і опубліковано в праці «Досліди над рослинними гібридами».

Основою для формулювання законів спадковості стали багаторічні досліді з схрещування **гороху посівного** (*Pisum sativum*), який виявився ідеальним об'єктом досліджень. Порівняно з іншими видами горох має низку переваг: 1) різноманіття сортів, що різняться контрастними (альтернативними) проявами ознак (наприклад, жовте й зелене забарвлення насіння); 2) нескладне вирощування; 3) самозапилення та перехресне запилення, що зумовлюють можливість штучного схрещування; 4) чітке успадкування ознак. Г. Мендель для досліджень виділив у гороху посівного серед різноманіття його ознак й їхніх проявів лише сім головних: 1 – поверхню насіння; 2 – забарвлення насіння; 3 – забарвлення квіток; 4 – розташування квіток на пагоні; 5 – довжину стебла; 6 – форму бобів; 7 – забарвлення бобів (іл. 82).

Другою особливістю досліджень Г. Менделя було те, що він обирав для дослідів організми, які належали до **чистих ліній**, тобто організми, в яких у ряді поколінь не спостерігалось розщеплення ознак під час самозапилення. Іншими словами, в рослин, які виростили з жовтого насіння, дозрівали лише жовті насінини, а в рослин із зелених насінин – лише зелені.



Іл. 82. Ознаки гороху посівного, що їх було виділено Г. Менделем для досліджень спадковості

В юності Г. Менделя дуже цікавила фізика, він вивчав математику й особливо такі її розділи, як теорія ймовірностей й статистика. Все це дало змогу науковцеві правильно організувати наукове дослідження, обов'язковими умовами якого є: 1) скрупульозне планування усіх дослідів; 2) суворе дотримання всіх методик; 3) точна реєстрація експериментів і фіксування отриманих результатів; 4) отримання достатньої для статистичної обробки кількості даних.

Усі ці умови стали основою гібридологічного методу дослідження спадковості, що його започаткував саме Г. Мендель. **Гібридологічний метод** – це схрещування батьківських особин і вивчення нащадків-гібридів з метою визначення особливостей успадкування тих чи інших ознак й властивостей.

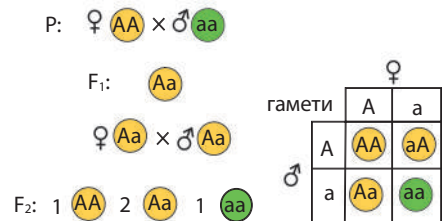
Отже, аспекти організації експериментів, започатковані Г. Менделем, є необхідними умовами проведення будь-якого наукового дослідження.

### Як відбувається успадкування ознак під час моногібридного схрещування особин?

Свої дослідження Г. Мендель розпочав з **моногібридного схрещування**, за якого *батьківські особини різняться проявами однієї ознаки (іл. 83)*. Для дослідів було взято рослини чистих ліній із жовтим й зеленим забарвленням насіння. У першому поколінні нащадків усі горошини завжди були лише жовтого кольору. *Явище переважання в гібридів першого покоління проявів ознаки одного з батьків Мендель назвав **домінуванням ознак** (від лат. *dominatio* – панування), прояв ознаки в гібридів першого покоління – **домінантним**, а той, що не проявився, – **рецесивним** (від лат. *recessus* – відступ)*. Одноманітність першого гібридного покоління та виявлення в гібридів лише домінантного прояву ознаки в сучасній генетиці називається *першим законом Менделя*, або **ЗАКОНОМ ОДНОМАНІТНОСТІ ГІБРИДІВ ПЕРШОГО ПОКОЛІННЯ**:

Під час моногібридного схрещування батьківських особин, що різняться проявами однієї ознаки, в потомстві спостерігаються лише домінантні прояви ознаки, й усі нащадки будуть одноманітними як за генотипом, так і за фенотипом.

При схрещуванні гетерозиготних гібридів першого покоління між собою в другому поколінні з'являються особини як з домінантними, так і з рецесивними станами ознак, тобто виникає **розщеплення** в певних відношеннях. **Розщеплення ознак** – явище появи обох проявів ознаки у гібридів другого покоління ( $F_2$ ), отриманих від схрещування гетерозиготних особин. Так, у дослідах Менделя із 8023 жовтих насінин гороху, отриманих у другому поколінні, було 6022 жовтих і 2001 зелених. Узагальнюючи фактичний матеріал, Мендель дійшов висновку, що у другому поколінні 75 % особин мають домінантний прояв ознаки, а 25 % – рецесивний (розщеплення 3 : 1). Ця закономірність отримала назву *другого закону Менделя*, або **ЗАКОНУ РОЗЩЕПЛЕННЯ**.



Іл. 83. Схема моногібридного схрещування

Під час моногібридного схрещування двох гібридів першого покоління, які є гетерозиготами, в потомстві спостерігаються розщеплення за фенотипом 3 : 1 і за генотипом 1 : 2 : 1.

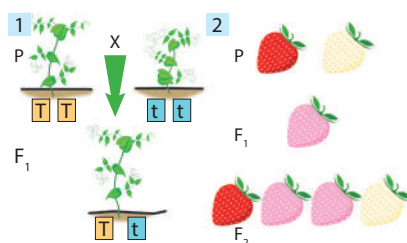
Отже, основними закономірностями, що пояснюють успадкування проявів ознаки, є перший та другий закони Менделя.

### Якими є основні взаємодії алельних генів?

Основними видами взаємодії алельних генів є повне домінування, неповне домінування, кодомінування та множинний алелізм.

**Повне домінування** – це форма взаємодії алельних генів, за якої у гетерозиготного організму домінуючий алель (A) повністю пригнічує дію рецесивного (a). У результаті такого впливу в гетерозигот спостерігається домінуючий прояв ознаки. Прикладом цієї форми взаємодії є успадкування кольору плодів у томата, довжини стебла в гороху та ін.

**Неповне домінування** – це форма взаємодії алельних генів, за якої у гетерозиготного організму (Āā) домінуючий алель (Ā) не повністю пригнічує рецесивний алель (a), внаслідок чого проявляється проміжний стан ознаки. За повного домінування розщеплення за генотипом і фенотипом збігається й становить 1 : 2 : 1. Прикладами ознак, які успадковуються за неповним до-



Іл. 84. Приклади повного (1) і неповного (2) домінування

мінуванням, є: форма волосся людини (кучеряве, хвилясте й пряме), забарвлення пір'я курей (чорне, зозулясте й біле), забарвлення квітів нічної красуні (червоне, рожеве й біле) та ін. (іл. 84).

**Множинний алелізм** – це явище, за якого ознака в популяції визначається не двома, а декількома алелями. Множинні алелі виникають внаслідок мутації одного гена в різних особин. Так, у людини три алельні гени (їх позначають  $i^0$ ,  $I^A$ ,  $I^B$ ) в різних поєднаннях визначають 4 групи крові за системою АВ0. Серії множинних алелей визначають також забарвлення хутра в лисиць, колір шерсті гімалайського кролика. У мухи дрозофіли відома серія алелів за геном забарвлення очей, що складається з 12 варіацій: червона, коралова, вишнева, абрикосова, біла та ін.).

**Кодомінування** – це взаємодія алельних генів, за якої у фенотипі організму проявляються обидва алелі гена. За типом кодомінування в людини успадковується четверта група крові (генотип  $I^A I^B$ ).

Отже, між алельними генами за участі їхніх функціональних продуктів постійно відбуваються різного роду взаємодії.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Практична робота 2 (А)

#### Розв'язування типових генетичних задач. Моногібридне схрещування

**Мета:** закріпити знання I та II законів Менделя; формувати вміння розв'язувати вправи з генетики на моногібридне схрещування з повним домінуванням, неповним домінуванням та явищем множинного алелізму.

### Зразок розв'язування вправи з генетики

**Вправа.** У томатів червоне забарвлення плодів домінує над жовтим. Гомозиготна червоноплідна рослина схрещується з жовтоплідною. Який колір плодів матимуть нащадки?

Дано:	Розв'язання	
А – червоні плоди	Це моногібридне схрещування з повним домінуванням:	
а – жовті плоди	<b>P</b>	AA × aa
	<b>G</b>	(A) (a)
F <sub>1</sub> – ?	<b>F<sub>1</sub></b>	Aa – 100% (червоноплідність)

**Відповідь:** всі нащадки будуть червоноплідними за фенотипом й гетерозиготами за генотипом.

### Задачі з генетики для самостійної роботи

**Вправа 1.** У разі схрещування чистої лінії мишей з коричневою шерстю з чистою лінією мишей із сірою шерстю отримують нащадків з коричневою шерстю. Від схрещування F<sub>1</sub> отримують коричневих і сірих мишей у співвідношенні 3 : 1. Поясніть результати схрещувань.

**Вправа 2.** Наявність пігменту у волоссі людини домінує над альбінізмом. Чоловік і дружина – гетерозиготні за пігментацією волосся. Чи можливе народження в них дитини з альбінізмом?

**Вправа 3.** У людини вміння володіти переважно правою рукою – домінантна ознака, лівою – рецесивна. Чоловік-правша, мати якого була лівшею, одружився з жінкою-правшею, батько якої лівша. Яка ймовірність народження дитини-лівші?

**Вправа 4.** При схрещуванні чорного півня з білою куркою всі курчата були строкатими. В другому поколінні отримано: 24 строкатих, 12 чорних і 10 білих. Яким буде потомство від схрещування: а) строкатих курей з чорними півнями; б) строкатого півня з білою куркою?

**Вправа 5.** Червоноквіткову форму нічної красуні схрестили з білоквітковою. Яким буде потомство від схрещування гібридів першого покоління з білоквітковою рослиною у разі неповного домінування?

**Вправа 6.** У батька за системою ABO I група крові, у матері – III група. Які групи крові можуть бути у їхніх дітей, якщо мати гетерозиготна за цією ознакою?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Наука. Нечуйвітер, партеногенез й закони Менделя

У свій час професор ботаніки з Мюнхена К. Негелі порадив Г. Менделю повторити досліди на інших видах. Мендель шанобливо погодився з цим. Але у дослідах на нечуйвітрі, а згодом і на бджолах Г. Мендель не отримав підтвердження відкритих ним законів. Поясніть, чому ж все таки закони Менделя є фундаментальними закономірностями спадковості?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке гібридологічний метод? 2. Назвіть переваги гороху посівного як об'єкта генетичних досліджень. 3. Сформулюйте перший закон Менделя. 4. У чому суть другого закону Менделя? 5. Назвіть основні взаємодії алельних генів.
7 – 9	7. Завдяки чому Г. Мендель досяг успіхів у дослідженні успадкування ознак? 8. Як відбувається успадкування ознак при моногібридному схрещуванні особин? 9. Якими є основні взаємодії алельних генів?
10 – 12	10. Оцініть роль законів Менделя для розвитку класичної генетики.



## § 35. Закономірності спадковості. Закон чистоти гамет.

### III закон Менделя

Основні поняття й ключові терміни: **ЗАКОН ЧИСТОТИ ГАМЕТ. ЗАКОН НЕЗАЛЕЖНОГО УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК.**

**Пригадайте!** Що таке дигібридне схрещування?



#### Вступна вправа

Перекладіть з англійської мови, зіставте поняття генетики з визначеннями та отримайте назву міста, в якому на посаді абата Августи́нського монастиря працював Г. Мендель.

1 Genotype	<b>B</b> A system of interacting genes in an organism
2 Phenotype	<b>O</b> The phenomenon, in which one of the allelic genes completely suppresses activity of the other one
3 Splitting	<b>N</b> Different development of one feature in posterity of an organism
4 Dominance	<b>R</b> The whole complex of signs and properties of the organism



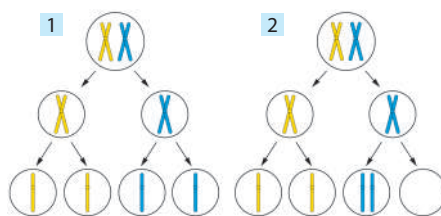
#### ЗМІСТ

#### У чому полягає значення закону чистоти гамет?

Поява серед нащадків особин з рецесивним проявом ознак дала змогу Менделю дійти висновку, що «спадкові задатки» можуть пригнічуватись, але не зникати. Оскільки передача станів ознак здійснюється через гамети, то було сформульовано *гіпотезу чистоти гамет*. Пізніше ця гіпотеза отримала цитологічне пояснення і в сучасній генетиці формулюється як закон чистоти гамет, що має найзагальніший характер, тобто виконується за багатьох умов.

**ЗАКОН ЧИСТОТИ ГАМЕТ:** під час утворення статевих клітин у кожен гамету потрапляє лише один алель з кожної пари алельних генів.

Як уже зазначалося, в локусах гомологічних хромосом містяться алелі гена. Якщо це гетерозиготна особина, то в одній із гомологічних хромосом міститься домінуючий алель, в другій – рецесивний. У разі утворення статевих клітин відбувається мейоз, і в кожен з гамет потрапляє гаплоїдний набір хромосом. Гамети несуть лише одну хромосому з кожної пари гомологічних хромосом, і відповідно лише один ген з кожної пари алельних генів, тобто гамети є чистими. І лише після запліднення – злиття двох гамет, кожна з яких має алельний ген, відбувається утворення зиготи, з якої розвивається організм. Основною умовою виконання закону чистоти гамет є нормальний хід мейозу. У випадку нерозходження хромосом в одну гамету можуть



Іл. 85. Схеми мейозу в нормі (1) і порушення мейозу (2)

потрапити обидві гомологічні хромосоми з пари. При цьому статеві клітини будуть нести пару алельних генів, що розташовані в цій парі хромосом (ил. 85).

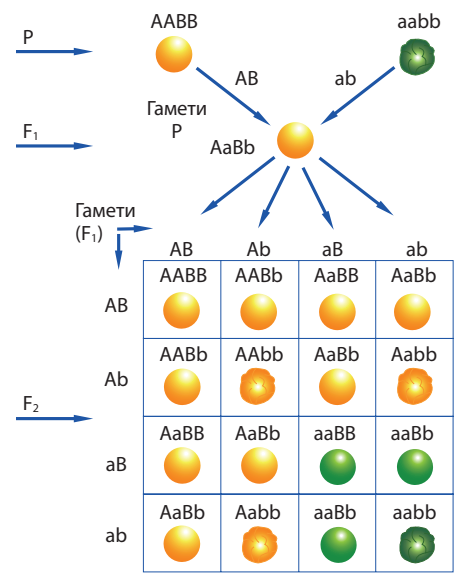
Отже, згідно із законом чистоти гамет розщеплення потомства під час схрещування гетерозиготних особин пояснюється тим, що гамети є генетично «чистими», тобто несуть тільки один ген з алельної пари.

### Як відбувається успадкування двох й більше ознак?

Вивчаючи розщеплення при дигібридному схрещуванні, Мендель звернув увагу на таку обставину. У разі схрещування рослин з жовтим гладеньким і зеленим зморшкуватим насінням у другому поколінні з'являлися нові комбінації ознак: жовте зморшкувате і зелене гладеньке, яких не було у вихідних форм. Із цього спостереження Мендель зробив висновок, що розщеплення за кожною ознакою відбувається незалежно від другої ознаки. Щоб пояснити ці результати, Г. Мендель простежив успадкування різних станів кожної ознаки окремо. Співвідношення насіння різного кольору гібридів другого покоління було таким: 12 частин насіння мало жовтий колір, а 4 – зелений, тобто розщеплення за ознакою кольору, як і в разі моногібридного схрещування, становило 3 : 1. Подібне спостерігали і в разі розщеплення за ознакою структури поверхні насіння: 12 частин насіння мало гладеньку поверхню, а 4 – зморшкувату. Тобто розщеплення за ознакою структури поверхні насіння також становило 3 : 1.

**ЗАКОН НЕЗАЛЕЖНОГО УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК:** кожна пара ознак успадковується незалежно від інших ознак.

Цитогенетичні основи III закону Менделя можна розглянути за допомогою решітки Пеннета. Батьківські форми (P) з чистих ліній мають ознаки: жовті гладенькі (AABB) і зелені зморшкуваті (aabb). У квітках шляхом мейозу утворюються гамети (AB) та (ab) з гаплоїдним набором хромосом. Під час запліднення гамети утворюють диплоїдні зиготи (AaBb), з яких розвиваються гібридні рослини (F<sub>1</sub>) з жовтими й гладенькими горошинами. Під час схрещування чи самозапилення гібриди (F<sub>1</sub>) вже утворюватимуть по чотири типи гамет (G) – AB, Ab, aB і ab. Тому серед гібридів другого покоління (F<sub>2</sub>) можливими є 16 комбінацій гамет, що утворюють фенотипові класи у співвідношенні 9 : 3 : 3 : 1. Третій закон Менделя справедливий лише для ознак, у яких гени, що їх кодують, містяться в різних хромосомах (ил. 86).



Ил. 86. Дигібридне схрещування гороху посівного

Для запису схрещувань використовують спеціальні решітки, що їх запропонував англійський генетик Р. Пеннет (1875–1967). Принцип побудови решітки Пеннета полягає в тому, що зверху по горизонталі записують гамети батьківської

особини, зліва по вертикалі – гамети материнської особини, в місцях перетину – ймовірні генотипи потомства.

Отже, за дигібридного чи полігібридного схрещування різноманітність нащадків досягається завдяки випадковому й незалежному розходженню гомологічних хромосом.

### Які основні положення теорії успадкування Менделя?

Закономірності Менделя було сформульовано ще в 1865 р., тобто коли ще не були відомі будова гена й молекулярні механізми успадкування ознак. Але незважаючи на це, **закон одноманітності гібридів першого покоління, закон розщеплення, закон незалежного успадкування ознак та закон чистоти гамет** стали основою формальної генетики і є базисом сучасної класичної генетики.

Основними положеннями теорії успадкування Менделя є такі.

1. Кожна ознака даного організму контролюється парою спадкових задатків (алельних генів). Два алелі одного гена, наявні в одній особини, не можуть зливатися між собою чи модифікувати одне одного. Через те залишаються, як висловлювався Мендель, «незабрудненими».
2. Якщо організм містить два різні алелі за певною ознакою, то один із них може пригнічувати прояв іншого (**принцип домінування**).
3. Під час мейозу спадкові задатки розділяються, і кожна гамета отримує по одному задатку з кожної пари (**принцип розщеплення**). Якщо статеве розмноження й запліднення не відбуваються (як у випадку з нечуйвітром, якому властивий партеногенез), закономірності не справджуються.
4. При утворенні чоловічих й жіночих гамет у кожну з них може потрапити будь-який алельний ген з однієї пари (**принцип незалежного успадкування ознак**).
5. Кожний організм успадковує по одному алельному гену за кожною ознакою від кожного з батьків (**принцип чистоти гамет**).

Отже, закономірності Менделя стали підґрунтям для розвитку класичної генетики, а на сучасному етапі дають змогу зрозуміти набагато складніші моделі успадкування ознак, що в живій природі є переважаючими.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Практична робота 2 (Б)

#### Розв'язування типових генетичних задач. Дигібридне схрещування

**Мета:** закріпити знання III закону Менделя; формувати уміння розв'язувати справи з генетики на дигібридне схрещування.

#### Вправи з генетики для самостійного розв'язування

**Вправа 1.** У людини ген кароокості домінує над геном блакитноокості, а вміння володіти правою рукою – над ліворукістю. Ці пари генів розміщені в різних хромосомах. Якими будуть діти, якщо: 1) мати гетерозиготна за обома ознаками, а батько – блакитноокий лівша; 2) мати блакитноока й гетерозиготна за праворукістю, а батько – лівша й гетерозиготний за кольором очей?

**Вправа 2.** Нормальні крила й червоні очі у дрозофіли – домінантні прояви ознак, відсутність крил і білоокість – рецесивні. Дигетерозиготну самку схрестили з гомозиготним безкрилим червонооким самцем. У першому поколінні дістали 320 особин. Скільки з них теоретично може бути: 1) білооких самок з нормальними крилами; 2) червонооких особин з нормальними крилами?



**Вправа 3.** У суниць плоди можуть бути червоними (A), білими (a) або рожевими (Aa), а чашечка – нормальною (B), листкоподібною (b) і проміжною (Bb). Схрестили між собою рослини з рожевими плодами й проміжною чашечкою. Яка частина потомства матиме: 1) червоні плоди й нормальну чашечку; 2) рожеві плоди й проміжну чашечку?



**Вправа 4.** Самка шимпанзе має I групу крові за системою ABO та нормальну пігментацію, а у самця IV група крові й альбінізм. Яка вірогідність народження нащадків: 1) з II групою крові й альбінізмом (самка гетерозиготна за ознакою пігментації); 2) з III групою крові й нормальною пігментацією (самка гомозиготна за ознакою пігментації)?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Латина. Латинська мова і сучасність

Латиниця – абетка латинської мови, що історично є відгалуженням етрусської абетки, яка, в свою чергу, постала з грецької. Виникнення латинської абетки датують VII ст. до н. е. Літерами латиниці в генетиці позначають батьківські особини, дочірні особини, гамети, прояви ознак та ін. Запишіть літери сучасної латинської абетки, вкажіть їхню назву та розкодуйте відомий вираз Сенеки, який у перекладі з латини звучить як «Docendo discimus» (Навчаючи, ми самі вчимося). Оцініть значення латинської мови у сучасному суспільстві загалом і в біології зокрема.



4	15	3	5	14	4	15

4	9	19	3	9	13	21	19



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке закон чистоти гамет? 2. Назвіть основну умову дії закону чистоти гамет. 3. Що таке закон незалежного успадкування ознак? 4. Як розташовуються алейні гени у випадку незалежного успадкування ознак? 5. У якому році було сформульовано закони Менделя? 6. Назвіть чотири закономірності, що є основою класичної генетики.
7 – 9	7. У чому полягає значення закону чистоти гамет? 8. Як відбувається успадкування двох й більше ознак? 9. Які основні положення теорії успадкування Менделя?
10 – 12	10. Яким є молекулярно-біологічні й цитологічні основи закономірностей спадковості?

## § 36. Гібридологічний аналіз: основні типи схрещувань

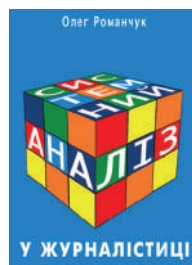
**Основні поняття й ключові терміни:** ГІБРИДОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ. СХРЕЩУВАННЯ. Аналізуюче схрещування.

**Пригадайте!** Що таке гібридологічний метод?



### Поміркуйте!

Аналіз – вивчення об'єкта дослідження як сукупності елементів, що утворюють систему. У наукових дослідженнях він передбачає оцінювання поведінки об'єкта як системи з усіма чинниками, що впливають на його функціонування. Цей метод широко застосовується в економіці, психології, медицині, біохімії, математиці тощо і навіть у журналістиці. Що ж таке гібридологічний аналіз?



### ЗМІСТ

**Які принципи й значення гібридологічного аналізу?**

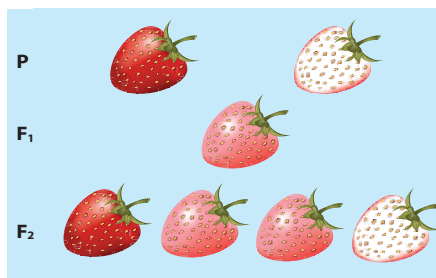
**ГІБРИДОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ** – це дослідження характеру успадкування ознак за допомогою системи схрещувань. Для здійснення цього аналізу отримують гібриди і вивчають результати успадкування їхніх ознак у ряді поколінь. При цьому потрібно враховувати взаємодії генів між собою, вплив умов середовища, внутрішні механізми мінливості тощо. Гібридологічний аналіз разом із молекулярно-генетичним та хромосомним є основними видами генетичного аналізу.

Основні принципи проведення гібридологічного аналізу сформулював ще Г. Мендель. Це: 1) добір матеріалу для отримання гібридів (отримання особин з чистих ліній, виділення ознаки чи декількох ознак для дослідження); 2) отримання гібридів (чітко дотримання умов та правил схрещування); 3) індивідуальний аналіз гібридів (з обов'язковим фіксуванням результатів для їхньої аналітичної обробки); 4) використання математичної статистики, складання схем схрещування.

Класична схема гібридологічного аналізу включає такі етапи, як виділення гомозиготних батьківських форм, отримання від їхнього схрещування гібридів та схрещування цих гібридів першого покоління між собою для отримання гібридів другого покоління.

Гібридологічний аналіз дає змогу визначити: а) характер успадкування ознаки (виявити тип взаємодії генів і встановити кількість генів, що беруть участь у прояві ознаки) (іл. 87); б) розташування генів, що досліджуються (у гомологічних чи негомологічних, у статевих чи аутозомах); в) групи зчеплення й інформацію для побудови генетичних карт хромосом та ін.

Гібридологічний аналіз широко застосовується не лише в генетиці, а й у селекції у поєднанні з методами гібри-



Іл. 87. Основні етапи гібридологічного аналізу успадкування ознаки забарвлення плодів у суниць

дизації та оцінювання плідників за нащадками, в генетичній інженерії – для отримання організмів із заданими властивостями, у систематиці – для виявлення філогенетичної спорідненості різних видів організмів тощо.

Отже, сутність гібридологічного аналізу полягає в схрещуванні особин з наступним аналізом результатів.

### Які типи схрещувань застосовують для гібридологічного аналізу?

**СХРЕЩУВАННЯ (у генетиці)** – природне чи штучне поєднання генетичного матеріалу спадково різних клітин чи організмів з різними генотипами. Нащадків, що виникли від схрещування двох батьківських особин (позначають латинською літерою P, від лат. *parents* – батьки), називають дочірніми особинами, або гібридами (позначають латинською літерою F, від лат. *filia* – дитина). У схемах схрещування на першому місці записують особину жіночої статі, позначають її знаком ♀ (дзеркало Венери), чоловічу статі позначають ♂ (щит і спис Марса). Схрещування між ними позначають знаком множення (×).

Схрещування є обов'язковим елементом усіх видів гібридологічного аналізу організмів із статевим розмноженням або статевими процесами. У роздільностатевих організмів схрещування здійснюється за участі спеціалізованих статевих клітин – гамет та з утворенням зиготи. У прокариотів й одноклітинних еукаріотів (наприклад, інфузорії) схрещування здійснюється завдяки кон'югації, трансдукції й трансформації, за яких відбуваються зміни спадкового матеріалу.

Розрізняють моно-, ди- й полігібридні, прості й складні, зворотні й реципрокні, споріднені й неспоріднені схрещування та ін.

**Таблиця 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОКРЕМИХ ВИДІВ СХРЕЩУВАННЯ**

А. Залежно від кількості пар проявів ознак, за якими різняться батьківські форми	
Моногібридне	Схрещування батьківських особин, які різняться за однією парою альтернативних проявів ознак
Дигібридне	Схрещування батьківських особин, які різняться за двома парами альтернативних проявів ознак
Полігібридне	Схрещування батьківських особин, які різняться за трьома і більше парами альтернативних проявів ознак
Б. Залежно від особливостей	
Зворотне	Схрещування F <sub>1</sub> з однією з батьківських форм
Реципрокне	Система двох схрещувань (прямого і зворотного), в одному з яких організми з ознаками, що вивчаються, використовують як материнські, в іншому — як батьківські: 1) ♀ AA × ♂ aa; 2) ♀ aa × ♂ AA

Завдяки схрещуванням отримують потомство від батьків для визначення закономірностей успадкування ознак, розташування генів, що контролюють ці ознаки, взаємодії генів, ролі навколишнього середовища у формуванні ознак тощо.

Отже, схрещування є обов'язковим елементом гібридологічного аналізу, що є, в свою чергу, основним методом генетики.

### Для чого в генетиці застосовують зворотні схрещування?

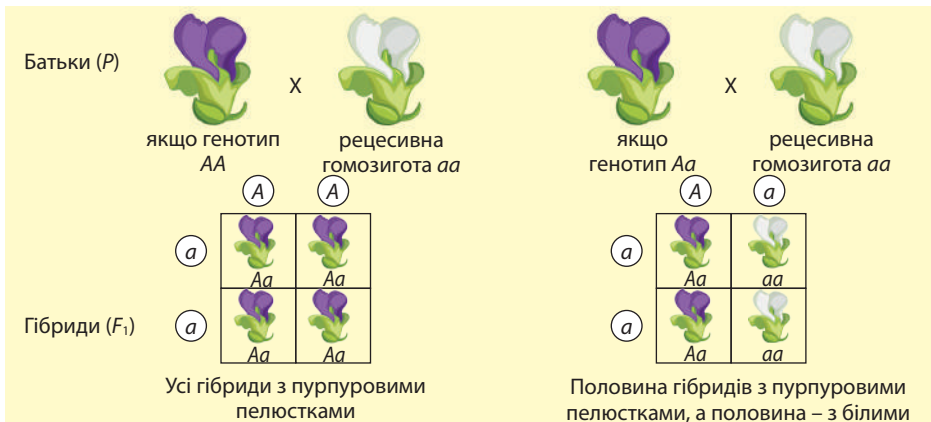
**Зворотне схрещування**, або **беккрос** (від англ. *backcrossing*, від *back* – знову і *cross* – схрещувати) – схрещування гібрида першого покоління з однією з батьківських форм. У генетиці використовується для визначення генотипу особини (аналізуюче схрещування), у селекції є основою методу зворотних схрещувань

для підсилення в гібридів прояву одного з батьків, подолання стерильності віддалених гібридів, закріплення гетерозису в наступних поколіннях тощо.

**Аналізуюче схрещування** – це схрещування гібрида з невідомим генотипом (або  $AA$ , або  $Aa$ ) з рецесивною гомозиготою, генотип якої завжди ( $aa$ ). У схемах схрещування особин із домінантною ознакою у фенотипі й невідомим генотипом записують у вигляді так званого *фенотипового радикала*  $A$ -. Таке позначення означає, що організм точно має один алель, що визначає домінантний стан ознаки, а другий алель є невідомим. У разі схрещування такої особини із рецесивною гомозиготою можливі два варіанти.

*I-й варіант.* Якщо при схрещуванні особини з домінантною ознакою ( $A$ ) з рецесивною гомозиготною ( $aa$ ) особиною усе потомство виявиться одноманітним, значить, аналізована особина з домінантною ознакою гомозиготна ( $AA$ ).

*II-й варіант.* Якщо при схрещуванні особини з домінантною ознакою ( $A$ ) з рецесивною гомозиготою ( $aa$ ) отримане потомство дає розщеплення  $1 : 1$ , то досліджувана особина з домінантною ознакою гетерозиготна ( $Aa$ ) (іл. 88).



Іл. 82. Схема аналізуючого схрещування

Отже, аналізуюче схрещування уможливорює визначення генотипу гібридів, типів гамет та їх співвідношення.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

Проаналізуйте закономірності моногібридного схрещування і заповніть таблицю кількісної характеристики ди-, три- і полігібридних схрещувань.

**Таблиця. КІЛЬКІСНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗА РІЗНИХ ТИПІВ СХРЕЩУВАННЯ**

Параметр	Моногібридне	Дигібридне	Тригібридне	Полігібридне
Число типів гамет, утворених $F_1$	2			
Число комбінацій гамет у $F_2$	4			
Розщеплення за фенотипом у $F_2$	(3 : 1)			
Розщеплення за генотипом у $F_2$	(1 : 2 : 1)			
Число фенотипових класів	2			
Кількість генотипових класів	3			

**Самостійна робота 4. Розв'язування типових вправ з генетики**

**Вправа 1\*.** Які типи гамет утворюють організми з такими генотипами: а) AABbCC; б) AABbCc; в) AaBbCC; г) AaBbCc?

**Вправа 2\*.** У гороху жовтий колір насіння (А) домінує над зеленим, гладка форма насіння (В) – над зморшкуватою, біб простої форми (С) – над бобом із перетяжками. Схрещено рослину AaBbcc із рослиною aabbCc. Визначте розщеплення в наступному поколінні за фенотипом.

**Вправа 3\*.** Кароокий, темноволосий, рецус-позитивний чоловік одружується з блакитноокою, світловолосою рецус-негативною жінкою. Визначте ймовірність народження блакитноокої світловолосої дитини, якщо батько гетерозиготний за домінантними проявами ознак.

**Біологія + Домашні тварини. Морські свинки**

У живий куточок діти принесли двох чорних морських свинок (*Cavia porcellus*), вважаючи їх чистопородними. Проте в наступному поколінні серед їх потомства з'явилися білі свинки. Установіть генотипи цих свинок, якщо відомо, що чорне забарвлення домінує над білим. Оцініть практичне значення генетичних знань про види схрещувань у селекції домашніх тварин.

**СТАВЛЕННЯ****Біологія + Українська література. Метод посередника**

*«Мічурін нахилився над молодою рослиною, замислений і сумний, наче лікар над хворою дитиною.*

*– Ні! До персика нам, видно, ще далеко. Сашо, запиши: дикий мигдаль з культурним персиком не схрещується... Пошукаємо обхідних шляхів»* (О. Довженко. Мічурін). І науковець знайшов цей шлях.

Так з'явився в селекції рослин метод східчастого схрещування, або метод посередника, що його застосовують для подолання несхрещуваності видів. У чому полягає суть методу посередника? Висловіть судження про значення біологічних знань для письменників, поетів чи літературних критиків.

**РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке гібридологічний аналіз? 2. Назвіть основні галузі застосування гібридологічного аналізу. 3. Що таке схрещування в генетиці? 4. Назвіть основні типи схрещувань. 5. Що таке зворотні схрещування? 6. Що таке аналізуюче схрещування?
7 – 9	7. Які принципи й значення гібридологічного аналізу? 8. Які типи схрещувань застосовують для гібридологічного аналізу? 9. Для чого в генетиці застосовують зворотні схрещування?
10 – 12	10. На конкретному прикладі продемонструйте практичне значення знань про типи схрещувань.



## § 37. Сучасні молекулярно-генетичні методи досліджень спадковості людини

**Основні поняття й ключові терміни:** МОЛЕКУЛЯРНА ГЕНЕТИКА. Молекулярно-генетичні методи.

**Пригадайте!** Що таке спадковість і мінливість?



### Поміркуйте!

Елементом сучасного дизайну житла досить часто стають генопортрети (зображення ДНК) мешканців, за допомогою яких підкреслюють особливості стилю оформлення. Що є основою неповторності таких портретів і чому вони індивідуальні?



### ЗМІСТ

**Що є предметом досліджень молекулярної генетики?**

**МОЛЕКУЛЯРНА ГЕНЕТИКА** – це розділ генетики й молекулярної біології, що вивчає молекулярні основи спадковості й мінливості живих організмів і вірусів. Як самостійний напрям молекулярна генетика виокремилась в 40-х рр. ХХ ст. у зв'язку із упровадженням у біологію нових методів, що дали змогу глибше й точніше дослідити будову й функції генетичного апарату вірусів і клітин. Найголовнішими досягненнями молекулярної генетики є з'ясування хімічної природи гена, штучний синтез гена, з'ясування механізмів *реплікації*, *транскрипції*, *зворотної транскрипції*, *трансляції*, *репарації*, регуляції *експресії* та біосинтезу білків. Основою цієї науки є концепція *генетичного коду*, який первинно зумовлює такі ознаки живої матерії, як спадковість і мінливість. За допомогою методів молекулярної генетики поглиблено розуміння мутаційного процесу, з'ясовано механізми *кросинговеру*. Молекулярна генетика стала підґрунтям, на якому сформувалась молекулярна біологія, сприяла розвитку біохімії, біофізики, цитології, мікробіології, вірусології, біології розвитку, відкрила нові підходи до розуміння еволюції життя на Землі. Досягнення молекулярної генетики уже реалізуються в селекції, біотехнології, медицині, спорті, криміналістиці, антропології (іл. 89).



Іл. 89. Предмет досліджень молекулярної генетики

Отже, молекулярна генетика вивчає структури, що зберігають й формують генетичну інформацію, та їх функціональні властивості.

**Які особливості організації молекулярно-генетичних досліджень спадковості?**

**Молекулярно-генетичні методи** – це методи дослідження структури й мінливості генетичного апарату, з яким пов'язані процеси збереження й реалізації спадкової інформації. За їх допомогою науковці можуть визначати подібність та відмінності геномів різних організмів, виявляти ушкодження структури ДНК, встановлювати нуклеотидні послідовності генів у нормі й у разі захворювань тощо.

Для проведення молекулярно-генетичних досліджень використовують не всю ДНК, а лише невеликі фрагменти, що є різними в різних особин. Так, ступінь подібності геномів різних людей становить 99,9 %. І лише 0,1 % послідовностей ДНК мають мінливість, що її називають структурним поліморфізмом ДНК. На початку 80-х років у молекулах ДНК людини було виявлено ділянки, унікальні за своєю будовою в кожній людині. Ці ділянки називають *варіабельними тандемними повторами* (ВТП). Масштаби цієї варіативності такі, що між послідовностями ДНК двох людей (якщо вони не монозиготні близнята) існують мільйони відмінностей, що досить часто у організмів фенотипово не виражено.

Для виявлення необхідних фрагментів застосовують метод гібридизації ДНК з використанням ДНК-зондів. Вирізання відповідних фрагментів ДНК здійснюють за допомогою особливих ферментів-«ножиць» – *рестриктаз*. Різні рестриктази розпізнають тільки відповідні послідовності нуклеотидів і розрізають ДНК у визначених місцях.

Наступним етапом молекулярно-генетичного аналізу є одержання копій з досліджуваних фрагментів ДНК. Отримання достатньої кількості фрагментів ДНК відбувається шляхом *ампліфікації ДНК* за допомогою полімеразної ланцюгової реакції. Копіюють виокремлені фрагменти ДНК за допомогою спеціальних ферментів – полімераз. Копійовані фрагменти ДНК за допомогою електрофорезу на гелі розділяють на фракції. Під дією електричного поля фрагменти ДНК рухаються в гелі зі швидкістю, що залежить від їх довжини: чим вони коротші, тим швидкість більша. У результаті цього фрагменти ДНК через деякий час займають певне місце на гелі у вигляді окремих смужок, що дає змогу оцінити неповторність структури ДНК (іл. 90).



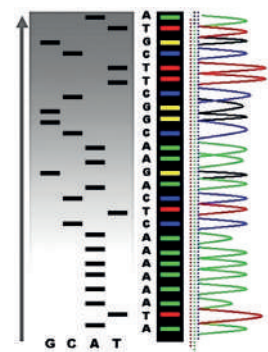
Іл. 90. Генетичний аналізатор (секвенатор) із комп'ютерним й програмовим забезпеченням

Отже, особливостями організації молекулярно-генетичних методів досліджень є використання фрагментів ДНК, ферментів-рестриктаз і спеціальних методів для отримання, розмноження й вивчення ділянок ДНК.

### Яке значення найпоширеніших молекулярно-генетичних методів?

До найважливіших методів молекулярної генетики, що лежать в основі геномних технологій і ДНК-діагностики, належать: секвенування генів, полімеразна ланцюгова реакція, застосування генетичних маркерів та ін.

**Секвенування генів** (від лат. *sequentum* – послідовність) – методи встановлення послідовності нуклеотидів у молекулах ДНК (іл. 91). Винайдено британським ученим Фредеріком Сенгером у 1977 р. Велика швидкість секвенування, що стала доступною на початку XXI ст. завдяки новим технологіям, сприяла встановленню повної послідовності геному людини. Секвенування здійснюють за допомогою автоматичних секвенаторів, в яких застосовуються флуоресцентно-мічені праймери. Для кожного з чотирьох нуклеотидів беруть чотири різні флуоресцентні мітки, котрі випромінюють світло в різних спектральних діапазонах. Сканування гелю після електрофорезу лазерним променем, що збуджує флуоресценцію, дає змогу визначити різні нуклеотиди й прочитати послідовність.



Іл. 91. Секвенування фрагмента ДНК різними методами

**Полімеразна ланцюгова реакція** (ПЛР) – метод збільшення кількості фрагментів ДНК у біологічному матеріалі. Метод широко використовують у біологічній і медичній практиці для клонування генів, дослідження мутацій, виділення нових генів, створення генетично модифікованих організмів, діагностики захворювань, ідентифікації малих кількостей ДНК, встановлення батьківства тощо. Винахідник методу – американський біохімік К. Малліс так писав про нього: «Починаючи з єдиної молекули ДНК, носія генетичної інформації, ПЛР може надати 100 мільярдів подібних молекул за кілька годин. Реакцію дуже легко провести, вона вимагає однієї тестової трубки, незначної кількості реагентів та джерела теплоти».

**Генетичні маркери** – специфічні нуклеотидні послідовності з відомою первинною структурою, які дають змогу ідентифікувати аналізовану нуклеїнову кислоту. Молекулярно-генетичними маркерами можуть бути білки та ділянки ДНК у вигляді генів або коротких послідовностей нуклеотидів. На сьогодні генетичні маркери вже застосовуються в таких галузях діяльності людини, як криміналістика, біотехнологія, селекція, антропологія, генетична інженерія, медицина, спорт та ін. Так, у генеалогії для встановлення спорідненості по чоловічій лінії аналізують Y-хромосоми за допомогою STR-тестів. Для цього використовуються спеціальні ДНК-маркери, нуклеотидна послідовність у яких повторюється безліч разів – «короткі тандемні повтори» (англ. *Short Tandem Repeats, STR*). Оскільки Y-хромосома передається тільки від батька, то число повторів у маркерах сина буде таким самим, що й у його батька. У сільському господарстві STP-аналіз слугує для досліджень варіабельності геному та поліморфізму, що впливає на продуктивність сортів, у медицині існують маркери спадкових і онкологічних захворювань, у спорті – для визначення схильності спортсменів до занять певним видом спорту. У криміналістиці широко застосовується метод «генетичних відбитків пальців».

Отже, секвенування генів, полімеразна ланцюгова реакція, застосування генетичних маркерів допомагають вивчати процеси життєдіяльності на молекулярному рівні організації життя й застосовувати ці знання в різних галузях діяльності людини.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота на зіставлення

Зіставте запропоновані терміни із визначеннями. Заповніть таблицю відповідей та отримайте назву науки, що вивчає ДНК одного організму. Поясніть перспективи цього розділу молекулярної генетики в практичній діяльності людини.

1	2	3	4	5	6	7	8

1 Репарація	<b>А</b> Використання спадкової інформації генів для синтезу білків і РНК
2 Реплікація	<b>Г</b> Процес виправлення клітиною пошкоджень її ДНК
3 Транскрипція	<b>Е</b> Процес самоподвоєння молекули ДНК
4 Трансляція	<b>І</b> Сукупність всієї спадкової генетичної інформації організму
5 Кросингвер	<b>К</b> Процес утворення додаткових копій фрагмента ДНК
6 Геном	<b>Н</b> Процес переписування інформації з ДНК на іРНК
7 Ампліфікація	<b>М</b> Обмін ділянками між гомологічними хромосомами
8 Експресія	<b>О</b> Синтез білків на матриці іРНК, що відбувається на рибосомах

## Біологія + Медицина. Метод Сенгера

**Фредерік Сенгер** (1918–2013) – британський біохімік, двічі лауреат Нобелівської премії з хімії (в 1958 р. «за встановлення структур білків, особливо інсуліну» і 1980 р. – «за внесок щодо визначення послідовності основ у нуклеїнових кислотах»). У 1977 р. запропонував метод розкодування первинної структури ДНК, заснований на ферментативному синтезі комплементарної послідовності ДНК на однитковій ДНК. Назвіть цей метод та поясніть його значення для медицини.



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Криміналістика. Генетичні маркери

Метод «генетичних відбитків пальців», або *фінгерпринтинг* (від англ. *fingerprinting* – зняття відбитків пальців) – метод розрізнення індивідумів за допомогою використання зразків їхніх ДНК. Перший варіант методу був розроблений А. Джеффресом у Лестерському університеті в 1985 р. «Золотим стандартом» на сьогодні вважається дослідження індивідуальності людини за допомогою поліморфних генетичних маркерів. Оцініть можливості застосування методу «генетичних відбитків пальців» в криміналістиці.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке молекулярна генетика? 2. Назвіть основні галузі застосування досягнень молекулярної генетики. 3. Що таке молекулярно-генетичні методи? 4. Назвіть сучасні молекулярно-генетичні методи дослідження спадковості. 5. Що таке секвенування? 6. Що таке генетичні маркери?
7 – 9	7. Що є предметом досліджень молекулярної генетики? 8. Які особливості молекулярно-генетичних досліджень спадковості? 9. Яке значення найпоширеніших молекулярно-генетичних методів?
10 – 12	10. Поясніть застосування генетичних маркерів.

*Краще вивчити зайве, аніж нічого не вивчити.  
Сенека Старший*

## § 38. Організація спадкового матеріалу еукаріотичної клітини та його реалізація

**Основні поняття й ключові терміни: ГЕНОМ. ЕКСПРЕСІЯ ГЕНІВ.**

**Пригадайте!** Що таке еукаріотична клітина?



### Поміркуйте!

Найбільший геном виявлено в рослині вороняче око японське (*Paris japonica*). Він містить 149 млрд пар нуклеотидів. До цього відкриття найбільшим геномом вважався геном дводішної риби протоптеруса (*Protopterus aethiopicus*) – 130 млрд пар нуклеотидів. Геном людини складається з 3,2 млрд пар нуклеотидів. Чому ж тоді в людини організація будови, життєдіяльності й поведінки є складнішою?





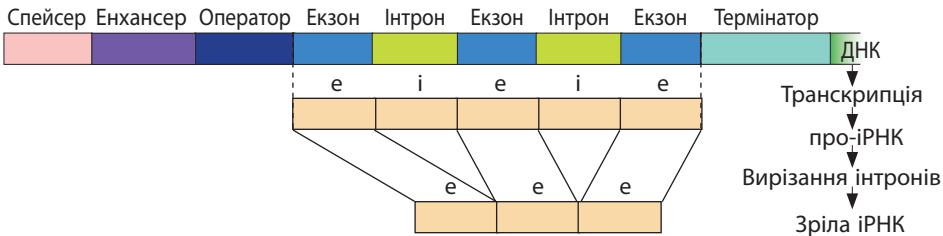
## ЗМІСТ

### Які особливості організації спадкового матеріалу еукаріотичних клітин?

**ГЕНОМ** – сукупність спадкової інформації у клітинах організму певного виду. Генوم поєднує основні компоненти, якими є гени та нефункціональні послідовності ДНК. Найхарактерніші особливості організації спадкового матеріалу еукаріотів такі.

- Наявність в еукаріотичних клітинах таких видів геному, як *ядерний, мітохондріальний* і *пластидний*. Характерною особливістю ядерного геному є *зв'язок ДНК з білками-гістонами* й утворення дезоксирибонуклеопротейнових комплексів – хромосом.
- Розмір геному еукаріотичних клітин має тенденцію до збільшення в міру ускладнення організмів. Так, генوم кишкової палички налічує 4,6 млн, генوم дрозофіли – 130 млн, а генوم людини – 3,2 млрд пар нуклеотидів.
- Основними компонентами еукаріотичних геномів є *функціональні послідовності нуклеотидів ДНК*.
- У складі функціональної й нефункціональної частин геному еукаріотичних клітин є унікальні послідовності (представлені в геномі однією копією) й повторювані послідовності (представлені декількома або багатьма копіями).
- Для структурної частини геному еукаріотів характерний *мозаїчний принцип будови*. Структурні гени мають ділянки, що кодують спадкову інформацію, – **екзони**, і ділянки, що її не кодують, – **інтрони**.
- У геномі еукаріотів відбуваються ускладнення й *урізноманітнення ділянок регуляторної частини* (наприклад, енхансери і сайленсери, що посилюють або послаблюють транскрипцію). Ключову роль в еволюції еукаріотів відіграє не поява нових кодувальних послідовностей, а нові комбінації старих і поява нових регуляторних ділянок. При цьому у формуванні нових регуляторних послідовностей значну роль відіграють мобільні генетичні елементи.
- Більшу частину еукаріотичного геному становить *надлишкова* (нефункціональна) ДНК, що не містить інформації про синтез функціональних продуктів. Так, у кишкової палички частка такої ДНК становить 15 – 20 %, у дрозофіли – 90 – 95 %, а в людини – аж 95 – 98 %.

ГЕНОМ еукаріотичних клітин	
Функціональний компонент	Нефункціональний компонент
<b>Структурна частина</b>	Псевдогени, тандемні повтори, генетичні мобільні елементи, спейсери та ін.
1. Структурні гени з інтронами й екзонами 2. Родини генів (кластери)	
<b>Регуляторна частина</b>	
1. Регуляторні гени 2. Регуляторні елементи	



Іл. 92. Особливості організації генотипу еукаріотичної клітини

- В еукаріотичному геномі спостерігається *збільшення розмірів спейсерів* – ділянок ДНК, що відокремлюють гени один від одного. У прокариотів спейсер складається з декількох пар нуклеотидів, а в еукаріотів ці ділянки значно більші (іл. 92).
- Геном переважної більшості еукаріотів завдяки статевому розмноженню отримує два набори алельних генів від двох батьків різної статі.

Отже, геном еукаріотів відрізняється особливостями організації функціональної й нефункціональної частин, серед яких виокремимо збільшення розмірів, наявність мозаїчної структури, надлишковість та ускладнення регуляторних послідовностей.

### Які особливості реалізації спадкового матеріалу еукаріотичної клітини?

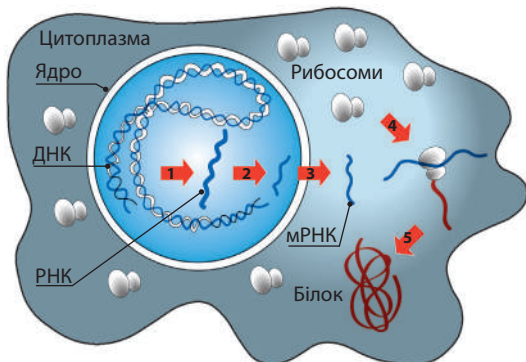
**ЕКСПРЕСІЯ ГЕНІВ** – процеси використання спадкової інформації генів для синтезу функціональних продуктів – молекул РНК і білків. Якщо кінцевим продуктом експресії генів є білок, то процес експресії називається **біосинтезом білків**, а ген – білковим. Інформація з таких генів переписується на іРНК, що переносить її до рибосом – органел синтезу білків. Якщо на генах ДНК відбувається синтез транспортних РНК, то це гени тРНК; якщо синтез рибосомальних РНК, то це гени рРНК. Біосинтез РНК називається **транскрипцією**. Таким чином, завдяки експресії генів у клітинах з'являються білки, іРНК, тРНК і рРНК.

ЕКСПРЕСІЯ ГЕНІВ в еукаріотичних клітинах	
РНК-гени	Білкові гени
Транскрипція	Біосинтез білків
Основні стадії 1. Ініціація 2. Елонгація 3. Термінація Результат: утворення тРНК і рРНК	Основні етапи 1. Транскрипція з утворенням про-іРНК 2. Процесинг із сплайсингом та експорт іРНК 3. Трансляція 4. Післятрансляційна модифікація Результат: утворення білків
Особливості: 1) відокремленість транскрипції й біосинтезу білків; 2) наявність процесингу із сплайсингом; 3) активна й складна регуляція активності генів	

Які ж особливості експресії генів в еукаріотичних клітинах?

1. На відміну від прокариотів еукаріотична іРНК синтезується у клітинному ядрі (транскрипція іРНК), звідки транспортується до цитоплазми (експорт іРНК) для синтезу білків. Таким чином, *транскрипція й біосинтез білків є окремими, відділеними у просторі й часі, етапами експресії генів*.
2. Інша відмінність полягає в мозаїчній будові генів, що мають інтрони та екзони. Спочатку інформація з білкових генів переписується на попередника іРНК (про-іРНК), а потім неінформативні інтронні ділянки вирізаються (сплайсинг) й первинний транскрипт перетворюється на зрілу іРНК (процесинг). Тому *процесинг еукаріотичної іРНК є невід'ємною частиною транскрипції*.
3. Для еукаріотів характерна диференціальна експресія генів у різних клітинах організму, тому багатоклітинні організми мають різноманітні диференційовані клітини. Хоча в усіх клітинах містяться однакові гени, їхня експресія відбувається неоднаково. Регуляція клітинної диференціації здійснюється за допомогою специфічних білків – транскрипційних чинників. На реалізацію спадкової інформації впливають як внутрішні (гормони, білкові транскрипційні чинники, білки-індуктори, білки хроматину, маленькі ядерні РНК), так

і зовнішні (температура, випромінювання, антибіотики, токсини). Таким чином, *експресія еукаріотичних генів активно регулюється і є основою росту, розвитку й диференціації клітин та їхньої адаптації до умов навколишнього середовища (іл. 93).*



Іл. 93. Основні етапи експресії білкових генів: 1 – транскрипція; 2 – процесинг із сплайсингом; 3 – експорт іРНК; 4 – трансляція; 5 – посттрансляційна модифікація

Отже, експресія генів є реалізацією спадкової інформації клітин з утворенням РНК і білків, яка в еукаріотичних клітинах відбувається з певними особливостями.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

За допомогою таблиці визначте особливості організації спадкового матеріалу еукаріотичних клітин. Заповніть у робочому зошиті таблицю та зробіть загальний висновок про відмінності геному еукаріотів від геному архей та бактерій.

#### Таблиця. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНОМУ ЕУКАРІОТИЧНИХ КЛІТИН

Ознака	Характеристика
Види геному	
Розміри геному	
Особливості ядерного геному	
Компоненти геному	
Склад функціонального компонента	
Склад нефункціонального компонента	
Особливості будови структурної частини	
Особливості регуляторної частини	

#### Біологія + Антропологія. Особливості геному людини

В журналі *Nature* міжнародний науковий консорціум опублікував результати дослідження геному шимпанзе – тварини, яка найбільш схожа з *Ното сарієнс*. Шимпанзе став четвертим ссавцем, геном якого повністю розшифрували вчені після геномів миші, щура та людини. Які особливості геному людини порівняно з геномом шимпанзе?





## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Електроніка. Біочипи

**Біочип** (англ. *biochip*) – матриця з нанесеними молекулами білків або нуклеїнових кислот для одночасного виконання великої кількості аналізів. Основна частка сучасних біочипів припадає на ДНК-чипи. ДНК-біочипами називають також технології для ідентифікації молекул ДНК та аналізу експресії генів. ДНК-біочипи створено аналогічно з електронними мікросхемами-чипами, тобто в них різне походження й подібні функції. Яке призначення чипів? Який механізм дії ДНК-чипів? Оцініть можливості застосування біочипів в практичній діяльності людини.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке геном? 2. Назвіть компоненти геному еукаріотичних клітин. 3. Наведіть приклади особливостей геному еукаріотичних клітин. 4. Що таке експресія? 5. Що є функціональними продуктами експресії генів? 6. Назвіть основні етапи експресії білкових генів.
7 – 9	7. Які особливості організації спадкового матеріалу еукаріотичних клітин? 8. Які особливості реалізації спадкового матеріалу еукаріотичної клітини? 9. Чим експресія РНК-генів відрізняється від експресії білкових генів?
10 – 12	10. У чому полягають відмінності геному еукаріотів від геному архей та бактерій?

*Генетика вважає, а епігенетика – улаштовує.  
П. Медвар*

## § 39. Гени. Регуляція активності генів

**Основні поняття й ключові терміни: ГЕН. Структурні гени. Регуляторні гени. РЕГУЛЯЦІЯ АКТИВНОСТІ ГЕНІВ. Епігенетика.**

**Пригадайте!** Що таке гени?



### Новини науки

Група науковців довела, що восьминоги та інші головоногі молюски здатні редагувати власну іРНК для регуляції синтезу білків, не змінюючи самих генів. У такий спосіб відбуваються швидко модифікація білків і зміна їхніх функцій, що забезпечує пластичність поведінки. А що таке гени і як регулюється їхня активність?



### ЗМІСТ

#### Як організована діяльність генів?

**ГЕН** (від грец. *genos* – рід, походження) – це ділянка ДНК, що містить інформацію про первинну структуру молекули білка або РНК. Зазначимо, що є група неклітинних форм життя, в яких генетична інформація записана на РНК. Це РНК-вмісні віруси й віроїди.



Кожен ген містить кодувальну послідовність, де записана інформація про продукт, та певний набір регуляторних елементів, що контролюють його діяльність. Регуляторні послідовності можуть перебувати як у безпосередній близькості від кодувальної послідовності нуклеотидів (наприклад, *промотори* – ділянки, з яких починається транскрипція), так і на відстані (наприклад, *енхансери* – ділянки, що посилюють транскрипцію).

Накопичені знання про гени зумовлюють існування декількох варіантів класифікації. За розташуванням у клітинах виокремлюють *ядерні гени* й *цитоплазматичні гени* (розташовані в мітохондріях і хлоропластах).

За функціональним значенням гени поділяють на **структурні** й **регуляторні**. Структурні гени кодують білок або РНК, а регуляторні визначають початок, швидкість й послідовність процесів синтезу РНК на матриці ДНК. Розміри регуляторних генів, як правило, незначні – кілька десятків пар нуклеотидів, структурних – сотні й тисячі нуклеотидів.

За функціональним продуктом експресії виокремлюють білкові гени і РНК-гени. **Білкові гени** містять інформацію про первинну структуру білка, для біосинтезу на основі цих генів утворюються іРНК(або матричні мРНК). **РНК-гени** кодують велику кількість різних видів РНК, які не піддаються трансляції. Це транспортні РНК (тРНК), рибосомні РНК (рРНК), маленькі ядерні РНК (мяРНК), мікро-РНК (мкРНК).

За активністю розрізняють конститутивні й неконститутивні гени. **Конститутивні гени** – це гени, що є постійно активними, через те що білки, які ними кодуються, необхідні для постійної клітинної діяльності. Ці гени забезпечують синтез білків, ферментів і не потребують спеціальної регуляції. У багатоклітинних еукаріотів їх ще називають «генами домашнього господарства». **Неконститутивні гени** – це гени, які стають активними лише тоді, коли білок, який вони кодують, потрібний клітині. Вони регулюються клітиною або організмом і за участі кодованих білків забезпечують диференціацію клітин. Ці гени у клітинах еукаріотів називають «генами розкоші».

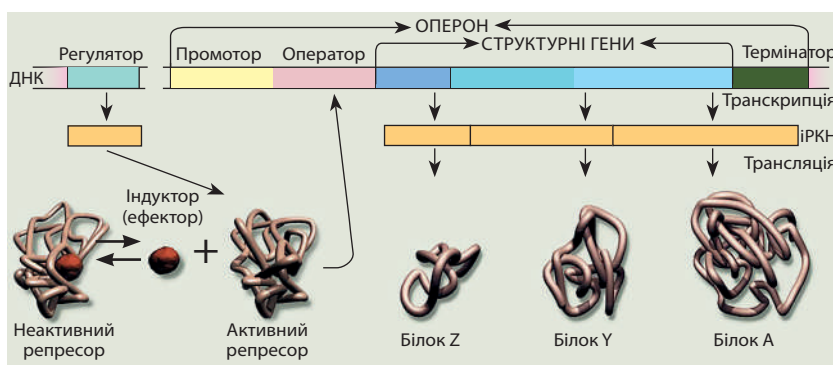
Отже, гени – це не тільки ділянки ДНК, що містять певну інформацію, а й система елементів, що забезпечує експресію цієї інформації.

### Яке значення має регуляція активності генів для клітин?

**РЕГУЛЯЦІЯ АКТИВНОСТІ ГЕНІВ** – це складна сукупність молекулярних механізмів, завдяки яким клітини можуть збільшувати або зменшувати кількість функціональних продуктів експресії певних генів у відповідь на зміну зовнішніх умов. Життя будь-якої клітини визначається сукупністю її генів. Завдяки генам здійснюється будь-який прояв та будь-які зміни життєдіяльності на впливи чинників середовища. Клітина живе в змінних умовах середовища і має реагувати на ці впливи змінами своїх біохімічних процесів. Саме регуляція активності генів і забезпечує цю мінливість клітин без змін генотипу. А це, в свою чергу, зумовлює гнучкість властивостей живих систем і можливість пристосування до зміни умов середовища. Існує навіть наука про такі механізми – епігенетика.

**Епігенетика** – наука, що вивчає зміни експресії генів, зумовлені механізмами, не пов'язаними зі змінами послідовності нуклеотидів ДНК. Такі зміни можуть залишатися видимими впродовж декількох клітинних поколінь або навіть кількох поколінь живих організмів. Якщо генетика вивчає процеси, що ведуть до змін

у генах організмів, то епігенетика досліджує зміни активності генів, за яких структура ДНК залишається незмінною. Епігенетика вивчає процеси, що активують або пригнічують активність генів у відповідь на приймання їжі, фізичне навантаження, стрес тощо.



Іл. 94. Схема регуляції активності генів згідно з концепцією оперона

Вперше механізми зміни активності генів пояснили французькі науковці Ф. Жакоб і Ж. Моно у 1961 р. Вони запропонували концепцію оперона, згідно з якою на активність структурних генів у прокаріотичних клітинах впливає регуляторний ген, що відповідає за синтез регуляторних білків (іл. 94). Ці білки блокують транскрипцію, але з появою в клітині певного субстрату (наприклад, молочного цукру – лактози) вони інактивуються, що уможливує транскрипцію й утворення функціонального продукту. Цим продуктом є ферменти, що розщеплюють лактозу й сприяють її засвоєнню.

Найкращим прикладом епігенетичних змін для еукаріотичних клітин є процес **диференціації клітин**. Одна запліднена яйцеклітина – зигота ділиться й диференціюється в різні види клітин, які наявні в живому організмі. Це здійснюється шляхом активації одних генів та пригнічення інших, а гіпотеза, що пояснює ці зміни, називається **гіпотезою диференціальної активності генів**.

Отже, завдяки регуляції активності генів відбуваються відповідна пристосованість клітин та одноклітинних організмів до змінних умов середовища та диференціація клітин під час розвитку багатоклітинних організмів.

### Як регулюється активність генів в еукаріотичній клітині?

Клітини будь-якого еукаріотичного організму містять однакову генетичну інформацію, але під час їхнього розвитку вона реалізується вибірково. Одночасно усі гени, що є в геномі клітин, ніколи не «працюють», тобто активними усі гени водночас ніколи не бувають. Які ж механізми забезпечують регуляцію активності генів в еукаріотичних клітинах?

Регуляція активності генів згідно з концепцією оперона характерна лише для генів, розташованих у мітохондріях й пластидах. Система регуляції ядерних генів є набагато складнішою й різноманітнішою. Наявність ядра й нуклеосомної організації хроматину суттєво розширяє можливості регуляції. У еукаріотичних клітинах експресія генів регулюється на кожному з етапів – на рівні транскрипції, процесингу РНК, експорту РНК, трансляції й посттрансляційної модифікації білків. Найбільш універсальними епігенетичними механізмами регуляції є такі.

**Регуляція за участі малих РНК.** РНК-інтерференція – механізм регуляції, що здійснюється за допомогою малих (20 – 25 нуклеотидів) молекул РНК. Основними молекулами є маленькі ядерні РНК (мяРНК) та мікроРНК (мкРНК), які вже після транскрипції можуть вступати у взаємодію із комплементарними послідовностями іРНК та змінювати їхню активність.

**Регуляція шляхом метилювання.** Це найбільш досліджений механізм регуляції, пов'язаний із приєднанням метильної групи (CH<sub>3</sub>) до цитозину в складі нуклеотидів ДНК, що зазвичай пригнічує активність генів на рівні транскрипції.

**Регуляція на рівні хроматину.** Це найбільш універсальний спосіб регуляції за допомогою зміни стану хроматину впродовж життя клітини. Деконденсований еухроматин створює можливості для зчитування інформації з генів, а ущільнений конденсований гетерохроматин – блокує.

Отже, для еукаріотичних клітин характерні складні й різноманітні молекулярні епігенетичні механізми, що змінюють активність генів і не зачіпають первинної структури ДНК.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на формування пошукових умінь

Зіставте прізвища вчених у галузі біології із модельними організмами, яких вони використовували, та отримайте назву групи білків, необхідних для утворення хроматину. Дайте коротку характеристику цій групі білків. Як відбувається регуляція активності генів за їхньої участі?

1 Б. Мак-Клінток	Г Кукурудза
2 Г. Мендель	И Ацетабулярія
3 Т. Х. Морган	І Горох посівний
4 Д. Бідл і Е. Тейтум	Н Пес свійський
5 А. Флемінг	О Пеніцил позначений
6 І. П. Павлов	С Дрозофіла чорночерева
7 С. Бренер	Т Нейроспора густа



1	2	3	4	5	6	7

#### Біологія + Раціональне харчування. Фолієва кислота

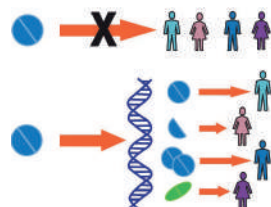
Нині науковцям уже відомо, що компоненти харчових продуктів чинять вплив на епігенетичні процеси. Майже всі жінки знають, що під час вагітності дуже важливо вживати достатню кількість фолієвої кислоти. Епігенетика допомагає зрозуміти важливість цього вітаміну в раціоні. Справа в тому, що фолієва кислота впливає на метилювання ДНК. Що таке фолієва кислота і яка її роль у метилюванні ДНК?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Медицина. Персоніфікована медицина.

На сьогодні домінантним (переважаючим) у діагностиці й лікуванні будь-яких захворювань є підхід, який ґрунтується на тому, що після встановлення діагнозу всі подальші зусилля лікаря спрямовано на лікування хвороби без урахування індивідуальних особливостей пацієнта. Але майбутнє за персоніфікованою медициною. Що таке персоніфікована медицина? Оцініть значення епігенетики у розвитку персоніфікованої медицини.





## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке гени? 2. Що таке регуляторні й структурні гени? 3. Що таке регуляція активності генів? 4. Що таке епігенетика? 5. Назвіть основний спосіб регуляції активності генів у прокаріотичних клітинах. 6. Назвіть найбільш універсальні механізми регуляції активності генів в еукаріотичній клітині.
7 – 9	7. Які організована діяльність генів? 8. Яке значення має регуляція активності генів для клітин? 9. Як регулюється активність генів в еукаріотичній клітині?
10 – 12	10. Обґрунтуйте значення епігенетики для розвитку медицини та профілактики захворювань.

*Каріотип – це кількість і вигляд хромосом в ядрі еукаріотичної клітини.*  
Вікіпедія

## § 40. Каріотип людини. Хромосомний аналіз

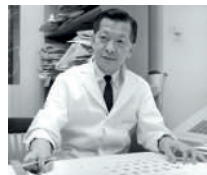
**Основні поняття й ключові терміни:** **КАРІОТИП ЛЮДИНИ. Хромосоми. Хроматин. ХРОМОСОМНИЙ АНАЛІЗ.**

**Пригадайте!** Що таке каріотип й хромосоми?



### Знайомтеся!

**Джо Хін Тіо** (1919–2001) – американський генетик, який уперше розпізнав нормальну кількість хромосом у клітинах людини. Ця подія відбулася 22 грудня 1955 р. в Інституті генетики Лундського університету в Швеції, куди науковець був запрошений для досліджень. До цієї дати вважалося, що в клітинах *Homo sapiens*, як і в шимпанзе та горили, є 48 хромосом.



### ЗМІСТ

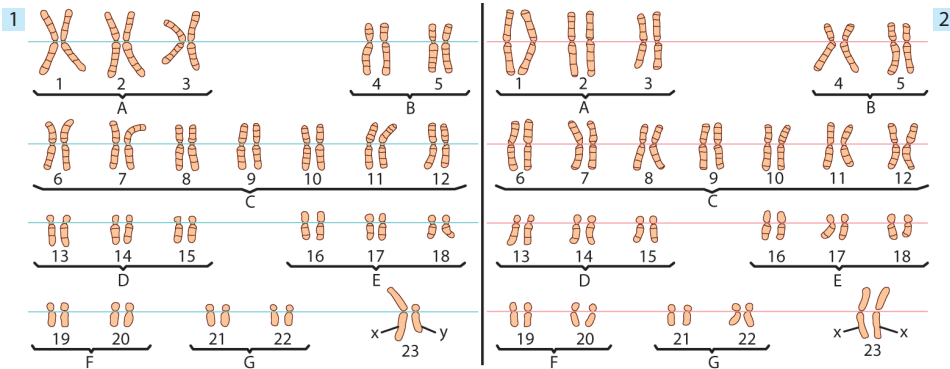
#### Які особливості каріотипу людини?

Каріотип людини характеризується за тими самими правилами, що й каріотиби еукаріотичних організмів. Це *специфічність, стабільність, парність, індивідуальність* та *наступність*. Для дослідження особливостей каріотипу людини її хромосоми розташовують у вигляді **ідіограми** (від грец. *ідіос* – своєрідний, *грама* – напис). Складання ідіограми, як і сам термін, запропоновано українським цитологом С. Г. Навашиним.

У 1960 р. було розроблено першу Денверську міжнародну класифікацію хромосом людини. У основу її було покладено особливості розмірів хромосоми та розташування центромери. В ідіограмі хромосоми розташовуються попарно у порядку зменшення розмірів (крім статевих хромосом). З цією метою вимірюють довжини хромосом у мікрометрах. Довжина хромосом коливається від 2,3 до 11,0 мкм. Визначають також співвідношення довжини короткого плеча до довжини всієї хромосоми. За формою, розмірами, перетяжками всі хромосоми людини поділяють на 7 груп; їх позначають латинськими літерами (*іл. 95*)

У нормі каріотип людини складається із 46 хромосом, з них 44 аутосоми (22 пари), що мають однакову будову в чоловічому й жіночому організмах, та одна

пара статевих хромосом (XY – у чоловіків і XX – у жінок). Хромосомна формула жіночого каріотипу – 44A+XX, чоловічого – 44+XY. Такий каріотип залишається незмінним упродовж усього життя. Відомо, що подвійна доза генних продуктів X-хромосоми є смертельною для організму. Через те в жіночих клітинах виник спеціальний механізм, що забезпечує постійне перебування однієї X-хромосоми в інактивованому стані у вигляді тільця Барра (або статевого X-хроматину). Вона інактивується ще в ранньому ембріогенезі до розвитку статевих залоз.



Іл. 95. Ідіограма людини: 1 – чоловіча стать; 2 – жіноча стать

Отже, **КАРІОТИП ЛЮДИНИ** – це кількісна й якісна видоспецифічна сукупність особливостей хромосомного набору соматичних клітин людини.

### Як організовані хромосоми в каріотипі людини?

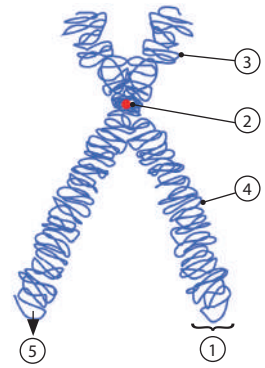
**Хромосоми** (від грец. *хроматос* – забарвлений, *сома* – тільце) – структури клітин еукаріотів, що забезпечують збереження, розподіл та передачу спадкової інформації. Ці матеріальні носії для передачі інформації наступному поколінню клітин формуються із хроматину перед поділом клітин. **Хроматин** (від грец. *хрома* – забарвлення) – комплекс ДНК з білками, що формує хромосоми. Основна частка в складі хроматину припадає на ДНК й ядерні білки-гістони, що утворюють дезоксирибонуклеопротеїнові комплекси. Нуклеопротеїновий комплекс з однією молекулою ДНК і є хромосомою. Наприклад, у клітинах людини є 46 хромосом, і відповідно, 46 молекул ДНК. Розрізняють два функціональні стани хроматину: еухроматин та гетерохроматин. Щільно упакований, або конденсований, хроматин називають **гетерохроматином**. ДНК гетерохроматину недоступна для транскрипції, і такий стан характерний для багатьох некодувальних ділянок або генів, експресія яких не потрібна в конкретному типі клітин. Якщо хроматин упакований нещільно, його називають деконденсованим хроматином, або **еухроматином**. У цьому стані він більш доступний для різноманітних ферментів і зазвичай є транскрипційно активним.

Основними рівнями організації хроматину в ядрі клітин є *нуклеосомний*, *нуклеомерний*, *хромомерний*, *хроматидний* та *хромосомний*. Цю багаторівневу структурованість забезпечують процеси спіралізації та конденсації. Їхні можливості вражають. Так, у людини довжина розкрученої ДНК найменшої хромосоми становить близько 14 000 мкм, а її довжина після ущільнення лише 2 мкм.

Хромосомний рівень організації хроматину виникає безпосередньо перед поділом клітин. Формуються однохроматидні хромосоми, що після реплікації

ДНК стають двохроматидними. Перед поділом у клітинах людини міститься 46 двохроматидних хромосом. *Хроматиди* (1) поєднуються в ділянці первинної перетяжки, де розташована *центромера* (2) – невелика ділянка, що поділяє хромосому на дві частини, утворюючи при цьому *довге плече* (4) і *коротке плече* (3) з теломерами (5) (іл. 96).

Отже, під час поділу хроматин конденсований у хромосоми, що їх чітко можна розгледіти навіть під світловим мікроскопом, тоді як у період інтерфази хроматин розслаблений і розділяється на еу- та гетерохроматин.

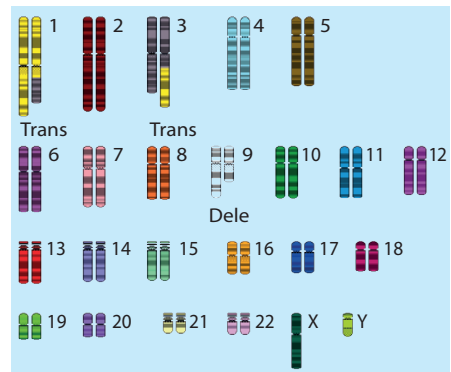


Іл. 96. Схема будови мітотичної хромосоми

### Яке значення хромосомного аналізу?

**ХРОМОСОМНИЙ АНАЛІЗ** – це дослідження й аналіз морфології, кількості й структури окремих хромосом або каріотипу в цілому. Дослідження хромосом є основою **цитогенетичного методу** дослідження спадковості. У людини найзручнішим об'єктом для аналізу є культивовані в спеціальному розчині лімфоцити периферійної крові (*метод культури клітин*). Під час виготовлення мікропрепаратів хромосом до культури клітин додають алкалоїд колхіцин, що зупиняє поділ клітини на стадії метафази. Потім клітини обробляють гіпотонічним розчином KCl, який відокремлює хромосоми одну від одної, після чого їх фіксують і фарбують. Завдяки такій обробці кожна хромосома стає видимою у світловому мікроскопі. Хромосоми на цій стадії складаються з двох хроматид і мають X-подібну форму. Кожна хромосома при застоюванні *методу класичного каріотипування* по своїй довжині диференціюється на темні та світлі смуги – диски. Послідовність розташування цих дисків, їх форма є специфічними для кожної хромосоми. Спеціаліст за допомогою комп'ютерної програми збирає хромосоми, зафіксовані на знімку, попарно й порівнює, чи всі смужки на місці, чи немає зайвих або відсутніх ділянок (іл. 97). *Метод спектрального каріотипування* дає змогу маркувати кожен із хромосом і водночас досліджувати увесь каріотип. Останнім часом у хромосомному аналізі для виявлення хромосомних мутацій використовують *метод флуоресцентної гібридизації*, який полягає у фарбуванні хромосом флуоресцентними барвниками, що зв'язуються зі специфічними ділянками хромосом.

За допомогою хромосомного аналізу в медичній генетиці досліджують каріотип людини в нормі й у разі патології, у філогенетиці вивчають деякі закономірності мутаційного та еволюційного процесів. Вимірювання довжини теломер на кінцевих ділянках хромосоми дає змогу спеціалістам-геронтологам оцінити швидкість процесу старіння організму людини, оскільки теломери



Іл. 97. Хромосомний аналіз каріотипу людини: класичне (з дисками) і спектральне (в кольорі) каріотипування з виявленими хромосомними мутаціями за 1, 3 і 9-тою парами хромосом

зменшуються з кожним поділом клітин. У судовій медицині хромосомний аналіз застосовують для визначення статевої належності крові.

Отже, виявлення порушень у структурі каріотипу засноване на вивченні хромосом людини в нормі й у разі патології.



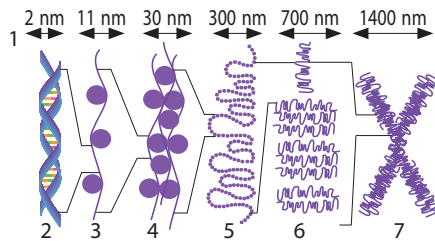
## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з ілюстрацією. Організація хроматину

Зіставте рівні організації хроматину із позначеннями на ілюстрації та заповніть у робочому зошиті таблицю. Поясніть, яким чином створюється дуже високий рівень ущільнення хромосом, що досягає 7 000 – 10 000 разів.

**Таблиця. ХАРАКТЕРИСТИКА РІВНІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ХРОМАТИНУ**

Рівень організації хроматину	Позначення	Процеси й рівень ущільнення



## Біологія + Антропогенез

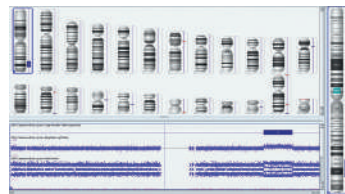
**Шимпанзе карликовий**, або бонобо (*Pan paniscus*), – вид людиноподібних мавп з родини гомінідів. Живуть бонобо в тропічних лісах Центральної Африки на невеликій території між річками Конго і Луалаба. Чисельність становить лише близько 10 тисяч особин. Бонобо став широко відомим науці в 1960-х роках і поки залишається маловивченим видом. Доведіть за допомогою цитогенетичного методу, що шимпанзе карликовий є найближчим до Людини розумної з нині існуючих видів тварин.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Медицина. Хромосомний паспорт

Хромосомний аналіз є основою стандартного каріотипування, що пропонується медичними лабораторіями й центрами для оцінювання репродуктивного здоров'я подружніх пар. Такі цитогенетичні дослідження отримали назву «хромосомного паспорта». Яка інформація відображена в хромосомному паспорті? Висловіть свої судження щодо значення хромосомного аналізу для профілактики спадкових хвороб людини.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке каріотип людини? 2. Якою є хромосомна формула каріотипу жінки й чоловіка? 3. Що таке хромосоми? 4. Що таке хроматин? 5. Що таке хромосомний аналіз? 6. Назвіть галузі застосування хромосомного аналізу.
7 – 9	7. Які особливості каріотипу людини? 8. Як організовані хромосоми в каріотипі людини? 9. Яке значення хромосомного аналізу?
10 – 12	10. Яке значення хромосомного аналізу для профілактики спадкових хвороб людини?

## § 41. Геном людини

Основні поняття й ключові терміни: **ГЕНОМ ЛЮДИНИ. Геноміка.**

Пригадайте! Що таке геном?



### Поміркуйте!

Міжнародний документ «Загальна декларація про геном людини і права людини» одногосно прийнято Генеральною конференцією ЮНЕСКО на її 29-й сесії 11 листопада 1997 р. У вступній частині документа зазначається: «...Наукові дослідження щодо геному людини і практичне застосування їхніх результатів відкривають безмежні перспективи для поліпшення здоров'я окремих людей і всього людства...». Що таке геном людини і яке значення мають його дослідження?



### ЗМІСТ

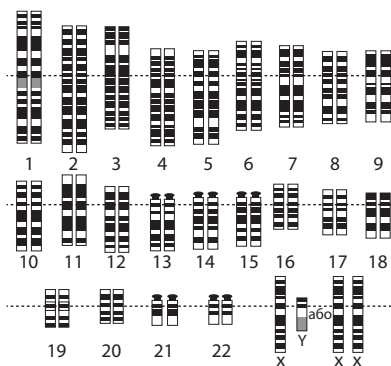
#### Які найзагальніші особливості геному людини?

**ГЕНОМ ЛЮДИНИ** – сукупність усіх генів і міжгенних проміжків молекул ДНК людини, що містяться в ядрі й мітохондріях клітини. Геном людини має значну подібність до інших еукаріотичних геномів, а саме: мозаїчний принцип будови кодувальної частини, наявність функціональних та нефункціональних послідовностей ДНК, надлишковість нефункціональних послідовностей ДНК та ін. У той же час геном людини має низку особливостей (іл. 98).

Геном людини утворений ядерною та мітохондріальною ДНК. Мітохондріальний геном представлений кільцевою молекулою ДНК розміром близько 16 500 пар нуклеотидів, яка містить 37 генів. Більшість із них відповідають за кисневий етап клітинного дихання.

Ядерний геном людини складається з 22 пар аутомосом і двох статевих хромосом (X та Y). Залежно від розмірів та морфології хромосоми людини поділено на 7 груп (A, B, C, D, E, F, G). Найбільшою за розмірами є хромосома 1, що належить до групи A (рівноплевої хромосоми). Її молекула ДНК має майже 248 млн пар основ, що становить близько 8 % всього матеріалу ДНК людської клітини. На сьогодні вважається, що в 1-й хромосомі міститься 3 511 генів. Найменшою є хромосома 21, про що свідчить кількість нуклеотидів в її складі – 47 млн пар, або 1,5 %. Хромосома 21 належить до групи G (центромери розташовані на кінцях хромосом), і у ній є від 300 до 400 генів.

Загальні розміри ядерних молекул ДНК людини становлять близько 3,2 млрд пар нуклеотидів. У геномі людини кількість білкових генів дорівнює 21 тис. й генів РНК – 4 тис. Загальна довжина кодувальних ділянок генів дорівнює 34 млн пар

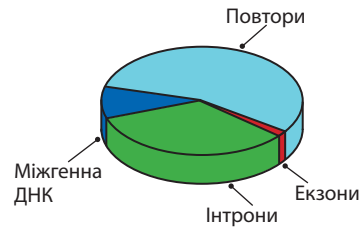


Іл. 98. Геном людини в нормі



нуклеотидів і становить 1,2 % геному. Кількість генів людини не є найбільшою (наприклад, у миші хатньої 22 000, у нематоди (*Caenorhabditis elegans*) – 20 000), але в людини є *альтернативний сплайсинг*, що дає змогу клітинам отримувати різні білки з одного гена.

Характерною особливістю геному людини є низький відносний вміст екзонів (1,5 %) й інтронів (близько 34 %) (іл. 99). Для порівняння в геномі нематоди (*Caenorhabditis elegans*) 27 % припадає на екзони і 26 % – на інтрони. Серед повторів високим вмістом характеризуються генетичні мобільні елементи (наприклад, ДНК-транспозони), що можуть переміщуватися в геномі. Окрім того, близько 1 % геному людини займають вбудовані гени ретровірусів (родина РНК-вмісних вірусів).



Іл. 99. Відносний вміст послідовностей різних типів у геномі людини

Отже, найзагальнішими особливостями геному людини є ядерний та мітохондріальний компоненти, особлива хромосомна організація, незначна кількість функціональних генів і висока надлишковість нефункціональних послідовностей.

### Якими є основні напрями досліджень геному людини?

**Геноміка** – наука, що вивчає закономірності організації та функціонування геному. В сучасній геноміці виокремлюють низку напрямів, серед яких пріоритетними є структурний, функціональний, порівняльний, біоінформативний.

Предметом **структурної геноміки** є секвенування геномів і створення їх карт. Для цього у 1990 р. був розпочатий міжнародний проект «Геном людини». У 2003 р. проект в основному завершився. Головною метою проекту було визначення точної послідовності нуклеотидів у молекулах ДНК кожної хромосоми. Крім того, потрібно було одержати генетичні карти хромосом з інформацією про наявність та розташування генів, а також про те, як гени визначають ті або інші ознаки організму. Адже багато ознак залежать від декількох генів, часто розташованих у різних хромосомах.

**Функціональна геноміка** досліджує особливості експресії та взаємодії генів у нормі та в разі патологій. Важливим її напрямом є вивчення біологічних функцій продуктів активності генів – РНК та білків. Починаючи з 2003 р. понад 400 учених із Великої Британії, США, Іспанії, Сингапуру, Японії працювали над проектом «Енциклопедія елементів ДНК» (*Encode*), що мав на меті встановити призначення усіх нефункціональних частин геному. У рамках цього дослідження виявилось, що його «зайві» частини регулюють активність інших генів. Крім того, науковці виокремили клас генів-«перемикачів» – ділянок ДНК, що вмикають або вимикають у клітинах певні гени.

Порівняння структури та функціонування геному людини з геномами різних особин і видів є предметом **порівняльної геноміки**. Дані із секвенування уможливають виявлення індивідуальних особливостей геномів. Встановлено, що будь-які дві людини мають ідентичні послідовності нуклеотидів і подібні на 99,5 %. І лише 0,5 % зумовлюють індивідуальні відмінності – колір очей, ріст, особливості темпераменту, схильність до захворювань та ін. Наявність однакових

ділянок у геномах різних видів дає змогу встановити філогенетичні зв'язки між ними чи прогнозувати функції генів. Так, науковці виявили подібність регуляторних елементів людини й риби фугу, але геном риби має набагато меншу кількість нефункціональної ДНК, що значно полегшує пошук й вивчення цих регуляторних елементів.

**Біоінформативний** напрям досліджень геному спрямований на одержання високоякісних нуклеотидних послідовностей геномів із фрагментів, отриманих за допомогою традиційних методів секвенування ДНК. Основу цього напряму становлять комп'ютерні методи аналізу послідовностей ДНК, РНК та білків.

Отже, основними напрямками досліджень геному людини є структурний, функціональний, порівняльний та біоінформативний.

### Яке значення досліджень геному людини?

Знання геному людини відкриють нові шляхи для діагностування та лікування спадкових хвороб у **медицині**. На сьогодні вже описано гени, відповідальні за такі захворювання, як хвороба Альцгеймера, муковісцидоз, шизофренія. Найдієвішим способом лікування була б заміна дефектного гена на нормальний із застосуванням методів генотерапії. Ще одним важливим результатом досліджень геному людини є виявлення генів, що визначають схильність до алкоголізму, наркоманії або інших набутих хвороб. Це дасть змогу здійснювати ранню діагностику й профілактику хвороб.

Відомим фактом є те, що ліки можуть зумовлювати різну реакцію в різних людей. Фармацевтичні компанії вже планують використовувати дослідження геному для розвитку **персоніфікованої медицини й фармакогенетики**.

Аналіз подібності в послідовностях ДНК різних організмів відкриває нові можливості для філогенетичних досліджень у **систематиці й еволюційній біології**.

Вивчення різноманіття людського геному в різних видів роду Людина, різних етнічних груп виду Людина розумна дасть змогу отримати нові дані щодо закономірностей історичного розвитку в **антропології**. Варіабельність геному людини сприяла появі нового напряму геноміки – **етногеноміки**, яка своїми дослідженнями сприяє розвитку етнографії, історії, археології, лінгвістики. Ще одним цікавим напрямом геноміки є **палеогеноміка**, що займається вивченням давніх ДНК, отриманих із викопних решток. Так, дослідження ДНК з кісток неандертальців виявили, наприклад, нездатність їхніх організмів перетравлювати лактозу.

Отже, дослідження геному людини відкриває безмежні перспективи для багатьох галузей діяльності людини, але при цьому вони не мають стати основою для приниження людської гідності й нехтування правами людини або окремих груп людей.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з таблицею

За допомогою таблиці визначте особливості геному людини. Заповніть у робочому зошиті таблицю та сформулюйте висновок про причини відмінностей геному людини.

**Таблиця. ОСОБЛИВОСТІ ГЕНОМУ ЛЮДИНИ**

Ознака	Особливості
Розташування ДНК	
Організація хромосом	
Кількість пар основ	
Кількість генів	
Співвідношення екзонів та інтронів	
Ознаки подібності до геномів інших еукаріотів	

### **Біологія + Наука. Генوم людини**

**Проект «Геном людини»** вартістю в 3 млрд доларів був запущений в 1990 р. Міністерством енергетики США й Інститутом охорони здоров'я. Окрім США до міжнародного консорціуму ввійшли генетики Китаю, Франції, Німеччини, Японії й Великої Британії. Чому для реалізації проекту було поєднано зусилля багатьох науковців? Чому на емблемі проекту «Геном людини» названо такі науки, як біологія, хімія, фізика, етика, інформатика та інженерія?



#### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія+ Відкриття. Добові ритми й експресія генів**

Лауреатами Нобелівської премії в галузі фізіології і медицини 2017 р. стали троє американських учених – Д. Холл, М. Розбаш та М. Янг. Дослідники виявили гени, що контролюють добові біоритми і пояснили модель їх регуляції, що ґрунтується на принципі зворотного зв'язку між білками й інтенсивністю експресії генів: накопичення білка гальмує їхній синтез і навпаки. На прикладі цього відкриття оцініть наукове значення досліджень геному людини.



Джеффри Холл

Майкл Розбаш

Майкл Янг



#### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке геном людини? 2. Наведіть приклади особливостей геному людини. 3. Що таке геноміка? 4. Яка головна мета проекту «Геном людини»? 5. Наведіть приклади практичного застосування результатів дослідження геному людини. 6. Назвіть галузі застосування знань про геном людини.
7 – 9	7. Які найзагальніші особливості геному людини? 8. Якими є основні напрями досліджень геному людини? 9. Яке наукове й практичне значення досліджень геному людини?
10 – 12	10. Чому на емблемі проекту «Геном людини» названо такі науки, як біологія, хімія, фізика, етика, інформатика та інженерія?

## § 42. Генетика людини

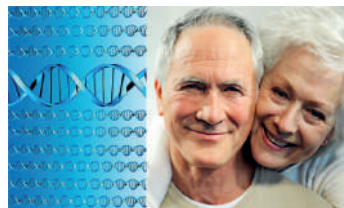
**Основні поняття й ключові терміни:** ГЕНЕТИКА ЛЮДИНИ. Людина розумна.

**Пригадайте!** Що таке генетика?



### Поміркуйте!

Середня тривалість активного життя людини безперервно зростає. Наприклад, в багатьох країнах Європи середня тривалість життя становить 76 років для чоловіків і 81 рік – для жінок. Це на 30 років більше, ніж століття тому. Якщо нинішня тенденція збережеться, половина дітей, народжених після 2000 р., доживе до ста, а окремі і й до ста п'ятдесяти років. А яку роль у цій тенденції відіграє генетика людини як наука?

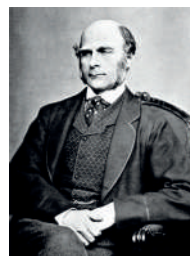


### ЗМІСТ

#### **Яке значення має генетика людини як наука?**

**ГЕНЕТИКА ЛЮДИНИ** – біологічна наука, що досліджує особливості спадковості й мінливості людини. Усі основні загальні закономірності спадковості, що їх встановлено для тварин і рослин, справедливі й для людини. Однак у Людини розумної є соціальні й біологічні особливості, що зумовили виокремлення генетики людини як самостійної науки.

Вагомий внесок у розвиток генетики людини зробив англійський біолог **Ф. Гальтон** (іл. 100). Аналізуючи спадковість ряду сімей, учений дійшов висновку, що особливості людини зумовлені не лише умовами середовища, а й спадковістю. Сучасний етап розвитку антропогенетики характеризується стрімким зростанням обсягу знань про молекулярну будову генетичного матеріалу та механізми мутагенезу. Свідченням таких успіхів є реалізація міжнародної програми «Геном людини».



Іл. 100. Ф. Гальтон (1822–1911)

Генетика людини має різні напрями, що розвинулися в самостійні галузі. *Медична генетика* вивчає спадкові хвороби, розробляє методи діагностики, лікування й профілактики. *Цитогенетика* вивчає хромосоми людини, їх структурно-функціональну організацію, картування, розробляє методи хромосомного аналізу. *Популяційна генетика* досліджує генетичну структуру людських популяцій, частоту зустрічальності алелів і генотипів, оцінює генетичні наслідки забруднення довкілля. *Біохімічна генетика* вивчає шляхи реалізації генетичної інформації від гена до ознаки. Розробка системи захисту генофонду людей від йонізуючої радіації – одне з основних завдань *радіаційної генетики*. *Імунологічна генетика* вивчає генетичну зумовленість імунологічних ознак організму, імунних реакцій. *Фармакологічна генетика* досліджує генетичну зумовленість реакцій окремих людей на лікарські засоби та дію останніх на спадковий апарат.

Підґрунтям для вивчення закономірностей спадкування в людини стало дослідження спадкових хвороб, яких нині описано вже близько 9 000 (онкологічних, серцево-судинних, психічних тощо).

Отже, генетика людини є основою біології людини; вона досліджує подібність й відмінності між людьми на різних рівнях організації життя.

### **Які особливості людини як об'єкта генетичних досліджень?**

**Людина розумна** – біосоціальний вид, на історичне становлення якого вплинули біологічні й соціальні чинники антропогенезу. Дослідження людини як генетичного об'єкта пов'язане з певними труднощами, але має й свої переваги.

1. **Неможливість експериментальних схрещувань** у штучних умовах. Не можна відбирати батьків із потрібними генотипами та одержувати й аналізувати їхніх нащадків. У разі генетичного аналізу стосовно людини зникає можливість застосування основи гібридологічного методу.

2. **Пізня статевая зрілість і довга тривалість генерацій** – для зміни одного покоління в людини потрібно 20 – 30 років, що утруднює аналіз успадкування.

3. **Невелика кількість нащадків**, у той час як проведення статистичного аналізу розщеплення ознак потребує достатньо великої кількості нащадків від однієї пари батьків. Для розв'язування цієї проблеми ведуть пошук багатодітних родин або добирають потрібну кількість невеликих сімей, у яких спостерігається ознака, що цікавить дослідника.

4. **Відсутність чистих ліній** і неможливість їхнього отримання є ще однією об'єктивною причиною, яка утруднює аналіз успадкування ознак.

5. **Велика кількість хромосом (груп зчеплення)**. Хромосомний набір людини складається з 23 пар хромосом і, відповідно, 23 груп зчеплення. Велика кількість хромосом утруднює їхнє генетичне й цитологічне картування, особливо за допомогою методів класичної генетики.

6. **Неможливість створення стандартних умов існування** для різних груп індивідуумів значно утруднює вивчення успадкування багатьох ознак людини. Навколишнє середовище чинить величезний вплив на формування низки ознак, однак цей вплив не може змінюватися за бажанням дослідника.

Незважаючи на вказані проблеми, людина як генетичний об'єкт має також ряд важливих переваг: існує великий масив даних щодо анатомії, фізіології та біохімії людини; існує можливість спілкування з об'єктом дослідження, що полегшує отримання інформації про його родичів і допомагає досліджувати ознаки, пов'язані з відчуттями, емоціями, інтелектом; практично повністю встановлено геном людини.

Отже, генетичні дослідження людини пов'язані з низкою труднощів й переваг, зумовлених її біосоціальною природою.

### **Якими є зв'язки та основні методи досліджень у генетиці людини?**

Генетика людини тісно співпрацює з іншими біологічними (еволюційна біологія, антропологія, геронтологія, біохімія, цитологія, молекулярна біологія) й небіологічними (фізика, хімія, географія, математика) науками. Результати досліджень генетики людини застосовуються у медицині, екології, психології, спорті, педагогіці, криміналістиці, філософії, соціології тощо. Водночас потреби генети-

ки людини стимулюють розвиток сучасних напрямів загальної генетики, молекулярної біології, біотехнології та ін.

Методи, що їх використовують у генетиці людини, принципово не відрізняються від загальноприйнятих для інших об'єктів – це генеалогічний, близнюковий, цитогенетичний, популяційно-статистичний, біохімічний, дерматогліфічний, молекулярно-генетичні, онтогенетичний та багато інших.

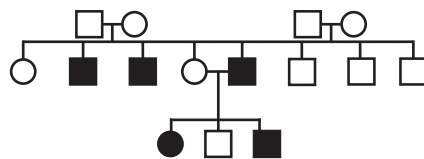
**Генеалогічний метод** полягає у вивченні людських родоводів. Це дає змогу визначити та простежити характер успадкування ознак у ряді поколінь (іл. 101).

**Близнюковий метод** полягає у вивченні монозиготних близнят (організмів, які походять з однієї зиготи) та порівнянні їх з дизиготними близнятами. Досліджуючи такі організми, можна з'ясувати вплив чинників довкілля на прояви генотипу.

**Цитогенетичний метод** заснований на мікроскопічному вивченні хромосом. Метод дає змогу вивчати стандартний каріотип людини, а також виявляти спадкові хвороби, спричинені геномними і хромосомними мутаціями.

**Біохімічний метод** допомагає визначити певні речовини (переважно ферменти) з метою діагностування спадкових хвороб. Дослідження є дуже трудомісткими, потребують спеціального обладнання, тому їх не використовують для масових популяційних досліджень.

**Популяційно-статистичний метод** дає змогу аналізувати поширення спадкових хвороб людини та прогнозувати їх частоту в наступних поколіннях, оцінювати наслідки споріднених шлюбів, визначати вплив чинників на мінливість людини.



Іл. 101. Родовід сім'ї, в якій трапляється альбінізм

Отже, серед усіх живих організмів людина – найцікавіший і найскладніший генетичний об'єкт, тому для дослідження використовують різні методи й можливості інших наук.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота на зіставлення

Зіставте методи генетики людини із їхнім визначенням та отримайте термін, яким позначають вчення про спадкове здоров'я людини та шляхи його поліпшення. Підготуйте повідомлення про це вчення, що стало одним із розділів генетики людини.

1	Генеалогічний	А	Вивчення прояву ознаки в процесі індивідуального розвитку
2	Близнюковий	В	Дослідження ролі спадковості та середовища в прояві ознаки
3	Цитогенетичний	Г	Для дослідження каріотипу людини
4	Популяційний	Е	Вивчення генетичної структури видових груп
5	Біохімічний	Є	Вивчення родоводів людини
6	Дерматогліфічний	І	Ґрунтується на вивченні рельєфу шкіри на пальців, долонях
7	Молекулярно-генетичні	К	Уможливають вивчення організації генетичного апарату
8	Онтогенетичний	Н	Засновані на вивченні метаболізму

## Біологія + Дактилоскопія. Дерматогліфіка

Єгипетська синь – здавна відома синя фарба для живопису, являє собою подрібнене мідне скло. Для її приготування сплавляють пісок із крейдою, содою й купрум(II) оксидом. Нещодавні дослідження виявили, що яскраво-синій порошок має ще одну властивість, яка робить його ідеальним для зняття відбитків пальців. Що таке дерматогліфічний метод? У яких галузях метод застосовується найширше?



### СТАВЛЕННЯ

## Біологія + Географія. Проект «Генографія»

З 2005 р. реалізується міжнародний проект «Генографія», що займається дослідженням мітохондріальної (мтДНК) та Y-хромосом населення на території Землі з метою складання детального генетичного атласу народів світу та вивчення давніх міграцій людей. Що таке геногеографія та яке практичне значення проекту «Генографія»? Висловіть судження щодо необхідності зв'язків генетики людини з іншими науками.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке генетика людини? 2. Що таке євгеніка? 3. Чому людина є біосоціальним видом? 4. Наведіть приклади особливостей людини як генетичного об'єкта. 5. З якими науками найтісніше «співпрацює» генетика людини? 6. Назвіть основні методи генетики людини.
7 – 9	7. Яке значення має генетика людини як наука? 8. Назвіть особливості людини як об'єкта генетичних досліджень. 9. Якими є зв'язки та основні методи досліджень у генетиці людини?
10 – 12	10. Чому Людина розумна є особливим й цікавим об'єктом генетичних досліджень?

## § 43. Успадкування ознак у людини

Основні поняття й ключові терміни: **УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК.**

**Пригадайте!** Що таке спадковість?



### Поміркуйте!

У народі ямочки на щоках називають «міткою щастя» і «поцілунком ангела». Зазвичай ямочки з'являються на обох щоках, але в деяких випадках западинка виникає тільки з одного боку. Вони можуть бути різної форми, розміру і глибини. Вчені стверджують, що це генетична особливість, як і колір очей чи форма рота. А як успадковуються ямки на щічках?



### ЗМІСТ

**Чим розрізняються моногенне й полігенне успадкування ознак людини?**

**УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК** – це передача генетичної інформації на рівні клітин чи цілісного організму від батьків дітям або від предків нащадкам. Всі ознаки організму людини проявляються під дією одного або багатьох генів, тому за цим критерієм розрізняють моно- і полігенне успадкування.

**Моногенне успадкування** – це успадкування ознак, що контролюються алелями одного гена. Так успадковуються якісні ознаки, що чітко виявляються у фенотипі й мають контрастні (альтернативні) прояви, що їх легко відрізнити. Наприклад, у людини моногенно успадковуються ямки на щічках або ямка на підборідді. Фенотиповий прояв цієї ознаки визначається доміnantним геном, а мінливість ямок на щічках залежить від особливостей будови виличного м'яза й м'яза сміху, що беруть участь у формуванні посмішки людини. Тобто прояв якісних ознак залежить, як правило, від одного чинника, тому моногенне успадкування називають ще *монофакторним*. За моногенного успадкування мають місце взаємодії алельних генів.



Але частіше за все буває, що відразу кілька генів відповідають за прояв тієї чи іншої ознаки.

**Полігенне успадкування** – успадкування ознак, прояв яких визначається взаємодією кількох або багатьох неалельних генів (іл. 102). Науково доведено, що для людини ступінь прояву таких ознак, як колір шкіри, волосся, очей, ступінь розумового розвитку, ріст, залежить від діяльності відразу багатьох генів й багатьох чинників навколишнього середовища. Так, у людини ріст визначають 5 пар полімерних неалельних генів. На ріст різнона-



Іл. 102. Приклади моногенного (форма волосся) і полігенного (забарвлення шкіри) успадкування в людини



прямлени впливають фізична активність, склад їжі, шкідливі звички тощо. Вони можуть зміщувати ступінь прояву росту в позитивний, або негативний бік, тому полігенне успадкування називають ще *поліфакторним*. Полігенно успадковуються *кількісні ознаки*, що, як правило, є мінливішими за якісні. Для них немає чітко розмежованих фенотипових класів, і під час аналізу таких ознак спостерігаються поступові малопомітні переходи між особинами.

Отже, успадкування ознак у людини здійснюється за участі домінантних й рецесивних, алельних та неалельних генів, розташованих у хромосомах ядра або мітохондріях цитоплазми.

### Якими є основні типи успадкування ознак у людини?

За характером прояву кількісних та якісних ознак виокремлюють домінантне та рецесивне успадкування. За **домінантного успадкування** спостерігається пригнічення одного алеля іншим, внаслідок чого домінантний стан ознаки проявляється в кожному поколінні. Успадкування, за якого один із алельних генів повністю пригнічує прояв іншого у фенотипі нащадків, називається **повним домінуванням** (наприклад, темне волосся в людини). Якщо ж домінантні алелі лише частково переважають над рецесивними, наслідком чого є поява проміжного прояву ознаки, то спостерігається **неповне домінування** (наприклад, успадкування форми волосся в людини: кучеряве – домінантний прояв, пряме – рецесивний, хвилясте – проміжний). Є ще **кодомінування**, за якого спостерігається вияв обох алелів гена за одночасної наявності їх у гетерозигот. Наприклад, четверта група крові ( $I^A I^B$ ) за системою АВО є результатом взаємодії двох домінантних алелів  $I^A$  й  $I^B$ . За **рецесивного успадкування** стан ознаки передається спадково, але пригнічується і не проявляється у гетерозиготних нащадків (наприклад, світле волосся, блакитні очі).

Гени, що визначають кількісні й якісні ознаки людини, розташовані в хромосомах; їх поділяють на аутосоми та статеві хромосоми (гоносоми). Залежно від цього критерію розрізняють аутосомне й зчеплене зі статтю успадкування. Успадкування ознак, яке здійснюється за участі генів хромосом, що є подібними у чоловічих й жіночих організмів, називається **аутосомним**. Таким чином успадковується в людини колір очей або резус-фактор. Успадкування ознак, що здійснюється за участі генів статевих хромосом, називається **зчепленим зі статтю**. Оскільки статевими є X- та Y-хромосоми, виокремлюють X- та Y-зчеплені типи успадкування.

Поєднання видів успадкування за характером прояву ознак і розташуванням генів у хромосомах, дає змогу виокремити типи успадкування. Для людини характерні усі основні типи успадкування ознак – аутосомно-домінантний, аутосомно-рецесивний, зчеплений зі статтю домінантний, зчеплений зі статтю рецесивний. У підручниках з генетики людини або медичної біології виокремлюють ще голандричний (Y-зчеплений) та мітохондріальний типи успадкування, але ми ознайомимося лише з основними.

Отже, основними типами успадкування ознак у людини є аутосомно-домінантний, аутосомно-рецесивний, зчеплений зі статтю домінантний, зчеплений зі статтю рецесивний.

## Як визначити тип успадкування ознаки в людини?

Універсальним методом, який уможливорює визначення типу успадкування ознак, є метод складання та аналізу родоводів.

Для родоводу, в якому спостерігається **ауто-сомно-домінантне** успадкування ознаки, характерними є наявність носіїв домінантного прояву ознаки в кожному поколінні та однакова частота прояву ознаки серед чоловіків і жінок, що вказує на розташування гена в аутосомі (ил. 103). За аутосомно-домінантним типом успадковуються зелені очі, короткозорість, довгі вії, наявність ре-зус-фактора.

У родоводах з **аутосомно-рецесивним** успадкуванням характерними є наявність поко-ління, у яких рецесивний прояв не спостерігається, а також однакова частота прояву ознаки серед чоловіків і жінок (ил. 104). За аутосомно-рецесив-ним типом передаються блакитні очі, нормаль-ний зір, короткі вії, відсутність ре-зус-фактора, альбінізм.

**X-зчеплене домінантне** успадкування ха-рактеризується різною частотою прояву ознаки серед чоловіків і жінок (серед жінок вона трапля-ється частіше) і тим, що ознаку батька успадко-вують всі доньки і ніколи – сини. За таким типом передаються темна емаль зубів, рахіт, не чутли-вість до вітаміну D (ил. 105).

За **X-зчепленого рецесивного** успадкування прояв ознаки траплятиметься майже виключно у чоловіків, ознака ніколи не передаватиметься від батька до сина, а тільки до онука через доньку. Таке успадкування характерне для дальтонізму, гемофілії (ил. 106).

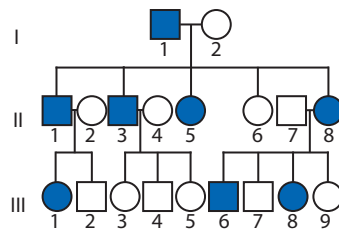
Отже, для визначення типу успадкування ознаки найчастіше застосовують метод складання й аналізу родоводів.



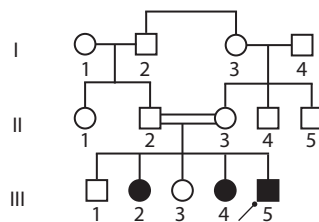
### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з таблицею

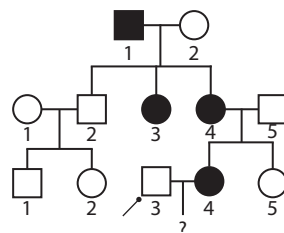
За допомогою таблиці порівняйте моногенне та полігенне успадкування ознак у людини. Зробіть висновок про подібність та відмінності цих видів успадкування ознак.



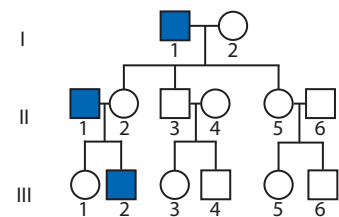
Ил. 103. Аутосомно-домінантний тип успадкування



Ил. 104. Аутосомно-рецесивний тип успадкування



Ил. 105. X-зчеплений домінантний тип успадкування



Ил. 106. X-зчеплений рецесивний тип успадкування

**Таблиця. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МОНО- Й ПОЛІГЕННОГО УСПАДКУВАННЯ**

Ознака порівняння	Моногенне успадкування	Полігенне успадкування
Участь генів		
Види ознак за фенотиповим проявом		
Особливості фенотипових проявів		
Назва за характером впливу чинників середовища		
Визначальні види взаємодії генів		

## Біологія + Генеалогія

### Складання схеми родоводу

**Завдання 1.** Для складання родоводів користуються стандартними позначеннями. Визначте сутність основних умовних позначень для роботи зі схемами родоводів.



**Завдання 2.** Ознайомтесь із правилами, що допоможуть скласти схему родоводу: 1) особа, родовід якої складається, називається пробандом; її на схемі позначають стрілкою; 2) осіб жіночої статі позначають кружечком, осіб чоловічої – квадратиком; символи особин із проявом досліджуваної ознаки – затоновують; 3) кожному поколінню виділяють окремий рядок, на якому зліва направо в ряд розміщують членів родини в порядку народження; 4) символи осіб, які перебувають у шлюбі, з'єднують лінією; 5) послідовні покоління позначають римськими цифрами, нащадків одного покоління – арабськими.

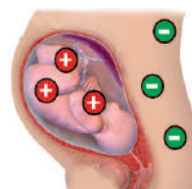
**Завдання 3.** Створіть схему родоводу за умовою задачі. «Пробанд – дівчинка, яка має симпатичні ямки на щоках. Брат і сестра її – ямок не мають. Мати дівчинки також має ямки на щоках, а батько – ні. У матері дівчинки два брати, один із них – з ямками, другий – ні. Бабуся пробанда за материнською лінією – з ямками, а дід – ні. Які генотипи усіх членів сім'ї?». Визначте характер успадкування ознаки.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Медицина. Резус-фактор

Система «Резус» була відкрита у 1940 р. К. Ландштейнером і О. Вінером за допомогою крові макаки-резус. Вагітним жінкам із резус-негативною кров'ю (за умови, якщо їхній чоловік є резус-позитивним) рекомендовано проведення профілактики антирезус D-імуноглобуліном у терміні 28 – 30 тижнів вагітності. А як успадковується резус-фактор?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке моно- й полігенне успадкування? 2. Наведіть приклади моногенних й полігенних ознак у людини. 3. Назвіть основні типи успадкування ознак у людини. 4. Наведіть приклади ознак, що успадковуються за цими типами. 5. Що таке аутозомне успадкування? 6. Що таке зчеплене зі статтю успадкування?
7 – 9	7. Чим різняться моногенне й полігенне успадкування ознак людини? 8. Якими є основні типи успадкування ознак у людини? 9. Як визначити тип успадкування ознаки у людини?
10 – 12	10. На конкретному прикладі доведіть значення знань про типи успадкування ознак у людини.

*Зчеплені гени, що локалізовані в одній хромосомі, успадковуються разом і не виявляють незалежного розподілу.  
Закон Морган*

## § 44. Зчеплене успадкування. Позахромосомна спадковість у людини

**Основні поняття й ключові терміни:** ЗЧЕПЛЕНЕ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК. Зчеплене зі статтю успадкування ознак. Цитоплазматичне успадкування ознак.

**Пригадайте!** Що таке успадкування ознак?



### Поміркуйте!

Т. Х. Морган схрещував дрозофіл і спостерігав за успадкуванням великої кількості їхніх ознак. Аналіз результатів допоміг дійти висновку, що деякі ознаки передаються нащадкам разом. Через те Морган припустив, що гени, які визначають ці «поєднані» ознаки, не розкидано по всій клітині, а зібрано в особливих острівцях. Через те виходило, що всі спадкові ознаки дрозофіл поділяються на чотири групи. Поясніть, чому.



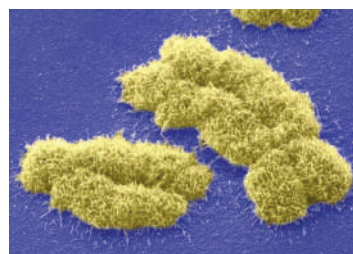
### ЗМІСТ

#### **Скільки груп зчеплення є в людині?**

**ЗЧЕПЛЕНЕ УСПАДКУВАННЯ** – спадкування генів, що містяться в одній хромосомі. А саме явище розташування генів в одній хромосомі назвали зчепленням генів. Усі гени однієї хромосоми передаються спадково разом й утворюють одну групу зчеплення. Оскільки в гомологічних хромосомах розташовуються однакові гени, групу зчеплення утворюють дві гомологічні хромосоми. Тому кількість груп зчеплення відповідає кількості пар гомологічних хромосом, або кількості хромосом гаплоїдного набору. Таким чином, у людини налічують 23 групи зчеплення у представників жіночої статі і 24 групи зчеплення у представників чоловічої статі (22 аутосоми та дві статеві хромосоми X й Y) (іл. 107).

У людини аналіз груп зчеплення класичними методами неможливий внаслідок відсутності можливостей експериментальних схрещувань. Для картування хромосом людини найчастіше застосовували метод аналізу родоходів і метод гібридизації соматичних клітин (переважно з клітинами миші). На сьогодні відомі усі 24 групи зчеплення. У людини зчеплено успадковуються резус-фактор й овальна форма еритроцитів (1-ша хромосома), групи крові за системою АВ0 й синдром дефекту нігтів і колінної чашечки (19-та хромосома).

Найповніше побудовано карту X-хромосоми, у якій близько 1400 генів; з них білок-кодувальних – 841. Найвідомішими ознаками, за яких гени розташовані в групі зчеплення з X-хромосомою, є гемофілія й дальтонізм.



Іл. 107. Статеві хромосоми X і Y людини

Група зчеплення Y-хромосоми є набагато меншою за обсягом і має близько 90 генів, білок-кодувальними з яких є 23. Найвідомішими генами Y-хромосоми є гени надмірного оволосіння вušних раковин (гіпертрихоз), рогових лусок на шкірі (іхтіоз), а найважливішим – ген *SRY* (від англ. *sex determining region Y* – ділянка Y-хромосоми, що визначає стать), що є ключовим геном розвитку організму за чоловічим типом. Невеликий обсяг Y-хромосоми і поступова втрата нею генів спонукали окремих учених заявити, що в майбутньому вона взагалі зникне. Однак молекулярно-генетичні дослідження показали, що процес «зношення» чоловічої хромосоми зупинився, і вона залишається стабільною упродовж останніх 25 млн років. Ця стабільність походить із життєво важливого осередка Y-хромосоми із 12 генів, які не мають нічого спільного з визначенням статі чи розвитком чоловічої статевої системи. Вони «відповідають» за такі функції, як синтез білків і регуляція транскрипції інших генів.

Наявність у людини явища зчеплення ознак надає надзвичайно важливу інформацію для виявлення та діагностики спадкових захворювань. З високою вірогідністю можна передбачити генотипи та фенотипи синів і дочок подружжя, якщо батько, мати або обоє мають ознаки, що успадковуються зчеплено.

Отже, у людини розрізняють 23 групи зчеплення (жіноча стать) або 24 групи зчеплення (чоловіча стать).

### Які особливості зчепленого зі статтю успадкування ознак у людини?

**Успадкування, зчеплене із статтю** – це успадкування ознак, гени яких розташовані в статевих хромосомах. У людини виокремлюють три групи генів статевих хромосом, які успадковуються по-різному: гени розташовані тільки в X-хромосомі, гени розташовані тільки в Y-хромосомі, і гени, наявні в обох статевих хромосомах. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю, має свої певні особливості, які відрізняють його від інших типів успадкування:

- ознаки, гени яких локалізовані в X-хромосомі, успадковуються чоловіками й жінками;
- якщо рецесивний алельний ген зчеплений з X-хромосою, то в жіночій статі він проявляється лише в гомозиготному стані, а в чоловічій – завжди;
- ознаки, зчеплені з Y-хромосою, успадковуються лише представниками чоловічої статі.

Однією із найвідоміших ознак, що успадковується зчеплено зі статтю, є **дальтонізм** – нездатність розрізняти червоний і зелений кольори. Виникає внаслідок дефекту в генах X-хромосоми, що визначають розвиток колбочок сітківки, чутливих до цих кольорів. Інший приклад рецесивних, зчеплених зі статтю ознак, – **гемофілія**, що проявляється в порушенні зсідання крові.

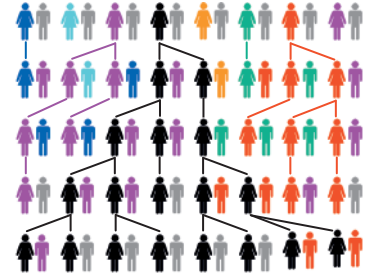
Розглянемо для прикладу успадкування дальтонізму. Встановлено, що цей прояв ознаки визначає рецесивний алель, локалізований у X-хромосомі. Якщо чоловік з дальтонізмом ( $X^dY$ ) одружується з гомозиготною жінкою з нормальним колірним зором ( $X^DX^D$ ), то вірогідність появи дальтонізму серед нащадків дорівнює нулю. Всі нащадки за фенотипом матимуть нормальний колірний зір, але в генотипі дочок буде наявний рецесивний алель.

Отже, успадкування, зчеплене зі статтю, має особливості, що визначаються розташуванням генів у статевих хромосомах.

## Чим визначається цитоплазматичне успадкування людини?

**Позахромосомна (цитоплазматична) спадковість** – спосіб збереження й передачі генетичної інформації за допомогою органел цитоплазми, здатних до самовідтворення. У клітинах людини є органели, що містять власну ДНК й власні гени. Це мітохондрії, що містять інформацію про ферменти й регулюють клітинний метаболізм. На відміну від сталої кількості ДНК у складі хромосом кількість ДНК мітохондрій може змінюватися з віком залежно від умов середовища, активності тощо.

Оскільки мітохондрії містяться в цитоплазмі клітин, то, очевидно, успадкування їхніх генів матиме якісь особливості. Особливості цього успадкування зумовлені передусім тим, що гамети різних статей мають різну кількість мітохондрій. Найчастіше яйцеклітина містить тисячі мітохондрій, а сперматозоон – одиниці. Окрім того, мітохондрія чоловічої гаметі взагалі не потрапляє в яйцеклітину під час запліднення. У результаті в зиготі переважають мітохондрії яйцеклітини. Цитоплазматична спадковість має материнський характер – успадковуються і виявляють себе лише гени, що містяться в цитоплазмі яйцеклітини (іл. 108). Дітям передаються виключно мітохондрії матері, у результаті чого чоловіки та жінки можуть мати відповідну ознаку, але тільки жінки передають її своїм дітям.



Іл. 108. Материнський характер цитоплазматичного успадкування в людини

Оскільки мітохондріальна ДНК належить тільки одному з батьків, то рекомбінаційних змін, властивих для ядерної ДНК у мейозі, немає, отже, немає й комбінаційної мінливості. Нуклеотидна послідовність зазнає змін від покоління до покоління тільки за рахунок мутацій, що відбуваються в десяток разів інтенсивніше, ніж у ядерній ДНК. Наприкінці ХХ ст. виник новий розділ медицини – мітохондріальна патологія. Класичними проявами мітохондріальних хвороб вважаються міопатії та енцефалопатії.

Останнім часом мітохондріальну ДНК використовують в популяційних дослідженнях, вирішенні питання поширення *Homo sapiens* на планеті та походження людських рас, походження і генетичної структури окремих етносів і популяцій.

Отже, **цитоплазматичне (позаядерне, позахромосомне) успадкування** – це успадкування генів, що визначається їхнім розташуванням у цитоплазматичних структурах.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота

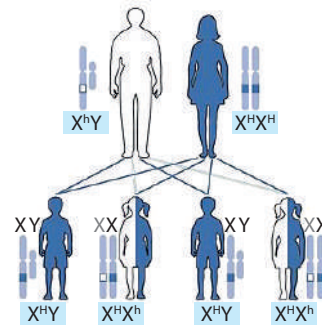
**Розв'язування типових вправ з генетики. Успадкування, зчеплене зі статтю**

**Вправа 1.** Дальтонізм – рецесивний прояв ознаки, ген якої розташований в Х-хромосомі. Яких дітей можна очікувати від шлюбу: а) чоловік з нормальним кольорним зором, жінка з геном дальтонізму в генотипі; б) чоловік з дальтонізмом, жінка з нормальним кольоровим зором; в) чоловік з дальтонізмом, жінка з геном дальтонізму в генотипі.

**Вправа 2.** Чоловік з дальтонізмом одружується з жінкою з нормальним колірним зором, батько якої був з дальтонізмом. Яким буде зір у їхніх дітей?

### Біологія + Спадкові захворювання

Здорова за фенотипом жінка, у матері якої був дальтонізм, а в батька – гемофілія, одружена з чоловіком, який має обидва захворювання. Визначте ймовірність народження в цій сім'ї дітей, які також матимуть обидві ці хвороби (іл. 109). Який тип успадкування цих захворювань?



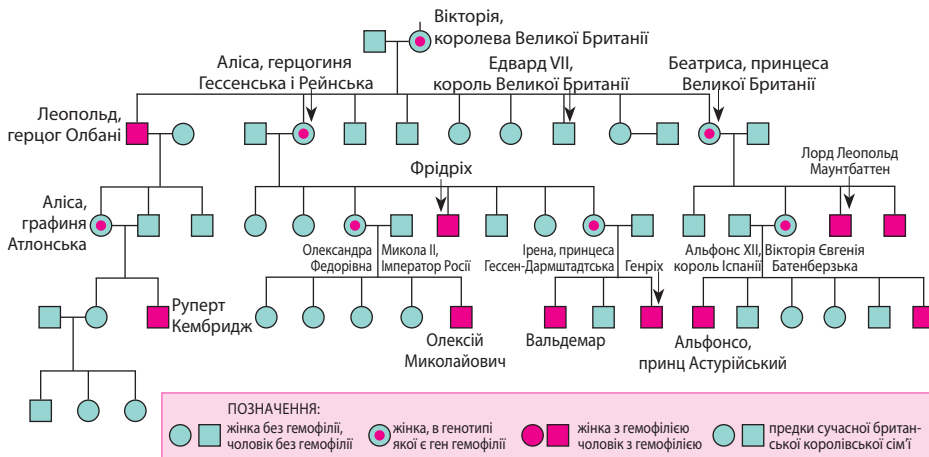
Іл. 109. Схема успадкування гемофілії в сім'ї, де батько з гемофілією, а мати з нормальним зсіданням крові



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Історія. Успадкування гемофілії

Прикладом генеалогічного дерева, у якому простежується зчеплене зі статтю успадкування гемофілії, є родовід англійської королеви Вікторії, у генотипі якої був ген цього захворювання. Через нащадків королеви Вікторії гемофілія передалась у королівські родини не тільки Великої Британії, а й Іспанії та Росії. Що таке гемофілія? За допомогою схеми визначте тип успадкування гемофілії й поясніть, чому гемофілію називають «царською хворобою».



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке зчеплене успадкування? 2. Наведіть приклади ознак, що успадковуються зчеплено в людини. 3. Що таке зчеплене зі статтю успадкування ознак? 4. Наведіть приклади ознак, що успадковуються зчеплено зі статтю в людини. 5. Що таке цитоплазматичне успадкування? 6. Наведіть приклади цитоплазматичного успадкування ознак.
7 – 9	7. Скільки груп зчеплення в людини? 8. Які особливості зчепленого зі статтю успадкування ознак у людини? 9. Чим визначається цитоплазматичне успадкування?
10 – 12	10. На конкретному прикладі доведіть важливість вивчення зчепленого успадкування ознак.

## § 45. Закономірності мінливості людини

**Основні поняття й ключові терміни:** МІНЛИВІСТЬ. Модифікаційна мінливість. Мутаційна мінливість. Комбінаційна мінливість.

**Пригадайте!** Що таке мінливість? Що таке неспадкова й спадкова форми мінливості?



### Ваша думка

Однояйцеві близнята є генетично однорідними, у них подібна й життєва програма. Навіть якщо діти були розлучені відразу після народження, згодом виявляється, що в них однакові смаки й захоплення, вони приблизно в тому самому віці одружуються, у них народжуються діти однієї статі (наприклад, сини), і вони дають їм близькі за звучанням імена. А як між ними виникають відмінності?



### ЗМІСТ

#### Які молекулярні механізми мінливості?

**МІНЛИВІСТЬ** – здатність організмів набувати нових ознак, що спричиняють відмінності між особинами в межах виду. Розрізняють дві основні форми мінливості – спадкову й неспадкову. Причинами спадкової мінливості є зміни структури або діяльності генетичного апарату, а причинами неспадкової – вплив умов середовища.

Таблиця 5. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМ МІНЛИВОСТІ

Ознака	Неспадкова	Спадкова
Виникнення	Зміни фенотипу	Пов'язана зі зміною генотипу
Загальні властивості	Тимчасовість, масовість, спрямованість, визначеність, «присотсувальність»	Сталість, індивідуальність, неспрямованість, невизначеність, відсутність «присотсувальності»
Причини	Зміни умов середовища	Вплив чинників середовища й внутрішні природні механізми (мейоз, запліднення)
Процеси, що є основою	Зміни експресії генів, диференціальна активність генів	Зміни генетичного апарату шляхом мутацій, рекомбінацій ДНК
Значення для особин	Адаптація до умов середовища, підвищення життєздатності	Нейтральне, шкідливе, пригнічення життєдіяльності
Види	Модифікаційна, онтогенетична	Комбінаційна, мутаційна
Закономірності	Статистичні	Закон гомологічних рядів спадкової мінливості

Молекулярними механізмами неспадкової мінливості є зміни експресії генів. Відбувається це завдяки процесам регуляції активності генів на рівні транскрипції, процесингу, трансляції і післятрансляційної модифікації білків.

Основними механізмами спадкової мінливості є мутації та рекомбінації. Мутації можуть відбуватися в статевих й соматичних клітинах, на рівні генів,



хромосом, кількості хромосом. Упродовж життя можуть проявлятися мутації соматичних клітин, а генеративні мутації – у нащадків.

Роль форм мінливості для організмів є різною. Із спадковою мінливістю пов'язана поява нових ознак упродовж життя, а неспадкова – забезпечує індивідуальний розвиток і пристосування організмів до умов середовища, що змінюються. Нові набуті ознаки є іноді шкідливими, що призводять до захворювань (наприклад, онкологічних).

Отже, мінливість пов'язана зі змінами генотипу й фенотипу на молекулярному рівні, тому виокремлюють спадкову й неспадкову її форми.

### Які закономірності модифікаційної мінливості людини?

**Модифікаційна мінливість** – це форма неспадкової мінливості, що пов'язана зі змінами фенотипу внаслідок впливу умов існування. Модифікаційні зміни ознак не успадковуються, але їх норма реакції, тобто діапазон мінливості, є спадковою і визначається генотипом. Модифікаційна мінливість, як правило, має доцільний характер, відповідає умовам існування і є пристосувальною. Виникнення модифікацій пов'язане з тим, що умови середовища впливають на ферментативні реакції, що відбуваються у організмі і певним чином змінюють їх хід. Як приклад пристосувальних модифікацій розглянемо механізм утворення пігменту меланіну. За його вироблення відповідають чотири гени, що розташовані в різних хромосомах. Під дією ультрафіолетового випромінювання з клітин шкіри (кератиноцитів) вивільнюються в міжклітинний простір особливі мікроРНК. Це зумовлює активацію та посилення біосинтезу ферменту тирозинази, що каталізує окиснення амінокислоти тирозину й подальше утворення меланіну.

При дослідженні модифікацій виявляються закономірності, що мають статистичний характер.

- *Різні ознаки мають різний розмах норми реакції. **Норма реакції** – межі модифікаційної мінливості ознаки, що визначаються генотипом. Межі норми реакції зумовлені генотипом, але прояв ознаки в межах норми реакції змінюється під дією умов середовища.*
- *Будь-яка ознака може змінюватись лише в певних межах. Гени визначають не готові прояви ознак, а норму реакції ознаки.*
- *Більшість організмів мають варіанти, близькі до середнього значення. Це пояснюється тим, що поєднання лише сприятливих або несприятливих умов трапляється рідко.*
- *На розмах модифікаційної мінливості впливають зовнішні та внутрішні умови. Чим одноріднішими є зовнішні умови розвитку даних особин, тим меншою мірою проявляється модифікаційна мінливість.*

Отже, закономірності модифікаційної мінливості є статистичними, тому що проявляються при дослідженні багатьох варіантів її чи іншої ознаки.

### Яке значення спадкової мінливості для людини?

**Комбінаційна мінливість** – це форма спадкової мінливості, яка виникає завдяки перерозподілу генетичного матеріалу в нащадків. За комбінаційної мінливості успадковуються нові поєднання генів, а самі гени не змінюються.

Причиною виникнення проявів комбінаційної мінливості є гомологічна та негомологічна **рекомбінації ДНК**. Джерелами комбінаційної мінливості є: 1) кросинговер; 2) незалежне розходження гомологічних хромосом при мейозі; 3) випадкове злиття гамет під час запліднення. Завдяки незалежному та одночасному здійсненню цих процесів виникає велика різноманітність генотипів. **Гомологічна рекомбінація** – це процес обміну нуклеотидними послідовностями між гомологічними хромосомами або ланцюгами ДНК. Цей тип рекомбінації використовується клітинами для виправлення пошкоджень ДНК, утворення нових комбінацій генів під час мейозу, перенесення мобільних генетичних елементів, горизонтального перенесення генів між різними клітинами. **Негомологічна рекомбінація** – це процес обміну нуклеотидними послідовностями між негомологічними хромосомами або ланцюгами ДНК. Прикладом такої рекомбінації є випадкове вбудовування вірусних або бактеріальних фрагментів ДНК у ДНК клітин людини.

**Мутаційна мінливість** – це форма спадкової мінливості, що пов'язана зі змінами генотипу внаслідок мутацій. Цю мінливість зумовлюють зміни генотипу особин на рівні генів, хромосом і кількості хромосом. Виникають мутаційні зміни під дією внутрішніх та зовнішніх чинників. Мутаційні зміни генотипу зумовлюють появу ознак, що можуть мати різне значення. Більшість мутацій, що проявляються в організмі, мають шкідливий характер, оскільки знижують пристосованість до умов середовища (наприклад, гемофілія). Серед проявів мутаційної мінливості є й нейтральні прояви ознак, що не впливають на пристосованість, але за певних змін середовища існування можуть виявитися корисними (наприклад, гетерохромія очей у людини) (іл. 110). Мутаційні зміни можуть мати й адаптивне значення, забезпечуючи пристосування до умов середовища. Саме мутаціями зумовлений поліморфізм людських популяцій: різні пігментація шкіри, колір очей, форма носа, вух тощо.



Іл. 110. Гетерохромія (різне забарвлення очей) як нейтральна мутація

Отже, спадкова мінливість забезпечує генетичну різноманітність особин і є джерелом появи нових ознак.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Лабораторна робота 2

#### Вивчення закономірностей модифікаційної мінливості

**Мета:** формувати дослідницькі уміння визначати закономірності модифікаційної мінливості, будувати варіаційний ряд, варіаційну криву, визначати середнє значення ознаки.

**Обладнання і матеріали:** ростомір чи готові дані для аналізу.

#### Хід роботи

1. Вибираємо ознаку для дослідження і визначаємо сукупність спостережень кількісної ознаки, тобто **вибірку**.

- Визначаємо діапазон мінливості ознаки, тобто **норму реакції**. Визначаємо характер успадкування ознаки (кількісна або якісна, моногенне або полігенне успадкування).
- Обчислюємо частоту зустрічальності варіант ознаки. Результати записуємо в таблицю і складаємо **варіаційний ряд**.



### Варіаційний ряд для аналізу росту

Окремі варіанти, $v$	145–149	150–154	155–159	160–164	165–170	171–174	175–179	180–184
Кількість спостережень, $p$								

- Будуємо **варіаційну криву**.
- Визначаємо середнє значення ознаки. Для характеристики мінливості ознаки обчислюють її середнє значення ( $M$ ) за формулою:

$$M = \sum (v \cdot p) / n,$$

де  $M$  – середнє значення ознаки;  $v$  – варіанта ознаки;  $p$  – частота зустрічальності варіанти;  $n$  – загальна кількість варіант.

- Підсумок роботи.

### Біологія + Казка

У казці Івана Липи «Близнята» є такі рядки: «Діти-близнята підростали. Перший змалечку був балакучим, веселим, допитливим, його завжди можна було бачити серед людей, бо він не любив самотності. Другий був мовчазним, спокійним, замисленим. Любив цілими днями сидіти на березі моря, милуватися далекими горами, купати погляд у небесній блакиті». Застосуйте свої знання та поясніть, про яких близнят йдеться – монозиготних чи дизиготних. Які молекулярні механізми відмінностей між цими близнятами?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Наука. Близнюковий метод

Близнюковий метод дає змогу встановити вплив генотипу та умов середовища на формування певної ознаки. У близнюкових дослідженнях використовуються як монозиготні, так і дизиготні близнята. Чим вони різняться між собою? Оцініть значення наукових досліджень близнят для розуміння природи мінливості в людини?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке мінливість? 2. Які є форми мінливості? 3. Що таке неспадкова мінливість? 4. Наведіть приклади модифікаційної мінливості в людини. 5. Що таке спадкова мінливість? 6. Наведіть приклади комбінаційної та мутаційної мінливості в людини.
7 – 9	7. Назвіть молекулярні механізми мінливості. 8. Які закономірності модифікаційної мінливості людини? 9. Яке значення спадкової мінливості для людини?
10 – 12	10. Оцініть значення близнюкового методу для вивчення мінливості людини.

## § 46. Мутації та їхні властивості

Основні поняття й ключові терміни: **МУТАЦІЇ. Мутагенез.**

**Пригадайте!** Що таке мутації?



### **Знайомтеся!**

**Гуго де Фріз** (1848–1935) – нідерландський ботанік, генетик. Перевідкрив і підтвердив у 1900 р. одночасно з К. Корренсом та Е. Чермаком закони Г. Менделя. Ввів у науку поняття про мутації та розробив мутаційну теорію. Модельним організмом для його досліджень стала рослина **енотера Ламарка** (*Oenothera lamarckiana*).



### **ЗМІСТ**

#### **Як класифікують мутації?**

**МУТАЦІЇ** (від лат. *mutatio* – зміна) – *стійкі зміни генетичного апарату, що виникають раптово і призводять до змін тих або інших спадкових ознак й функцій організму.* Мутації можна класифікувати за характером прояву, за місцем виникнення, за характером змін спадкового апарату, за походженням тощо.

За характером прояву мутації поділяють на домінантні й рецесивні. Більшість з них є рецесивними й не проявляються в гетерозигот. **Домінантні мутації** – це мутації, що проявляються у гомо- і гетерозиготного організму та з'являються вже в першому поколінні. Наприклад, полідактилія, або багатопалість, є мутацією, що успадковується за аутосомно-домінантним типом. **Рецесивні мутації** – це мутації, що не проявляються у гетерозигот і з'являються тільки в другому і наступних поколіннях. Так, у людини рецесивний характер має така мутація, як альбінізм.

За впливом на життєдіяльність розрізняють летальні, сублетальні та нейтральні. **Летальні мутації** спричиняють загибель організмів ще до моменту народження або до настання здатності до розмноження. У людини до таких мутацій належить гемофілія. Мутації, які знижують життєздатність особин і частково або повністю зупиняють розвиток, називаються **сублетальними**. Якщо ж мутації за звичних умов не впливають на життєздатність організмів, то їх називають **нейтральними**.

За місцем виникнення мутації класифікують на соматичні та генеративні. **Соматичні мутації** виникають в соматичних диплоїдних клітинах, часто не передаються спадково й обмежені тією особою, в якій виникли. Наприклад, у людини соматичними мутаціями є спадкова гетерохромія очей або пухлинне переродження клітин. Мутації, що виникли в гаметах чи клітинах, з яких вони утворюються, і передаються нащадкам у випадку їхньої участі в заплідненні, називають **генеративними мутаціями**.

За характером змін спадкового апарату мутації бувають генними, хромосомними та геномними. Генні мутації – стійкі зміни окремих генів, спричинені порушенням послідовності нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот.

Ці мутації виникають внаслідок випадіння певних нуклеотидів, появи зайвих, зміни порядку їх розташування. Генними мутаціями в людини є полідактилія, альбінізм. Хромосомні мутації – це мутації, що виникають у результаті перебудови хромосом. Вони можуть виникати як в межах однієї хромосоми, так і між гомологічними й негомологічними хромосомами. Прикладом хромосомних мутацій є синдром «котячого крику» (46,5–), гострий лейкоз (46,21–). **Геномні мутації** – це мутації, що пов'язані зі зміною кількості наборів хромосом. Основними видами геномних мутацій є: збільшення кількості хромосомних наборів (**поліплоїдія**), зменшення кількості хромосомних наборів, зміна числа хромосом окремих пар (**анеуплоїдія**). Прикладами геномних мутацій є синдром Дауна (47, 21+) в людини.

Отже, причиною мутаційної мінливості є мутації, що класифікують за різними критеріями.

### Чому виникають мутації?

Джерелом мутацій є перебудови нуклеотидних послідовностей ДНК, що виникають у результаті: 1) модифікацій молекули ДНК під час рекомбінацій; 2) помилок під час реплікації й репарації; 3) інтеграції чужорідної (наприклад, вірусної) ДНК; 4) шкідливої дії речовин-метаболітів (наприклад, води,  $H_2O_2$ ); 5) переміщення генетичних мобільних елементів; 6) порушень цілісності хромосом та їх кількості.

Пошкодження ДНК, що є причиною мутацій, виникають внаслідок впливу зовнішніх та внутрішніх чинників, які називають мутагенами, а процес утворення мутацій – мутагенезом. Мутагенні чинники за джерелом впливу поділяють на **екзогенні** (наприклад, радіація, екзотоксини організмів) та **ендогенні** (наприклад, помилки реплікації, репарації, рекомбінації), а за природою впливу – на **фізичні** (гамма-промені, ультрафіолетове випромінювання, температура), **хімічні** (пестициди, антибіотики, сполуки важких металів) та **біологічні** (віруси грипу, чиста ДНК, антигени мікроорганізмів, «стрибаючі гени» та ін.).

**Мутагенез** – процес виникнення мутацій під дією зовнішніх і внутрішніх чинників. Здатність мутувати притаманна всім формам життя на Землі, вона є основою мінливості. Мутагенез, що відбувається під дією природних чинників (природний радіаційний фон, екстремальні високі чи низькі температури), – це **природний (спонтанний) мутагенез**, а самі мутації, що виникають, називають спонтанними. Якщо мутації спричинено дією штучних мутагенів, то йдеться про **штучний (індукований) мутагенез**. Наприклад, радіоактивні викиди й відходи, випромінювання гаджетів, діоксини, пестициди, штучно синтезовані антибіотики тощо. Індукований мутагенез у сучасних популяціях людини відбувається інтенсивно.

Поява мутацій у клітинах людини є нормальним природним явищем із природною частотою, яка оцінюється в  $10^4$ – $10^6$  в одній клітині за добу. Переважна частка цих пошкоджень видалається системами репарації, і тільки невелика кількість залишається у вигляді мутацій, що можуть бути шкідливими, нейтральними й іноді адаптивними.

Отже, мутації виникають внаслідок перебудови нуклеотидних послідовностей ДНК під дією внутрішніх та зовнішніх чинників.

## Якими є основні біологічні антимутаційні механізми?

Мутагени в сучасних умовах супроводжують людину всюди: накопичуються у фруктах й овочах, утворюються під час приготування їжі, входять до складу косметичних та лікарських засобів, препаратів побутової хімії, наявні у вихлопних газах автомобілів і промислових викидах. Люди контактують з ними під час роботи за комп'ютером або телефонної розмови. Збільшення частоти появи шкідливих мутацій у людини пов'язано із збільшенням концентрації у довкіллі мутагенів, ростом кількості населення та послабленням імунної стійкості людини.

Для захисту від шкідливих мутагенних впливів усі живі організми мають біологічні антимутаційні механізми. У людини вони реалізуються здебільшого на молекулярному, клітинному та організмовому рівнях.

На молекулярному рівні відбувається *репарація ДНК* – сукупність процесів, за допомогою яких клітина знаходить й виправляє пошкодження. Основними видами репарації є *вірзальна* та *рекомбінаційна*. Ще одним важливим молекулярним механізмом є *виродженість генетичного коду*. Одну амінокислоту можуть кодувати декілька різних триплетів, завдяки чому випадкова зміна одного триплету не завжди супроводжується зміною структури білка. На рівні генів існують свої механізми, як-то *повторюваність багатьох генів* у геномі, *наявність інтронів*, що є пастками для мутацій та ін.

На клітинному рівні захист від мутагенів забезпечує *апоптоз*. Це запрограмована загибель соматичних клітин, що спостерігається в разі закінчення терміну життя клітини, а також у разі різних захворювань. Апоптоз не допускає мутантні клітини до поділу й збереження мутації в організмі. У клітинах організму існує *SOS-система*, що її відкрив у 1975 р. М. Радман. Ця система вмикається, якщо пошкоджені ДНК стає забагато і виникає загроза життю клітини. SOS-система активує групи генів, що зумовлюють захисну відповідь на пошкодження ДНК.

На рівні організму антимутаційний захист здійснює *імунна система*, яка розпізнає клітини з мутаціями й за участі специфічних речовин і клітин їх іммобілізує та розщеплює. Знешкодження хімічних мутагенів в організмі людини може відбуватися завдяки процесам біотрансформації. Найактивніше такі процеси відбуваються в печінці за участі спеціальних рецепторів й ферментів.

Отже, біологічні антимутаційні механізми реалізуються на молекулярному, клітинному та організмовому рівнях.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота

#### Розв'язування вправ на мутації

**Вправа 1.** Визначте, які з наведених змін є в людини мутаціями (А), а які – модифікаціями (Б): а) рахіт; б) засмага на сонці; в) альбінізм; г) підвищення кількості еритроцитів у крові людини у високогірних умовах; д) гемофілія; е) фенілкетонурія.

**Вправа 2.** В одній із популяцій тварин кількість хромосомних мутацій становить близько 7 на 1 000 новонароджених. Обчисліть частоту виникнення хромосомних мутацій у даній популяції. (Частоту мутацій можна обчислити за формулою:  $P_m = M / 2N$ , де  $P_m$  – частота появи мутацій;  $M$  – кількість виявлених мутантних фенотипів;  $N$  – загальна кількість обстежених організмів.)

**Вправа 3.** У результаті мутації на ділянці гена – ГГЦ ТГТ ЦАЦ АЦТ АГГ ЦАА – відбулося заміщення в третьому триплеті: замість аденіну виявлено цитозин. Запишіть амінокислотний склад поліпептиду до мутації і після неї.

**Вправа 4\*.** Яка зміна кодувального ланцюга ДНК – АГГ ТГА ЦТЦ АЦГ АТТ – більшою мірою вплине на первинну структуру білка: випадіння одного першого нуклеотиду з другого триплету або випадіння усього другого триплету? Запишіть відповідні ділянки білкових молекул у нормі та після мутаційних змін у гені.

## Біологія + Наука. Таутомерія нітратних основ

**Ольга Броварець** (нар. 1986) – старша наукова співробітниця Інституту молекулярної біології і генетики НАН України в Києві, яка захистила докторську дисертацію «Мікроструктурні механізми виникнення спонтанних точкових мутацій» й на початку 2016 р. стала наймолодшим доктором наук України. Згідно з її дослідженнями, одним із джерел мутаційних змін є «мутагенна таутомеризація нітратних основ». Цікаво, а чи зможете ви розібратися в суті цієї наукової сентенції? Що таке таутомерія?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Здоров'я. Тютюнокуріння як мутагенний чинник

Серед звичок виокремлюють найшкідливіші: це наркоманія, алкоголізм, токсикоманія й тютюнокуріння. Шкідливі звички перешкоджають людині розвиватися як розумово, так і фізично, можуть спричиняти мутації. Обґрунтуйте судження щодо шкідливих звичок (наприклад, тютюнокуріння) як мутагенних чинників.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке мутації? 2. Наведіть приклади мутацій у людини. 3. Що таке мутагенез? 4. Назвіть основні джерела мутацій. 5. Назвіть основні антимутаційні механізми в людини. 6. Наведіть приклади антимутаційних механізмів на різних рівнях організації організму людини.
7 – 9	7. Як класифікують мутації? 8. Чому виникають мутації? 9. Якими є основні біологічні антимутаційні механізми?
10 – 12	10. Обґрунтуйте судження щодо шкідливих звичок як мутагенних чинників.

## § 47. Захист геному людини від шкідливих мутагенних впливів

Основні поняття й ключові терміни: **МУТАГЕНИ. Антимутагени.**

**Пригадайте!** Що таке мутації?



### Знайомтеся!

**Сергій Михайлович Гершензон** (1906 – 1998) – видатний український учений у галузі молекулярної біології та генетики, академік АН УРСР, один із засновників Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, автор гіпотези мутагенної дії екзогенної ДНК як потужного чинника впливу на мінливість та адаптацію живих систем.



### ЗМІСТ

#### **Які механізми шкідливого впливу мутацій?**

**МУТАГЕНИ** – це чинники, які можуть спричиняти мутації. Для того щоб чинник був мутагеном, він має легко проникати в клітини, зберігати їхнє життя та впливати на гени й хромосоми. За природою цих впливів мутагени поділяють на фізичні, хімічні й біологічні.

Серед **фізичних мутагенів** найбільше значення має йонізуюче випромінювання (рентгенівське, ультрафіолетове, гамма-промені). Проникаючи в клітини, промені руйнують водневі зв'язки між нуклеотидами, вибивають електрони із зовнішньої оболонки атомів або молекул, унаслідок чого виникають високоактивні **вільні радикали**. Це атоми чи молекули з неспареним електроном на орбіталях, що мають високу хімічну активність, зумовлену наявністю вільних валентностей. Вони порушують структуру білків, у молекулах ДНК виникають розриви, з'являються хромосомні й генні мутації. До фізичних мутагенів належать також *фотони світла, підвищена або знижена температура* тощо.

**Хімічні мутагени** було відкрито пізніше за фізичні. Значний внесок у їхнє вивчення зробила українська школа генетики, очолювана академіком С. М. Гершензоном. Нині відомо багато хімічних мутагенів. Це *гідроген пероксид, нітратна кислота, формальдегід, хлороформ, іприт*. Одним із наймасовіших мутагенів є *бензпірен*, що утворюється під час згоряння бензину чи горіння нікотину. Навіть мінімальні дози цієї речовини чинять канцерогенний та мутагенний вплив. До хімічних мутагенів належать також *пестициди, деякі лікарські препарати* (антибіотики з протипухлинною дією, хінін, андрогени), *важкі метали* (кадмій, ртуть, свинець), *деякі харчові добавки*. Мутагенний вплив чинить й відомий алкалоїд *колхіцин*, що руйнує веретено поділу та призводить до подвоєння числа хромосомних наборів у клітині. До небезпечних хімічних мутагенів віднесено *азбест та діоксини*, які утворюються внаслідок термічної переробки органічної сировини або хлорування під дією високих температур. Механізм шкідливих впливів аналогічний опроміненню, але дія є більш специфічною й тривалішою.



До **біологічних мутагенів** належать віруси (наприклад, кіру, краснухи, грипу), токсини гельмінтів, грибів-паразитів, цвілевих грибів (наприклад, афлатоксини аспергілів) отруйних рослин й тварин. У клітинах, уражених вірусами, мутації спостерігають значно частіше, ніж у здорових. Віруси вносять власну генетичну інформацію в геном клітини, змінюючи структуру генів.

Отже, мутагенами є зовнішні або внутрішні, фізичні, хімічні й біологічні чинники, що спричиняють зміни в структурі генів і хромосом.

### **Якими є заходи щодо захисту геному людини від шкідливих мутагенних впливів?**

У наш час виокремлюють декілька основних підходів для організації **соціального захисту** геному людини від шкідливих мутагенних впливів: 1) створення безвідходних технологій, замкнених циклів виробництва у промисловості; 2) перехід від хімічних засобів боротьби в сільському господарстві до нешкідливих біологічних; 3) створення стійких сортів рослин, що не потребують хімічних засобів захисту; 4) тестування на мутагенність фармацевтичних препаратів, пестицидів; 5) вилучення або нейтралізація мутагенних чинників у навколишньому середовищі та ін.

Найбільш реальним засобом для **індивідуального захисту** ДНК людини від незворотних змін є використання антимутагенів для зниження темпів мутаційного процесу. **Антимутагени** – речовини, що знижують частоту мутацій. Вони нейтралізують мутаген до його реакції з молекулою ДНК або знімають пошкодження ДНК, що зумовлені мутагеном. Антимутагенну дію мають вітаміни, каротини, глутамін, серотонін, а також деякі фізичні чинники (денне світло). Відомо понад 500 сполук, для яких доведено здатність до захисту геному від дії мутагенів. Так, прийом каротину, вітаміну С і вітаміну Е зменшує спонтанне пошкодження ДНК у лімфоцитах крові. Антиоксиданти, що містяться в зеленому чаї, значно зменшують частоту хромосомних мутацій. Для запобігання шкідливому мутагенному впливу за допомогою антимутагенів людині потрібно вживати більше натуральних свіжих продуктів, особливо капусти й зелені, круп, хліба з висівками. У їхньому складі є вітаміни й клітковина. Вживання клітковини прискорює процес проходження їжі стравоходом і, як наслідок, обмежує руйнівну дію на кишечник деяких шкідливих речовин, що містяться в їжі.

Велике значення для запобігання шкідливим мутагенним впливам має *стан імунної системи* людини. Тому не слід відкладати у «довгий ящик» лікування хронічних хвороб, це послаблює імунітет й посилює шкідливий мутагенний вплив. Дорослим людям слід періодично використовувати трав'яні збори для очищення печінки, в якій відбуваються основні процеси біотрансформації шкідливих речовин. Особливо корисні гепатопротекторні властивості мають *розторопша плямиста* (*Silybum marianum*), *ласкавець золотистий* (*Bupleurum aureum*) (іл. 111). Не слід вживати без консультацій з лікарем невідомі лікарські препарати, особливо антибіотики, а якщо вже проходить антибіотичний



Іл. 111. Розторопша і ласкавець – лікарські рослини

курс лікування, то обов'язково потрібно вживати препарати з корисними бактеріями, що забезпечують певний захист від мутагенів. Шкідливий вплив мутагенів можуть підсилювати деякі речовини, що називають **комутагенами**. Вони самі по собі не здатні до мутагенної дії, не мають власної мутагенної активності. Так, комутагенами вважаються кофеїн, токсини гельмінтів, деякі фармакологічні препарати.

Джерелом шкідливих мутагенних впливів є й деякі **харчові добавки**. Так, при консервуванні використовують натрій глутамат (E621). Небезпечним при нагріванні також може бути натрій нітрит (E 250), що міститься у варених ковбасах. Натрій нітрит – дуже шкідлива речовина, особливо за нагрівання. Доза у 2 г здатна убити людину. І ця проблема є актуальною, з огляду на звичку багатьох людей варити сосиски та смажити лікарську ковбасу. Шкідливим стане навіть звичайний цукор, якщо його термічно обробити: за його тривалого нагрівання утворюється небезпечна для здоров'я органічна сполука гідроксиметилфурфурол. Аналізуючи сучасний стан у сфері використання харчових добавок, можна дійти висновку, що цілковито убезпечити себе від шкідливого впливу небезпечних продуктів неможливо. Але нам цілком під силу зменшити ризики, пов'язані із вживанням шкідливих добавок. Для цього варто запам'ятати такі правила: а) не можна купувати продукти кустарного виробництва; б) купуючи продукти, варто уникати таких, що містять яскраві синтетичні барвники, не вживати солодоців, соків та газованої води із синтетичними барвниками; в) не варто зловживати продуктами, що містять консерванти; г) слід уникати вживання продуктів, що містять заміники цукру, наприклад аспартам (E 951), натрій цикламат (E 952), сахарин (E 954). Зазвичай ці добавки містяться у дешевих солодких напоях та в жувальних гумках.

**Таблиця шкідливих харчових добавок**

Дуже небезпечні	E123, E510, E513, E527
Небезпечні	E102, E110, E120, E124, E127, E129, E155, E180, E201, E220, E222, E223, E224, E228, E233, E242, E400, E401, E402, E403, E404, E405, E501, E502, E503, E620, E636, E637
Канцерогенні	E131, E142, E153, E210, E212, E213, E214, E215, E218, E219, E230, E240, E249, E280, E281, E282, E283, E310, E954
Шлункові захворювання	E338, E339, E340, E341, E343, E450, E461, E462, E463, E465, E466
Шкірні захворювання	E151, E160, E231, E232, E239, E331, E312, E320, E907, E951, E1105
Розлади кишечника	E154, E626, E627, E628, E629, E630, E631, E632, E633, E634, E635
Тиск	E154, E250, E252
Небезпечні для дітей	E270
Заборонені	E103, E105, E111, E121, E123, E125, E126, E130, E152, E211, E952
Підозрілі	E104, E122, E141, E171, E173, E241, E477

Отже, шкідливий мутагенний вплив на геном людини посилюється у зв'язку із сучасним станом біосфери. Основним завданням є попередження подальшого забруднення біосфери мутагенами і пошук способів захисту ДНК людини від уражаючої дії мутагенів.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

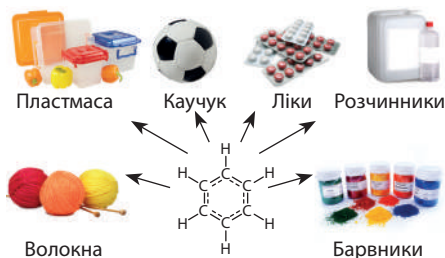
### Самостійна робота з таблицею

Заповніть у робочому зошиті таблицю й сформулюйте основні заходи щодо захисту людини від шкідливих мутагенних впливів,

Група	Представники	Основні заходи щодо захисту від мутагенів
Фізичні мутагени		
Хімічні мутагени		
Біологічні мутагени		

### Біологія + Хімія. «Бензол»

Бензен (бензол) – перший представник гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів, молекулярна формула  $C_6H_6$ . Із середини ХХ сторіччя практично весь промисловий обсяг бензену виробляють способом дегідрогенізації нафтової сировини. Бензен має цінні властивості як розчинник, але через його високу токсичність і канцерогенність таке використання нині дуже обмежено. Який механізм шкідливого мутагенного впливу бензену на організм людини?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Фітотерапія. Адаптогенні властивості лікарських рослин

Адаптогени – це група препаратів, що підтримують роботу імунної системи людини на достатньому рівні й підвищують його стійкість проти шкідливих фізичних, хімічних та біологічних мутагенів. Ці природні засоби стимулюють захисні сили організму людини, пристосовують його до змін погоди, коливань атмосферного тиску, підвищують стійкість до стресів, фізичну й розумову працездатність. Адаптогенні властивості мають такі рослини, як імбир, астрагал, родіола рожева, обліпиха, лимонник, ехінацея. Створіть буклет, постер або презентацію адаптогенних рослин і оцініть їхнє значення щодо захисту від мутагенів.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке мутагени? 2. Назвіть основні групи мутагенів. 3. Наведіть приклади мутагенів з кожної групи. 4. Що таке антимутагени? 5. Наведіть приклади антимутагенів. 6. Що таке комутагени?
7 – 9	7. Які механізми шкідливого впливу мутацій? 8. Якими є соціальні заходи захисту геному людини від шкідливих мутагенних впливів? 9. Якими є індивідуальні заходи захисту від мутагенів?
10 – 12	10. Назвіть та обґрунтуйте основні заходи щодо захисту людини від шкідливих мутагенних впливів.

## § 48. Генетичний моніторинг у людських спільнотах

**Основні поняття й ключові терміни:** **ГЕНЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ. Генетичний скринінг. Молекулярно-генетична діагностика.**

**Пригадайте!** Які є методи біологічних досліджень?



### **Поміркуйте!**

Слово «моніторинг» запозичене з англійської мови. Його значення – це відслідковування, постійне спостереження. Термін означає системи чи методи організації досліджень з метою визначення динаміки в різних галузях діяльності людини. Так, є екологічний моніторинг, фінансовий моніторинг, освітній моніторинг. А що таке генетичний моніторинг?



### **ЗМІСТ**

#### **Яка мета й напрями генетичного моніторингу?**

**ГЕНЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ** – це систематичне спостереження за станом генофонду популяції, що дає змогу оцінювати наявний мутаційний процес та прогнозувати його зміни. Цей вид спостереження передбачає збирання, обробку, аналіз, збереження інформації про виникнення захворювань, зумовлених мутагенним впливом середовища.

Основною метою генетичного моніторингу є контроль та попередження спадкових шкідливих порушень. Окрім того, за допомогою моніторингу можна:

- визначити спрямованість спадкової мінливості в популяціях людини;
- визначити частоту деяких мутацій та інтенсивність мутаційного процесу;
- проводити «інвентаризацію» та створювати реєстр спадкових захворювань людини;
- прогнозувати кількість людей зі спадковими захворюваннями;
- оцінювати шкідливий вплив мутагенних чинників середовища.

Генетичний моніторинг здійснюють у таких напрямках, як *фенотипічний моніторинг* (спостереження за частотою домінантних мутацій), *біохімічний моніторинг* (виявлення біохімічних порушень), *цитогенетичний моніторинг* (спостереження вивчення частоти хромосомних та геномних мутацій), *молекулярно-генетичний моніторинг* (розробляють з метою виявлення генетичних порушень), *моніторинг архівних документів* (для визначення темпів мутаційного процесу за змінами частот летальних мутацій).

Отже, генетичний моніторинг є сукупністю заходів для відслідковування появи й поширення спадкових захворювань.

#### **Для чого здійснюють скринінг у медицині?**

Скринінг (від англ. *screening* – просіювання, сортування) – стратегія в організації охорони здоров'я, спрямована на виявлення захворювань у людини в процесі масового обстеження населення. У медицині застосовують *масовий скринінг* всього населення, *пренатальний скринінг новонароджених*, *кардіологічний*, *уро-*

логічний, гінекологічний скринінг тощо (іл. 112). Скринінг-програми дають змогу виявити захворювання або спадкову патологію до її клінічного прояву і, застосовуючи профілактичне лікування, забезпечити здоров'я людини в суспільстві. Скринінгові дослідження не встановлюють діагнози, це роблять лікарі. Вони лише виявляють людей з високою ймовірністю хвороби. Результати скринінгових обстежень використовують також для вивчення поширеності захворювання, чинників ризику та їхнього значення в розвитку хвороби.

Основними умовами проведення скринінг-програм є підготовлений персонал, стандартна й нескладна методика виявлення ознаки та оцінювання отриманих результатів.

Значення скринінгу особливо важливе під час диспансеризації населення. В практиці охорони здоров'я вже стали звичайними масові профілактичні медичні огляди, флюорографія й маммографія. Скринінг-програми починають застосовувати в кардіології (для виявлення ішемічної хвороби серця та артеріальної гіпертензії), онкології (для виявлення пухлинних хвороб), фармакології (для виявлення впливів тих чи інших препаратів) й медичній генетиці (іл. 113).

**Генетичний скринінг** – це метод раннього виявлення генетичних порушень. Найвагоміших результатів було досягнуто під час виявлення спадкових дефектів обміну речовин (фенілкетонурії, галактоземії тощо) у новонароджених. Генетичний скринінг новонароджених з метою виявлення перелічених спадкових захворювань, без сумніву, є одним із серйозних досягнень медичної генетики. Він дає змогу досягти практично повного виправлення фенотипу, а отже, лікування досить великої кількості осіб, які в іншому випадку стали б людьми з інвалідністю. Скринінг новонароджених на фенілкетонурію в багатьох країнах здійснюється вже впродовж кількох десятиліть, підтверджуючи свою високу ефективність.

Отже, скринінг у медицині – це система первинного обстеження груп клінічно безсимптомних осіб з метою виявлення випадків захворювання.

### У чому перевага методів молекулярно-генетичної діагностики?

**Молекулярно-генетична діагностика** – група методів дослідження ДНК з метою виявлення генетичних порушень у її структурі. Для цих досліджень використовують ДНК, яку виділяють із венозної крові, слини, навколоплідної рідини, зі слизової оболонки рота тощо. Досить часто вистачає навіть краплинки крові, зскрібка з епітелію щоки або однієї волосної цибулини.

Основними методами молекулярно-генетичної діагностики є **цитогенетичний метод** (вивчення хромосомних порушень за допомогою мікроматриць, нанесених на ДНК-чипи), **метод полімеразних ланцюгових реакцій** (виявлення вірусів, інфекцій за допомогою багатократного дублювання обраної ділянки ДНК), **метод ферментної гібридизації** (використання генетичних ДНК-марке-



Іл. 112. Скринінг новонароджених – важлива процедура, яка допомагає зберегти здоров'я і життя дитини



Іл. 113. Скринінгове обстеження у сучасних пересувних цифрових флюоромобілях

рів для виявлення порушених генів), **мікрочіпування** (метод порівняння виділених ділянок ДНК із генетичними маркерами на ДНК-чіпах).

Молекулярно-генетична діагностика на сьогодні активно застосовується в медичній генетиці, а також у фармакогенетиці, спортивній медицині, мікробіології, біотехнології, ветеринарії, сільському господарстві:

- а) для виявлення інфекційних захворювань людини (вірусні гепатити, СНІД, енцефаліт, інфекції, що передаються статевим шляхом) на ранній стадії без наявних зовнішніх проявів, що їх неможливо визначити звичайними методами;
- б) для дослідження алергічних реакцій людини;
- в) для діагностики спадкових хвороб (синдрому Дауна, Едвардса, Патау);
- г) для визначення індивідуальних генетичних особливостей й ефективного персонального лікування;
- д) для оцінювання спортивних перспектив у дітей;
- е) для вивчення генетичного різноманіття нашого генофонду, у якому можуть бути й корисні мутації. Так, вчені відкрили навіть ген несприйнятливості до ВІЛ-інфекції. За проведеними дослідженнями, 2% населення України завдяки наявності в них двох копій цього мутантного гена не захворіють на СНІД;
- є) для моніторингу інфекційних захворювань у домашніх тварин та контролю якості й безпеки генетично модифікованих продуктів

Отже, методи молекулярно-генетичної діагностики мають переваги в ДНК-діагностиці порівняно із іншими методами медичної генетики в тому, що дають змогу виявити та дослідити саме першопричину захворювання на молекулярному рівні.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Біологія + Література. Класифікація захворювань

«Якось до Чехова прийшла огрядна, здорова, гарно одягнена дама і млосно поскаржилася:

– Нудно жити, Антоне Павловичу! Все таке сіре: люди, небо, море і навіть квіти мені здаються сірими. І немає бажань... Душа в нудзі. Напевне якась хвороба.

– Це хвороба! – впевнено сказав Антон Павлович. – Це хвороба удавання. Латиною ... *pritorialis*».

Зіставте названі методи медичного діагностування з органами, що досліджуються та отримайте латинське слово, яким позначають хворобу. Як класифікують хвороби?

1 Спірографія	<b>b</b> метод обстеження шлунку
2 Флюорографія	<b>o</b> метод діагностування органів грудної порожнини
3 Кардіографія	<b>m</b> метод вимірювання об'єму легень
4 Гастроскопія	<b>r</b> метод вивчення роботи серця
5 Реографія	<b>s</b> метод діагностування головного мозку
6 Енцефалографія	<b>u</b> метод діагностування кровотоку

### Проект

#### Скринінг-програми для новонароджених

Скринінг у медицині – це проведення низки безпечних і простих досліджень великої групи населення, що дають змогу виявити групи ризику щодо розвитку будь-якого захворювання. Скринінг новонароджених – це обстеження всіх



народжених дітей для виявлення певних важких спадкових захворювань. У світі скринінгове дослідження охоплює близько 40 спадкових хвороб. Для чого і як здійснюють скринінг-програми новонароджених?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Медицина. Туберкульоз в Україні

В Україні в 2012 р. завдяки успішній роботі програми «Зупинимо туберкульоз в Україні» вперше почали застосовуватися інноваційні молекулярно-генетичні методи діагностики туберкульозу. Застосування таких методів дає змогу вже в день здачі аналізів поставити людині діагноз і своєчасно розпочати курс лікування. А як за допомогою досліджень ДНК виявляють туберкульоз? Оцініть переваги молекулярно-генетичних методів перед туберкуліною пробою, в основі якої – тест Манту.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке генетичний моніторинг? 2. Назвіть основні напрями генетичного моніторингу. 3. Що таке скринінг? 4. Яка мета генетичного скринінгу? 5. Що таке молекулярно-генетична діагностика? 6. Назвіть методи молекулярно-генетичної діагностики?
7 – 9	7. Яка мета й напрями генетичного моніторингу? 8. Для чого здійснюють скринінг у медицині? 9. У чому перевага методів молекулярно-генетичної діагностики?
10 – 12	10. Для чого і як здійснюють скринінг-програми новонароджених?

*Людина – це біосоціальна істота, творець культури та її творіння.*  
NN

## § 49. Особливості генофонду людських спільнот

**Основні поняття й ключові терміни:** ПОПУЛЯЦІЇ ЛЮДИНИ. Генетична характеристика популяцій. Генофонд популяцій людини.

**Пригадайте!** Що таке популяції?



### Поміркуйте!

Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського – найбільша за обсягом фонду та площею приміщень бібліотека України. Її бібліотечний фонд як головного науково-інформаційного центра держави становить близько 15 млн одиниць зберігання. А що таке генофонд людських популяцій?



## ЗМІСТ

### Що вирізняє популяції людини?

Термін «популяція» в біології привнесено із людських спільнот. Він походить від латинського слова *populus*, що його в Давньому Римі вживали стосовно суспільства в значенні «народ», «група людей».

**ПОПУЛЯЦІЯ ЛЮДИНИ** (людське угруповання) – це відносно стабільна й відносно ізольована група особин виду Людина розумна, які мешкають на спільній території, вільно вступають у шлюб й мають спільний генофонд. Основною умовою існування людських популяцій є вільний шлюб, у той час як у тварин – це вільне схрещування (панміксія). Зазвичай прикладом людських популяцій є населення міста, села чи певної місцевості. За критерієм чисельності розрізняють *великі популяції* (людські раси) та *малі популяції* (деми, ізоляти). **Деми** – малі популяції чисельністю 1 500 – 4 000 осіб, а **ізоляти** – до 1 500 осіб. У таких популяціях можливий перехід рецесивних генів у гомозиготний стан, що збільшує частоту спадкових захворювань. Ізоляційні бар'єри, що перешкоджають шлюбним відносинам й утворенню сім'ї, мають соціальний характер, тому у формуванні популяцій людини основну роль відіграють не територіальні, а родинні зв'язки.

Людина як біологічний вид утворює такі самі популяції, як й інші види організмів. Основними характеристиками популяцій є морфофізіологічна, екологічна та генетична. Морфофізіологічна характеристика передбачає опис особливостей зовнішньої будови та життєвих функцій організмів популяцій, екологічна – стосується властивостей популяцій, що формуються у взаємовідносинах з умовами середовища (чисельність, природний приріст, щільність, структура тощо). **Генетична характеристика популяцій** – це визначення особливостей її генетичної структури, тобто якісного складу генів, частоти алелів та частоти генотипів. Вивченням генетичної структури популяцій та тих процесів, що відбуваються в них, займається **генетика популяцій**. Для дослідження людських популяцій застосовуються такі самі підходи й методи, що й для природних популяцій. Але при цьому враховують особливості людини як біосоціального виду, що породжують **соціальні відмінності** людських популяцій. Вони визначаються працею, суспільним способом життя, членороздільною мовою, абстрактним мисленням, наявністю другої сигнальної системи тощо. Популяційні ареали людських спільнот пов'язані із соціальним середовищем існування, своєрідними є особливості поведінки (тільки людина відчуває сором, створює культуру, пам'ятає минуле, вміє сміятися й плакати, знає про свою смертність). Складнішими є системи комунікації та внутрішньопопуляційні зв'язки між особинами, у людських популяціях є гени, відсутні у тварин (наприклад, «гени інтелекту») та багато іншого. Ці та інші ознаки прямо чи опосередковано впливають на генетичну структуру й процеси в популяціях.

Отже, популяції людини вирізняються соціальними особливостями, що позначаються на їхній морфофізіологічній, екологічній та генетичній характеристиках.

### Які особливості генофонду людських популяцій?

Для характеристики генетичної структури популяцій ще у 1928 р. був введений термін «генофонд», що його запропонував відомий у свій час генетик О. С. Серебровський (1892–1948). **Генофонд** – сукупність усіх алелів, генів і генотипів однієї популяції організмів. Серед генів популяції є однакові для усіх особин, а є й відмінні, тому виокремлюють такі властивості генофонду, як *генетична однорідність* та *генетична різноманітність*. Окрім того, для генофонду популяцій характерні й такі властивості, як цілісність, відкритість, динамічність.

Складний й різноманітний генофонд з багатьма варіантами окремих генів сприяє кращій пристосованості популяцій до навколишнього середовища. На



нинішньому етапі розвитку виду для генофонду людських популяцій характерними є такі особливості.

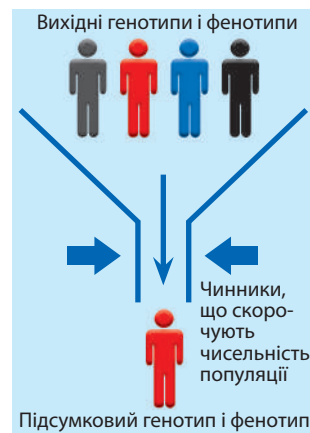
- **Зростає генетична різноманітність генотипів при збереженні загальної сукупності генів.** Генетична гетерогенність (різноманітність) популяцій змінюється внаслідок мутацій і рекомбінацій ДНК, що досить часто приводить до генетичного поліморфізму. Люди різняться між собою за антигенами груп крові АВО, резус-системи, систем Даффі, Льюїс, Келл, за варіантами гемоглобіну, ферментів тощо.
- **Спостерігається залежність генофонду сучасної людини від генофонду її предків.** Генетична різноманітність дає змогу популяції використовувати для пристосування не лише зміни, що виникають, а й ті, що виникли дуже давно й існують у прихованому вигляді. Зі збільшенням частоти зустрічальності рецесивних алелів, що відповідають за мутації, вони можуть перейти у гомозиготний стан і проявитись у фенотипі. Рецесивні мутації є *резервом спадкової мінливості популяцій*.
- **Зростає генетичне обтяження (генетичний вантаж),** тобто наявність серед рецесивних мутацій у генофонді шкідливих спадкових змін. Учені вважають, що зростання числа таких мутацій під дією мутагенів середовища негативно позначається на розвитку людства.

Отже, основними особливостями людських популяцій є зростання генетичної різноманітності внаслідок накопичення в резерві спадкової мінливості шкідливих рецесивних мутацій.

### Які біологічні чинники впливають на формування генофонду популяцій людини?

Генофонд популяцій формується упродовж еволюції. Через те чинниками, що впливають на генофонд популяцій та змінюють їхню генетичну структуру, є: 1) природний добір; 2) мутаційний процес; 3) популяційні хвилі; 4) дрейф генів; 5) ізоляція, що обмежує вільне схрещування (панміксію); 6) міграції.

Рушійною силою формування генофонду популяцій людей є **природний добір** – процес, внаслідок якого виживають і лишаять потомство переважно особини з корисними в даних умовах спадковими змінами. Його тиск у людських популяціях послабшав, що зумовлено зростанням значення соціальних чинників. Однак за природним доббором залишилася функція стабілізації генофондів і підтримки спадкового різноманіття популяцій. Усі інші чинники є елементарними. Вони взаємопов'язані між собою і перебувають під контролем природного добору. **Мутаційний процес** є первинним джерелом нових ознак, а самі мутації – елементарним еволюційним матеріалом. У даний час мутаційний процес у людини відбувається на тлі підвищеної концентрації мутагенів. **Популяційні хвилі** – періодичні коливання чисельності популяції. Завдяки популяційним хвилям може швидко збільшуватися частота зустрічальності одних алелів, тоді як інші взагалі можуть бути втрачені. **Дрейф генів** (генетико-автоматичні процеси) –



Іл. 114. Дрейф генів

випадкова й неспрямована зміна частот зустрічальності алелів у популяції (іл. 114). Найчіткіше це явище виявляється в нечислених популяціях. Наслідками дрейфу генів є поширення мутантних рецесивних алелів наперекір природному добору. **Ізоляція** – виникнення будь-яких перешкод, що порушують вільне схрещування й обмін спадковою інформацією. Основними формами ізоляції є географічна та екологічна. Ізоляція як еволюційний чинник закріплює й підсилює утворені в популяціях генотипні відмінності. **Міграціями** називають переміщення особин або їхніх гамет з однієї популяції в іншу. Внаслідок міграцій відбувається потік генів, що змінює генетичний склад популяцій. Міграційні процеси в людських популяціях за останні часи збільшилися.

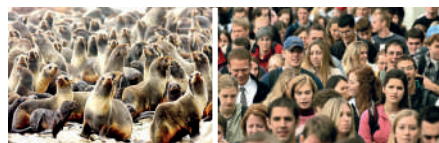
Отже, генофонд популяції, що є елементарною еволюційною одиницею, формується та змінюється під дією еволюційних чинників.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

За допомогою таблиці порівняйте популяції людини й тварин. Що є спільного й відмінного між ними? Зробіть висновок про причини подібності й відмінностей.



Ознаки	Популяція людини	Популяція тварин
Які зв'язки мають визначальне значення?		
Що є основною умовою існування?		
Які особливості є переважаючими?		
Які чинники мають вирішальне значення у формуванні?		
Якими є особливості генофонду?		

## Біологія + Стародавня історія. Інбредні шлюби

У стародавні часи в багатьох царських династіях уклалися тільки сімейні або, як говорять у генетиці, інбредні шлюби. З покоління в покоління в судинах багатьох єгипетських фараонів, правителів греко-македонської династії, вождів інків текла тільки «блакитна» кров. На жаль, як виявилось, вона не гарантувала народження мудрих, сильних духом і тілом нащадків. Так, у Тутанхамона було кілька генетичних відхилень, включаючи хворобу кісток і клишоногість. Поясніть, чому в таких сім'ях з'являлися діти з психічними та фізичними вадами.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Соціологія. Соціальне здоров'я українців

«За оцінкою Європейського регіонального бюро Всесвітньої Організації охорони здоров'я (ВООЗ), сучасний стан здоров'я української нації характеризується низьким рівнем тривалості життя, вкрай високими показниками захворюваності та смертності, відсутністю можливості



отримувати громадянами України належну медичну допомогу» (Журнал УКРАЇНА. ЗДОРОВ'Я НАЦІЇ. 2018. № 2 (49) с. 73). Обґрунтуйте судження щодо основних соціальних чинників, що мають вплив на здоров'я українців та генофонд української нації.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке популяція людей? 2. Що таке генетична характеристика популяції? 3. Що таке генофонд популяції? 4. Назвіть основні властивості генофонду. 5. Назвіть рушійний чинник формування популяцій. 6. Назвіть елементарні чинники формування популяцій.
7 – 9	7. Що відрізняє популяції людини? 8. Які особливості генофонду людських популяцій? 9. Які біологічні чинники впливають на формування генофонду популяцій людини?
10 – 12	10. Що спільного й відмінного між популяціями людини й тварин?

*Закон – категорія, що відображає необхідне, істотне, стійке, повторюване, загальне...  
Філософський словник*

## § 50. Закономірності розподілу алелів у популяції

**Основні поняття й ключові терміни:** **ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦІЙ. Закон генетичної рівноваги. Закон гомологічних рядів спадкової мінливості.**

**Пригадайте!** Що таке популяції?



### Знайомтеся!

**Луїджі Лука Каваллі-Сфорца** (нар. 1922) – італійський генетик, один із найвідоміших у світі сучасної популяційної генетики. Узагальнивши різну генетичну, археологічну й лінгвістичну інформацію, створив теорію походження рас й народів. Результати його праці зібрано в книжках «Історія й географія генів людини» та «Гени, народи й мови». А для яких іще галузей мають значення дослідження генетики популяцій?

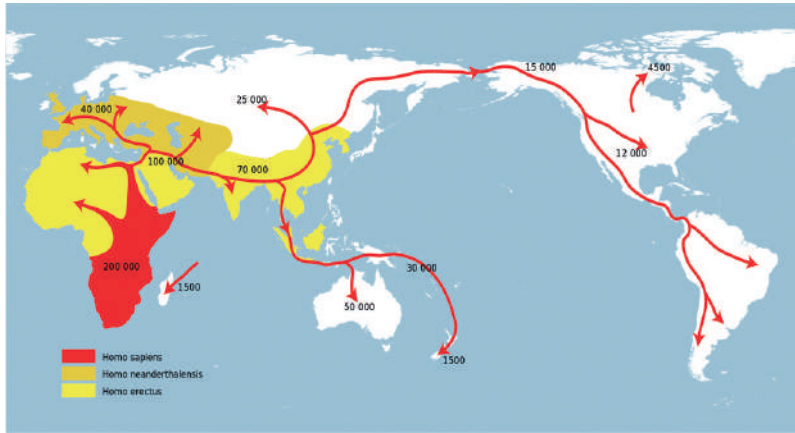


### ЗМІСТ

#### Яке значення має генетика популяцій?

**ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦІЙ** – наука, що вивчає генетичну структуру природних популяцій, а також генетичні процеси, що в них відбуваються. Засновниками науки є Р. Фішер, Дж. Холдейн, С. Райт, С. С. Четвериков, С. М. Гершензон та ін. Основною метою досліджень популяційної генетики є пізнання законів, що пояснюють залежності між генотипами та фенотипами особин на популяційно-видовому рівні популяцій.

Генетика популяцій має значення для розвитку *еволюційної теорії*. Так, завдяки її досягненням встановлено, що елементарною одиницею еволюції є популяція, а не окрема особина, що природні популяції насичені різноманітними рецесивними мутаціями, які є «резервом спадкової мінливості» та ін. (іл. 115).



Іл. 115. Поширення Людини розумної з Африки по світу (шляхи міграції й кількість років тому)

Методи дослідження генетичного складу популяцій використовуються в *антропології* для вивчення історичного походження та становлення людини розумної.

Генетика популяції відіграє важливу роль в *етології* для досліджень поведінки організмів. Рівень генетичного поліморфізму вважається в популяційній генетиці важливим показником, від якого залежать еволюційна пластичність виду та його пристосованість до змін середовища. Як з'ясувалося, низький генетичний поліморфізм притаманний видам, у яких нечисленні, але великі й захищені нащадки, а високий – видам, у яких нащадки численні, дрібні й незахищені. Такий результат змушує по-новому оцінити еволюційну роль турботи про потомство.

Знання закономірностей популяційної генетики дають ключ для розуміння еволюції споріднених груп у *систематиці*, полегшують пошуки вихідного спадкового матеріалу в *селекції* та вивчення спадкових захворювань людини у *медицині* тощо.

Отже, дослідження генетики популяцій є актуальними й затребувані у багатьох галузях діяльності людини.

### У чому суть закону генетичної рівноваги?

Математичну залежність між частотами алелів і генотипів в ідеальній популяції встановили одночасно у 1908 р. і незалежно один від одного видатний англійський математик Дж. Харді (1877–1947) і німецький лікар В. Вайнберг (1862–1937) (іл. 116). Ця закономірність відома як закон Харді – Вайнберга (**закон генетичної рівноваги**), який є основним законом генетики популяцій.



Іл. 116. Дж. Харді (ліворуч) і В. Вайнберг

**Частоти алелей і генотипів у популяції залишатимуться сталими з покоління в покоління за наявності певних умов.**

Рівняння Харді – Вайнберга:

$$p(A) + q(a) = 1$$

(для визначення генетичної структури популяцій за частотою алелей);

$$p^2 (AA) + 2pq (Aa) + q^2 (aa) = 1$$

(для визначення генетичної структури популяцій за частотою генотипів).

У популяційній генетиці частоту домінантного алеля А позначають через  $p$ , частоту рецесивного алеля а – через  $q$ . За умови, що А і а – єдині алелі гена,  $p + q = 1$  (або 100%). Формула

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1 \text{ (або 100\%)}$$

є алгебраїчним виразом закону Харді – Вайнберга для двох алелів, де  $p$  – частота домінантного алеля А;  $q$  – частота рецесивного алеля а;  $p^2$  – частота домінантних гомозигот АА;  $2pq$  – частота гетерозигот Аа;  $q^2$  – частота рецесивних гомозигот аа (іл. 117).

Популяція, в якій зберігається генетична рівновага, називається **ідеальною популяцією**. Умовами існування ідеальних популяцій є: 1) велика чисельність популяції; 2) вільне випадкове схрещування в популяції (панмісія); 3) відсутність мутацій; 4) відсутність добору за певною ознакою; 5) відсутність генного потоку, тобто міграцій генів із сусідніх популяцій. Якщо порушується хоча б одна умова, то генетична структура популяції змінюється.

У природі ідеальні популяції не трапляються, існують **реальні популяції**, в яких чисельність особин не буває нескінченно великою, вільне схрещування неабсолютне, відбуваються мутаційний процес, природний добір, міграції. Але це не зменшує цінності закону Харді – Вайнберга. Він визначає умови генетичної рівноваги популяції та умови, що її порушують.

Отже, закон Харді – Вайнберга дає змогу визначити генетичну структуру популяції та тенденції зміни генотипів особин у популяціях під дією умов середовища.

### Яке значення закону гомологічних рядів спадкової мінливості?

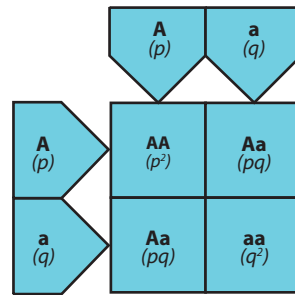
Порівнюючи ознаки різних сортів культурних рослин і близьких до них диких видів, М. І. Вавилов (1887–1943) виявив багато спільних спадкових змін. Це допомогло йому сформулювати у 1920 р. закон гомологічних рядів спадкової мінливості.

**Генетично близькі види та роди характеризуються подібними рядами спадкової мінливості з такою правильністю, що вивчивши ряд форм у межах одного виду чи роду, можна передбачити наявність форм із подібними поєднаннями ознак у межах близьких видів чи родів.**

М. І. Вавилов зазначав, що гомологічні ряди часто виходять за межі родів і навіть родин. Короткопалість відмічено у представників багатьох рядів ссавців: у великої рогатої худоби, овець, собак, людини. Альбінізм поширений у всіх людських расах і спостерігається в усіх класів хребетних тварин.

Основою гомологічних рядів є подібність фенотипів, що виникає як результат взаємодії однакових генів у генотипах особин різних популяцій. Теоретичною основою гомології рядів спадкової мінливості у близьких таксономічних груп є уявлення про єдність їх походження шляхом дивергенції під дією природного добору.

Питання лікування і профілактики спадкових хвороб не можна розв'язати без дослідження на тваринах із спадковими аномаліями, які подібні до тих, що



Іл. 117. Схема отримання алгебраїчного виразу закону Харді – Вайнберга

спостерігаються у людини. Багато патологічних станів, що їх виявлено у тварин, можуть бути моделями спадкових хвороб людини. Так, у собак спостерігається гемофілія, яка зчеплена із статтю. Для вивчення м'язової дистрофії слугують миші, велика рогата худоба, коні, епілепсії – кролі, пацюки, миші. Спадкова глухота існує у гвінейських свинок, мишей і собак. Вади будови обличчя людини, гомологічні «заячій губі» та «вовчій пащі», спостерігаються в лицьовому відділі черепа мишей, собак, свиней. Спадковими хворобами обміну, такими як ожиріння і цукровий діабет, хворіють миші.

Отже, згідно із законом гомологічних рядів, вивчивши ряд форм у межах одного виду чи роду, можна передбачити наявність форм із подібними ознаками в межах близьких видів чи родів.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота на застосування закону Харді – Вайнберга

Розв'яжіть вправи та запропонуйте пояснення щодо практичного значення закону генетичної рівноваги.

**Вправа 1.** Проаналізуйте етапи розв'язування запропонованої задачі та сформулюйте до кожного з них відповідні дії.

«В Європі на 20 тисяч населення припадає 1 людина з альбінізмом. Скільки відсотків людей є гетерозиготними носіями рецесивного алеля альбінізму?»

$$q^2 = \frac{1}{20000}$$

$$q = \sqrt{\frac{1}{20000}} = \sqrt{0,00005} = 0,0071$$

$$p = 1 - 0,0071 = 0,9924$$

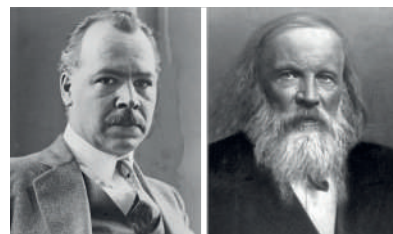
$$2pq = 2 \times 0,0071 \times 0,9924 = 0,014 = 1,4 \%$$

**Вправа 2.** До складу популяції людей входять 9 % гомозигот AA, 49 % гомозигот aa і 42 % гетерозигот Aa. Визначте частоту алелів A і a в популяції.

**Вправа 3\*.** У популяції лисиць на певній території виявлено 9 991 рудих особин і 9 лисиць-альбіносів. Альбінізм кодується рецесивним алелем, а руде забарвлення – домінантним. Визначте генетичну структуру цієї популяції лисиць.

### Біологія + Хімія

Закон гомологічних рядів М. І. Вавилова порівнюють із Періодичним законом Д. І. Менделєєва. Що, на вашу думку, може бути підставою для порівняння цих законів? Висловіть свої судження щодо практичного значення законів Вавилова і Менделєєва.



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Алгебра. Біном Ньютона

Наведені формула й визначення є окремим випадком бінома Ньютона. Назвіть і поясніть цю алгебраїчну закономірність, що знайшла своє застосування в генетиці популяцій. Оцініть можливості використання алгебраїчних знань в біології.

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

Квадрат суми двох виразів дорівнює квадрату першого виразу плюс подвоєний добуток цих виразів плюс квадрат другого виразу



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що вивчає генетика популяцій? 2. Назвіть основні галузі застосування популяційної генетики. 3. Хто і в якому році сформулював закон генетичної рівноваги? 4. Як формулюється закон генетичної рівноваги в популяціях?
7 – 9	7. Яке значення має генетика популяцій? 8. В чому суть закону генетичної рівноваги? 9. Яке значення закону гомологічних рядів спадкової мінливості?
10 – 12	10. Яке практичне значення мають знання закономірностей розподілу алелів у популяціях?

*Втілення в життя наукової істини про закони спадковості допоможе позбавити людство від багатьох скорбот і горя.*

*І. П. Павлов*

## § 51. Сучасні завдання медичної генетики

**Основні поняття й ключові терміни:** МЕДИЧНА ГЕНЕТИКА. Медико-генетичне консультування. Генотерапія.

**Пригадайте!** Що таке генетика?



### Новини науки

У 2013 р. Європейська комісія затвердила можливість застосування продукту генної терапії *Glybera* для вилікування від рідкісної спадкової хвороби, що спричиняє смертельно небезпечний панкреатит. *Glybera* за допомогою вірусу доставляє в клітини потрібний ген, і вже через декілька тижнів клітини починають нормально функціонувати. Це був перший генотерапевтичний продукт, схвалений у західному світі.



### ЗМІСТ

#### Які сучасні завдання медичної генетики?

**МЕДИЧНА ГЕНЕТИКА** – це розділ генетики людини, що вивчає роль спадкових чинників у розвитку захворювань. Бурхливий розвиток молекулярної генетики, біології клітини, молекулярної біології розширив можливості медичної генетики щодо розуміння біохімічних та молекулярно-генетичних процесів – основи спадкових захворювань. Сучасні медико-генетичні дослідження особливо інтенсивно здійснюються на молекулярному, клітинному, організмовому, популяційно-видовому рівнях за допомогою таких методів, як цитогенетичний, метод гібридизації ДНК, метод полімеразних ланцюгових реакцій, моделювання та ін.

Основними сучасними завданнями медичної генетики є:

- виявлення та опис спадкових захворювань, кількість яких збільшується. На сьогодні вже описано 2 200 аутосомно-домінантних, 1 420 аутосомно-рецесивних, 286 зчеплених зі статтю генних та близько 800 хромосомних захворювань;
- визначення ролі генотипу й чинників середовища в розвитку *полігенних (мультифакторіальних) захворювань*, якими є ішемічна хвороба серця, цукровий діабет, виразкова хвороба, гіпертензія тощо;

- розшифрування природи великої кількості спадкових захворювань обміну речовин і розроблення ефективних методів профілактики й лікування (наприклад, непереносимість лактози, фенілкетонурія);
- пізнання складної природи схильності до онкологічних захворювань та механізмів її реалізації;
- розроблення дослідницьких програм й методик для розширення можливостей **медико-генетичного консультування**;
- профілактика та виліковування спадкових хвороб за допомогою новітніх технологій зміни генів та методів **генотерапії**.

Велику допомогу у вирішенні проблем медичної генетики надають лабораторні тварини. Так, створено тисячі різних ліній нокаутних мишей, кілька сотень з яких слугують модельними об'єктами для вивчення хвороб людини. «Нокаутна миша» – це мутантні миші, в яких вимкнено певні гени. Інактивуючи специфічний ген у миші хатньої (*Mus musculus*) та досліджуючи зміни її фенотипу, дослідники можуть зробити висновки щодо функції даного гена. Після розшифрування геному шпоркової жаби (*Xenopus tropicalis*) вчені виявили близько 80 % генів, подібних до тих, що відповідають у людини за виникнення спадкових захворювань (іл. 118).

Сучасна медична генетика інтенсивно розширяє свої дослідження в різних напрямках: вивчення геному людини, мітохондріальна генетика, імуногенетика, генетика розвитку, клінічна генетика та ін.



Іл. 118. Миша хатня і шпоркова жаба тропічна

Отже, предметом медичної генетики є спадкові генні й хромосомні хвороби, вади розвитку та хвороби зі спадковою схильністю в людини.

### Як організовується медико-генетичне консультування?

**Медико-генетичне консультування** – це процес, пов'язаний з вирішенням проблем, що призводять до появи або ризику появи спадкових захворювань у родині. Це своєрідна медична допомога і найбільш розповсюджена форма профілактики спадкових хвороб.

Медико-генетичне консультування дає змогу лікарям не тільки діагностувати хворобу, а й надавати пацієнтам конкретні рекомендації щодо лікування. Згідно з отриманими результатами лікарі-генетики можуть направляти пацієнтів до спеціалістів вузького профілю, повідомляти їм про існування спеціальних дослідницьких програм (іл. 119).



Іл. 119. Консультація лікарки-генетика молодій подружній парі

Основними завданнями медико-генетичного консультування є: 1) встановлення діагнозу спадкового захворювання; 2) визначення типу успадкування захворювання; 3) розрахунок ступеня ризику повторення захворювання; генетичний ризик, що не перевищує 5 %, розцінюється як низький, до 20 % – як підвищений і понад 20 % – як високий; 4) пояснення змісту прогнозу;



5) спостереження і виявлення групи підвищеного ризику серед родичів; 6) поширення медико-генетичних знань серед населення.

Медико-генетична консультація складається з чотирьох етапів: *діагноз, прогноз, висновок, порада*. При цьому необхідним є відверте і доброзичливе спілкування лікаря-генетика з родиною хворого.

Отже, організація медико-генетичного консультування пов'язане з інформуванням людини про ризик розвитку спадкового захворювання, передачі його нащадкам, а також про діагностичні та терапевтичні дії.

### Якими є успіхи та перспективи генотерапії?

**Генотерапія** – це лікування захворювань шляхом заміни дефектних генів нормальними. Основою генотерапії є сукупність методів лікування спадкових, онкологічних, деяких вірусних захворювань шляхом внесення змін у генетичний апарат клітин пацієнтів з метою спрямованої зміни генних дефектів або надання клітинам нових функцій.

Першим успіхом генотерапії став випадок вилікування дитини від тяжкого імунодефіциту за ферментом аденозиндезамінази. 14 вересня 1990 р. дівчинці було пересаджено власні лімфоцити із попередньо зміненим геномом. Згодом були здійснено чергові трансфузії генетично змінених Т-лімфоцитів і загальним результатом лікування стало значне поліпшення стану пацієнтки та її нормальний спосіб життя.

У генотерапії виокремлюють такі види, як: а) соматична генотерапія – введення генів у соматичні клітини пацієнта; б) позаорганізмova генотерапія – введення генів у культивовані клітини і пересадка цих клітин пацієнтам. Залежно від способу введення ДНК у геном пацієнта генотерапія може відбуватися в культурі клітин (*ex vivo*) або безпосередньо в організмі (*in vivo*).

Стандартна схема застосування генотерапії складається з декількох послідовних етапів: 1) створення генетичної конструкції; 2) вибір вектора для доставки в клітини-мішені (найчастіше це аденовіруси, бактеріофаги); 3) перенесення вектора й генетичної конструкції у клітини (за допомогою наночастинок або ліпосом); 4) оцінювання ефективності перенесення в умовах клітинних культур; 5) оцінювання ефективності на лабораторних тваринах; 6) клінічні випробування на людині.

Нині у світі вже близько 400 проектів проходять клінічні випробування, серед яких проекти лікування муковісцидозу, гемофілії, імунодефіцитів, серпоподібно-клітинної анемії тощо. Одним із основних інструментів для сучасних генотерапевтичних проектів є біотехнологія редагування ДНК CRISPR/Cas9. Ця система редагування геному використовується для внесення змін у генетичний апарат, видалення чи редагування мутантних генів. Технологія CRISPR-Cas9 використовує фермент-«ножиці» Cas9, що за допомогою РНК-гіда розпізнає та розрізає ДНК у потрібному місці. За допомогою цієї системи розробляються технології для видалення ВІЛ з клітин живого організму, лікування хвороби Паркінсона, амаврозу Лебера, пухлин мозку, раку крові та ін.

Отже, генотерапія стає одним із найважливіших інструментів медицини XXI століття.

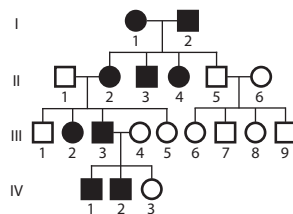


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота

#### Розв'язування вправ з медичної генетики

**Вправа 1.** На схемі зображено родовід сім'ї з ознакою сивого пасма волосся. Визначте тип успадкування цієї ознаки і генотипи осіб: I – 1, II – 2, 3 і 4; III – 2, 3 та IV – 1, 2.

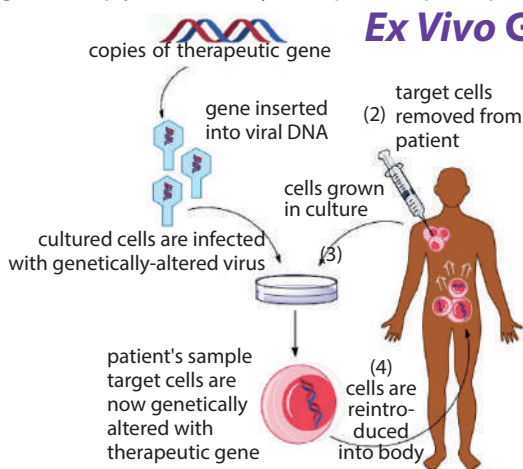


**Вправа 2.** Одна з форм шизофренії успадковується як рецесивна ознака. Визначте ймовірність народження дитини із шизофренією від батьків, які не мають цього захворювання, якщо відомо, що бабуся з боку батька і дід з боку матері мали це захворювання.

**Вправа 3.** У людини ген, що спричиняє одну з форм спадкової глухонімоти, рецесивний відносно до гена нормального слуху. Від шлюбу глухонімोї жінки з чоловіком, у якого нормальний слух, народився глухонімий хлопчик. Визначте генотипи всіх членів сім'ї.

#### Проект «Генотерапія та її перспективи»

Розгляньте ілюстрацію, перекладіть текст і запропонуйте його пояснення. Використайте можливості Інтернету (наприклад, <http://www.livemd.ru/tags/genoterapija>) та підготуйте проект про перспективи генотерапії.



### Ex Vivo Gene Therapy

*Ex vivo* gene therapy is performed with the genetic alterations of patient's target cells happening outside of the body in a culture. Target cells from the patient are infected with a recombinant virus containing the desired therapeutic gene. These modified cells are then reintroduced into the patient's body, where they produce the needed proteins that correspond to the inserted gene.

(5) Inside the body, the genetically altered cells produce the desired proteins encoded by the therapeutic DNA



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Медицина.

#### Види терапії

Терапія – це комплекс заходів, спрямованих на усунення якого-небудь захворювання, полегшення його симптомів або відновлення після травми.

1	2	3	4	5	6	7

1 Апітерапія	<b>А</b> <sub>1</sub> Медичні п'явки
2 Гірудотерапія	<b>А</b> <sub>2</sub> Лікарські рослини
3 Ароматерапія	<b>І</b> Холодні й гарячі камені
4 Фітотерапія	<b>Н</b> Запахи летких речовин
5 Арт-терапія	<b>С</b> Продукти бджільництва
6 Стоун-терапія	<b>Ц</b> Мистецтво й творчість
7 Пелотерапія	<b>Я</b> Лікувальні грязі

Зіставте види терапії з відповідними чинниками лікування та отримайте термін, яким позначають у медицині процес оздоровлення, відновлення здоров'я. Оцініть етичні й соціальні проблеми сучасної генотерапії.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке медична генетика? 2. Що є предметом досліджень медичної генетики? 3. Що таке медико-генетичне консультування? 4. Назвіть основні етапи медико-генетичного консультування. 5. Що таке генотерапія? 6. Наведіть приклади успішних генотерапевтичних технологій.
7 – 9	7. Які сучасні завдання медичної генетики? 8. Як організовується медико-генетичне консультування? 9. Якими є успіхи та перспективи генотерапії?
10 – 12	10. Оцініть перспективи та проблеми сучасної генотерапії.

*Останні досягнення генетики дають нове розуміння хвороб, що починаються від молекули, яка кодує ознаки.*

*Т. І. Бужієвська*

## § 52. Хвороби спадкового походження

**Основні поняття й ключові терміни:** СПАДКОВІ ЗАХВОРЮВАННЯ. Хвороби із спадковою схильністю. Вроджені вади.

**Пригадайте!** Що вивчає медична генетика?



### Поміркуйте!

Спадкові хвороби відомі здавна. Так, арахнодактилія («павучі пальці») зображена на картині С. Боттічеллі «Портрет юнака», ахондроплазія («карликовість») – на картині Д. Веласкеса «Дон Себастьяно дель Морра». Які ж особливості та причини цих захворювань і чому вони виникають знову й знову?



### ЗМІСТ

#### Які хвороби вивчає сучасна медична генетика?

Сучасна медична генетика вивчає роль спадковості в розвитку патологічних станів або захворювань. Залежно від внеску спадковості й чинників середовища усі хвороби поділяють на: 1) **спадкові** (визначальна роль спадковості); 2) **хвороби із спадковою схильністю** (розвиток захворювання зумовлений взаємодією генотипу й середовища); 3) **вроджені вади людини** (хвороби, спричинені внутрішніми чи зовнішніми чинниками середовища, що виникають до народження). Зазначимо, що межа між цими групами є дуже умовною. Практично всі хвороби людини мають генетичну складову і певною мірою залежать від зовнішнього середовища. Досить часто ознаки захворювань є кінцевими варіантами проявів у нормі реакції нормальних ознак.

**СПАДКОВІ ЗАХВОРЮВАННЯ** – спадкові розлади організму, пов'язані з порушенням генетичного апарату (генів, цілісності хромосом чи кількості хромосом). Суто спадковими хворобами є захворювання, причинами яких є зміни спадкового апарату – генні, хромосомні та геномні мутації. Відповідно до цього всі спадкові захворювання людини можна об'єднати у дві групи: *генні* та *хромосомні*.

сомні. За локалізацією генів, які спричиняють розвиток спадкових захворювань, їх поділяють на *ядерні* та *мітохондріальні*. За участю генів у розвитку спадкових захворювань серед них виокремлюють *моногенні* та *полігенні* хвороби. Моногенні зумовлені дією одного гена, що зазнав мутації, а полігенні (мультифакторіальні) – визначаються дією множинних генів у комплексі із багатьма чинниками середовища.

**Хвороби із спадковою схильністю** – це захворювання, для розвитку яких необхідна взаємодія внутрішніх спадкових та зовнішніх несприятливих впливів середовища. До цієї групи хвороб належать більшість захворювань людини, серед яких подагра, цукровий діабет, гіпертензія, виразкова хвороба, бронхіальна астма, шизофренія, епілепсія та ін. Спадкова схильність до хвороби також може мати моногенну або полігенну природу.

**Вроджені вади розвитку** – стійкі структурні чи метаболічні зміни органів, їх частин чи ділянок тіла, що виходять за межі нормальних варіацій будови та порушують їх функції. Причини розвитку вад різноманітні – як зовнішні, так і внутрішні. Ними можуть бути мутації, вік батьків, ендокринні хвороби, порушення метаболізму, а також екзогенні чинники навколишнього середовища, що порушують ембріональний розвиток (окремі ліки, алкоголь, віруси). Залежно від причин усі вроджені вади розвитку поділяють на спадкові, екзогенні та мультифакторіальні. Найбільш важкими є вади розвитку ЦНС, серця, травної системи, нирок, а найпоширенішими – розщеплення верхньої губи та піднебіння, вивих стегна, клишоногість тощо. Спадковими вадами метаболізму є хвороби, пов'язані з порушенням обміну амінокислот (фенілкетонурія), вуглеводів (галактоземія), ліпідів (хвороба Тея – Сакса), неорганічних йонів (муковісцидоз). Прикладом уроджених неспадкових вад є талідомідний, сифілітичний, алкогольний і деякі інші синдроми.

Отже, сучасна медична генетика вивчає хворобливі стани або захворювання, які найчастіше поділяють на спадкові хвороби, хвороби із спадковою схильністю та вроджені вади.

### Які основні групи та особливості спадкових захворювань?

Серед загальної захворюваності населення спадкова становить 15 – 25 %. На сьогодні відомо близько 3 500 спадкових захворювань і їх кількість зростає. Спадкові хвороби поділяють на генні та хромосомні.

**Генні хвороби** – спадкові хвороби, спричинені генними мутаціями. Ці хвороби передаються від покоління до покоління без змін і можуть бути домінантними аутосомними (полідактилія), рецесивними аутосомними (альбінізм), рецесивними зчепленими з Х-хромосою (гемофілія, дальтонізм), зчепленими з Y-хромосою (іхтіоз). Плейотропною дією одного гена пояснюється хвороба Марфана. Найпоширенішою спадковою патологією, що визначається генами, є *короткозорість* (міопія). Науковці встановили, що спадкова короткозорість наявна у 30 % представників європеїдної раси і вражає до 80 % уродженців Азії (іл.120).

**Хромосомні хвороби** – це спадкові хвороби, спричинені хромосомними та геномними мутаціями. Спільним для всіх хромосомних хвороб є множинні ураження й стійка сукупність симптомів, що називається синдромом.



Іл. 120. Основною причиною міопії є вдовжена форма очного яблука

Хромосомні мутації здебільшого спричиняють тяжкі аномалії, несумісні з життям (наприклад, філадельфійська хромосома, синдром «котячого крику» (46,5–)), тому взагалі не успадковуються. Прикладами геномних мутацій є синдром Дауна (47, 21+), синдром Патау (47,13+), синдром Едвардса (47,18+), синдром Тернера (45,ХО), синдром Клайнфельтера (класичний каріотип 47, ХХУ) та ін. Найпоширенішою хромосомною хворобою є *синдром Дауна*, що визначається появою третьої зайвої хромосоми за 21 парою (трисомія 21). Частота захворювання серед новонароджених становить 1 : 700. Співвідношення хворих хлопчиків і дівчаток дорівнює 1 : 1. Частота захворювання дітей із синдромом Дауна залежить від віку матері. Після 35 років суттєво зростає частота народження дітей із синдромом Дауна, а у віці 45 років вона становить вже 1 : 12.

Отже, основними групами спадкових захворювань є генні та хромосомні хвороби, причинами яких є генні, хромосомні та геномні мутації.

### Якими є заходи профілактики спадкових хвороб людини?

Профілактика спадкових патологій може бути первинною, вторинною та третинною.

*Первинна профілактика* передбачає попередження зачаття хворої дитини, яке забезпечують плануванням народження дітей та поліпшенням життєвого середовища людини.

Планування народження дітей здійснюють за такими принципами: обрання оптимального репродуктивного віку, який для жінок становить 21 – 35 років; надто ранні або пізні вагітності збільшують ризик народження дитини із вродженою патологією; відмова від дітонародження у випадках високого ризику спадкової чи вродженої патології; відмова від дітородіння в близькоспоріднених шлюбах.

*Вторинну профілактику* здійснюють шляхом припинення вагітності в разі високої вірогідності захворювання плоду. Його можна проводити тільки у відповідні терміни та за згодою жінки. Звичайно, припинення вагітності – не найкраще рішення, але лише воно можливе за більшості тяжких генетичних дефектів.

*Третинна профілактика* полягає в корекції вияву аномальних генів, особливо успішна в разі хвороб зі спадковою схильністю. За її допомогою можна досягнути повної нормалізації або зниження ступеня вияву патологічного процесу. Здійснюють третинну профілактику як до народження (наприклад, резус-несумісність, галактоземія), так і після народження (фенілкетонурія, гіпотиреоз).

Основою сучасної профілактики спадкової патології є теоретичні засади генетики людини та медицини, які дають змогу усвідомити: 1) молекулярну природу спадкових захворювань й механізми їх розвитку; 2) закономірності збереження мутацій у сім'ях та популяціях; 3) механізми виникнення мутацій у зародкових і соматичних клітинах.

Отже, для запобігання спадковим захворюванням існують заходи первинної, вторинної й третинної профілактики.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота

#### Розв'язування вправ на спадкові захворювання

**Вправа 1.** До якого типу мутацій (А – генні, Б – хромосомні, В – геномні) належать такі хвороби: 1) синдром Дауна; 2) синдром Патау; 3) короткозорість; 4) альбінізм; 5) синдром «котячого крику»; 6) синдром Едвардса; 7) «філадельфійська» хромосома; 8) муковісцидоз.

**Вправа 2.** У людини дальтонізм (порушення колірної зору) кодується рецесивним геном, локалізованим у Х-хромосомі. Чоловік з нормальним колірним зором одружився з гетерозиготною за цією ознакою жінкою. Яка ймовірність народження в цій сім'ї дітей з дальтонізмом?

**Вправа 3\*.** У людини гемофілія – рецесивна, зчеплена з Х-хромосомою ознака. Альбінізм (відсутність пігментації) зумовлений аутосомним рецесивним геном. В одній родині, де чоловік та жінка нормально пігментовані та мають нормальне зсідання крові, народився син з обома аномаліями. Укажіть генотипи батьків. Якою може бути ймовірність прояву обох аномалій у другого сина? Якою може бути ймовірність народження наступного разу дівчинки з нормальною пігментацією та нормальним зсіданням крові?

### **Біологія + Медицина. Критичні періоди розвитку людей**

Під час вагітності в людини виокремлюють певні періоди, коли формування органів і систем плоду відбувається найбільш інтенсивно, і він особливо чутливий до дії зовнішніх чинників, таких як хімічні (наприклад, талідомід, алкоголь, нікотин), біологічні (наприклад, вірус кіру чи краснухи), фізичні (наприклад, радіація). Періоди ембріогенезу, для яких характерна підвищена чутливість до впливу пошкоджувальних чинників, називають критичними періодами. Коли спостерігаються критичні періоди ембріогенезу в людини? Обґрунтуйте судження щодо впливу шкідливих чинників на формування спадкових вад розвитку.



### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія + Суспільство. Діти Сонця**

Діток із синдромом Дауна часто називають «дітьми Сонця». У 2006 р. було визначено Всесвітній день людей із синдромом Дауна, що відмічають 21 березня. В цей день прийнято одягати багато кольорових шкарпеток, краваток, пов'язувати кольорові хустини та шалі для того, щоб відчутти, що таке бути іншими. На даний момент є велика проблема в суспільстві, яке не завжди готове сприймати «інших». Чому дітей із синдромом Дауна називають «дітьми Сонця» і чим вони відрізняються від інших дітей?

**МІЖНАРОДНИЙ ДЕНЬ ЛЮДИНИ З СИНДРОМОМ ДАУНА**

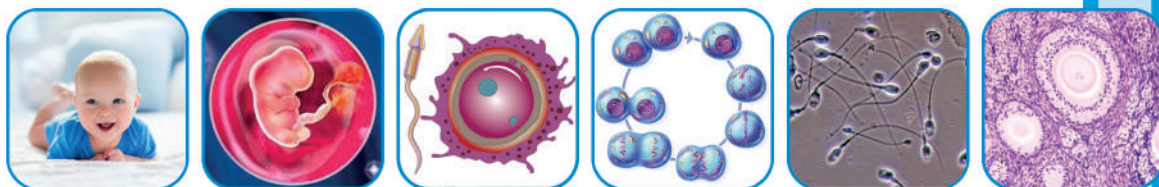
В цей день одягаймо кольорові шкарпетки, краватки, навіть, зайві, щоб відчутти себе іншими. Щоб зрозуміти, як це жити не таким, як всі, під часом не надто привязними поглядами інших.

Це ще один прояв толерантності, який дуже необхідний нашому суспільству!



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Назвіть основні групи хвороб, що їх вивчає медична генетика. 2. Що таке спадкові хвороби? 3. Назвіть дві групи спадкових захворювань. 4. Наведіть приклад спадкових захворювань. 5. Які мутації є причиною спадкових хвороб? 6. Що таке критичні періоди зародкового розвитку?
7 – 9	7. Які хвороби вивчає сучасна медична генетика? 8. Назвіть основні групи та особливості спадкових захворювань. 9. Якими є заходи профілактики й діагностики спадкових хвороб людини?
10 – 12	10. Обґрунтуйте судження щодо впливу шкідливих чинників на формування спадкових вад розвитку.



# Тема 4. РЕПРОДУКЦІЯ ТА РОЗВИТОК

*Нескінченість скінченого, безсмертя смертного.*

*Основи системної біології*

*Н. І. Околітенко, Д. М. Гродзинський*

## § 53. Репродукція як механізм забезпечення безперервності існування видів

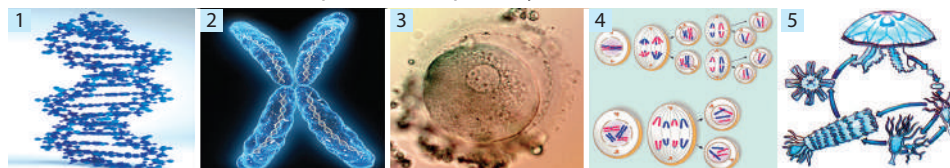
**Основні поняття й ключові терміни:** РОЗМНОЖЕННЯ (РЕПРОДУКЦІЯ). Нестатеве розмноження. Статеве розмноження.

**Пригадайте!** Що таке розмноження?



### Поміркуйте!

Розгляньте ілюстрації та запропонуйте пояснення.



### ЗМІСТ

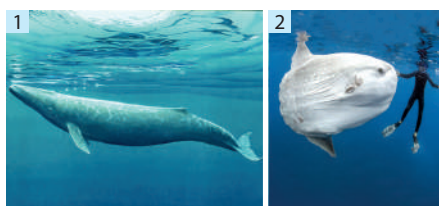
#### Як забезпечується безперервність існування видів у часі?

**РОЗМНОЖЕННЯ, або РЕПРОДУКЦІЯ** (від лат. *re-* – префікс, що означає зворотну або повторну дію, і *producio* – створюю), – *відтворення собі подібних, що є основою безперервності існування виду*. Здатність розмножуватись притаманна всім живим організмам, і реалізується ця універсальна властивість живого на кожному з рівнів організації.

На молекулярному рівні спадкова інформація відтворюється завдяки процесу репродукції ДНК, що називається реплікацією. З однієї молекули ДНК утворюються дві дочірні. Відбувається процес самоподвоєння ДНК перед поділом клітин.

На клітинному рівні відбувається репродукція клітин шляхом мітозу й мейозу з утворенням нестатевих диплоїдних або статевих гаплоїдних дочірніх клітин, які беруть участь у репродукції організмів.

На організмовому рівні репродукцію живих істот забезпечують дві основні форми розмноження – нестатеве й статеве. Для здійснення розмноження у багатоклітинних організмів існують репродуктивні системи органів.



Іл. 121. Синій кит (1) і риба-місяць (2) – тварини з різними стратегіями розмноження

На популяційно-видовому рівні відтворення видів пов'язане зі стратегіями розмноження. Ці дві головні стратегії відомі як К-стратегія (відтворення незначної кількості нащадків) і R-стратегія (репродукція великої кількості нащадків). К-стратегом у тваринному світі є, наприклад, *синій кит* (*Balaenoptera musculus*) – найбільша тварина на Землі, самки яких народжують одне маля в два роки впродовж 40–45 років життя. «Найвидатнішим R-стратегом» тваринного світу є *риба-місяць* (*Mola mola*) – найбільша за масою відома кісткова риба і найплodючіша риба у світі (одна самка може відкласти до 300 млн ікринок) (іл. 121).

Отже, репродукція є неодмінною умовою існування біологічних систем у часі.

### Які особливості нестатевої форми розмноження?

**Нестатеве розмноження** – це відтворення собі подібних за участі нестатевих клітин. Перевагою такого розмноження у тварин є те, що воно відбувається без затрат енергії на пошуки партнера протилежної статі. Водночас нестатеве розмноження має й суттєвий недолік – подібність нащадків. Якщо середовище існування організмів з нестатевим розмноженням зміниться, то подібним організмам одного виду з однаковими пристосуваннями загрожує загибель. Через те нестатева форма розмноження характерна для нижчих організмів і відбувається тоді, коли в навколишньому середовищі є сприятливі умови.

Основними способами нестатевого розмноження є поділ навпіл, спороутворення, фрагментація та брунькування.

*Поділ навпіл* – спосіб розмноження в одноклітинних, за якого з однієї материнської клітини утворюються дві дочірні, причому удвічі дрібніші, кожна з яких дає новий самостійний організм (наприклад, у бактерій, архей, амеб, інфузорій).

*Множинний поділ (шизогонія)* – спосіб розмноження одноклітинних, за якого з однієї материнської клітини утворюється багато дочірніх. Такий спосіб нестатевого розмноження спостерігається у споровиків, представником яких є плазмодій малярійний.

*Брунькування* – спосіб розмноження, за якого на клітині (наприклад, у дріжджів) або тілі (наприклад, у губок, гідр, коралових поліпів) формується брунька-клітина чи брунька-багатоклітинний утвір, що згодом відокремлюється або залишається на все життя.

*Спороутворення* – спосіб розмноження, що здійснюється за участі спор, що формуються всередині одноклітинних організмів (наприклад, хлорели, хламідомонади) або в спеціалізованих органах багатоклітинних організмів (наприклад, у вищих спорових рослин)

*Фрагментація* – спосіб розмноження, за якого тіло багатоклітинної тварини ділиться поперечним поділом на багато частин, кожна з яких росте й утворює новий організм. У такий спосіб можуть розмножуватися нитчасті зелені водорості, багатощетинкові черви, морські зірки.

*Вегетативне розмноження* – спосіб розмноження, що здійснюється багатоклітинними частинами, які відокремлюються від материнського організму. Його основу становить явище регенерації. Ця форма розмноження найбільш характерна для квіткових рослин.

Отже, нестатеве розмноження обмежує різноманітність ознак у нових особин, але може за короткий сприятливий період забезпечити швидке утворення великої кількості нащадків з подібними ознаками.



## Яке значення статевого розмноження в природі?

**Статеве розмноження** – відтворення собі подібних за участі статевих клітин. Ці клітини містять гаплоїдний набір хромосом, оскільки у статевому розмноженні беруть участь дві батьківські особини. Обов'язковою умовою статевого розмноження є зустріч гамет і їхнє злиття – запліднення, що супроводжується утворенням повного й необхідного для розвитку нового організму диплоїдного набору хромосом. Гамети, що їх утворює чоловіча особина, називаються сперматозоонами (сперміями), а жіночі гамети – яйцеклітинами.

Основними способами статевого розмноження є поліембріонія, партеногенез, роздільностатевість та гермафродитизм.

**Поліембріонія** – процес розвитку кількох зародків з однієї заплідненої яйцеклітини. Поліембріонія досить поширена серед різних груп тварин (війчастих і кільчастих червів, іноді членистоногих, риб, птахів, ссавців). Як стале явище поліембріонія притаманна деяким комахам (наприклад, їздцям) і ссавцям (наприклад, броненосцям). Поліембріонія трапляється також у рослин. При цьому в одній насініні розвивається кілька зародків (тюльпани, лілія, латаття, суниця тощо). Додаткові зародки в насініні можуть розвиватися не тільки із заплідненої яйцеклітини, а й з інших клітин насініни без запліднення.

**Партеногенез** – спосіб розмноження, за якого розвиток нового організму здійснюється із незаплідненої яйцеклітини. За партеногенезу дочірні організми мають ідентичний з материнським набір спадкової інформації і розвиваються у видів, особини яких рідко зустрічаються між собою. Притаманний багатьом рослинам (квітковим) і безхребетним тваринам (попелицям, палочникам, коловерткам, деяким видам цвіркунів, метеликів та ос), а також деяким хребетним (рибам, амфібіям, ящіркам). Партеногенез може бути гаплоїдним (наприклад, у медоносної бджоли) й диплоїдним (наприклад, у попелиць), *факультативним* (необов'язковим) (мурахи) та *облігатним* (обов'язковим) (кавказька скельна ящірка). Партеногенез широко розповсюджений також у рослин, набуваючи різних форм. Наприклад, партенокарпія у бананів або цитрусових.

Чоловічі й жіночі гамети можуть утворюватися в одному організмі або в організмів різної статі, тому за цим критерієм виокремлюють такі способи розмноження, як роздільностатевість й гермафродитизм.

**Роздільностатевість** – спосіб статевого розмноження, за якого сперматозоони утворюються в чоловічому організмі, яйцеклітини – в жіночому (наприклад, у членистоногих, хребетних). Поширене це явище і серед квіткових рослин, у яких розрізняють одно- та дводомні рослини.

**Гермафродитизм** – спосіб статевого розмноження, за якого чоловічі та жіночі гамети розвиваються в одному організмі (наприклад, плоскі та малощетинкові черви, п'явки). Такий спосіб зменшує затрати енергії на пошук партнера, підвищує ймовірність залишити нащадків у організмів, що ведуть прикріпленій, паразитичний, малорухливий, глибоководний спосіб життя. У гермафродитів існують механізми, які запобігають самозаплідненню. У тварин це неоднчасне дозрівання чоловічих і жіночих гамет, певні особливості будови статевої системи. У рослин – одностатеві квітки (у *дво-* та *однодомних рослин*), розташування тичинок і маточок на різних рівнях за допомогою стовпчиків різної довжини (*гетеростилія*), неоднчасне дозрівання тичинок і маточок в одній квітці (*дихогамія*) та ін.

Отже, статеве розмноження має переваги над нестатевим, оскільки нові особини успадковують ознаки обох батьківських особин і тому мають можливість краще пристосовуватися до навколишнього середовища.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

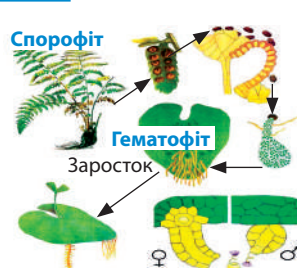
Порівняйте ознаки нестатевого й статевого розмноження та сформулюйте висновок про їхню роль у забезпеченні безперервності існування видів.

### Таблиця. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМ РОЗМНОЖЕННЯ ОРГАНІЗМІВ

Ознака	Нестатеве розмноження	Статеве розмноження
Поділ клітин		
Участь клітин		
Набір хромосом у клітинах		
Джерело мінливості		
Участь батьківських особин		
Ідентичність нащадків		
Основні способи розмноження		
Біологічне значення		

### Біологія + Біорізноманіття. Репродукція спорових рослин

Пригадайте цикл відтворення папоротей та назвіть його стадії. Яке значення має наявність у їхньому циклі покоління, що розмножуються нестатеве (спорофіта) та статеве (гаметофіта)? Оцініть переваги нестатевої та статевої репродукції у природі. Чому багато видів рослин поєднують у своєму циклі відтворення нестатеве й статеве розмноження?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Мистецтво. Художня репродукція

Порівняйте репродукції картин «Соняшники» Клода Моне, Ван Гога і Марії Приймаченко із природним соняхом – результатом біологічної репродукції. Що є спільного й відмінного між художньою й біологічною репродукцією?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке репродукція? 2. На яких рівнях відбувається репродукція біологічних видів? 3. Що таке нестатеве розмноження? 4. Назвіть основні форми нестатевого розмноження. 5. Що таке статеве розмноження? 6. Назвіть основні форми статевого розмноження.
7 – 9	7. Як забезпечується безперервність існування видів у часі? 8. Які особливості нестатевої форми розмноження? 9. Яке значення статевого розмноження в природі?
10 – 12	10. Порівняйте нестатеве та статеве розмноження.

*Природа не лише дивовижніша, аніж ми її уявляємо, –  
вона дивовижніша, аніж ми можемо собі уявити.  
Дж. Холдейн*

## § 54. Особливості регенерації організму людини

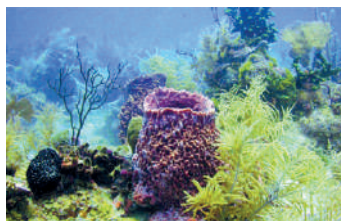
**Основні поняття й ключові терміни:** РЕГЕНЕРАЦІЯ. Фізіологічна регенерація. Репаративна регенерація.

**Пригадайте!** Що таке регенерація?



### **Поміркуйте!**

Губки за своєю здатністю до регенерації перевершують усі відомі багатоклітинні тваринні організми. Проведені дослідження показали, що навіть протерті крізь сито окремі клітини губок здатні у воді збиратися в скупчення й утворювати повноцінні особини. Яка властивість живого є основою цієї здатності?



### **ЗМІСТ**

#### **Які механізми регенерації?**

**РЕГЕНЕРАЦІЯ** (від лат. *regeneration* – відновлення) – це процеси відновлення організмом утрачених або пошкоджених частин, а також відтворення цілісного організму з певної його частини. Термін «регенерація» запропонував у 1712 р. французький учений Р. Реомюр (1683–1757), який вивчав регенерацію кінцівок річкового рака.

Регенерація є загальнобіологічним явищем і відбувається на усіх рівнях організації живих істот в усіх організмів. На **молекулярному рівні** відбуваються відновлення молекул, синтез регуляторних білків (наприклад, кейлонів, що гальмують мітоз), діяльність генів регенерації тощо (наприклад, у відновленні хвоста у ящірки задіяно 326 генів). На **клітинному рівні** здійснюється регенерація внутрішньоклітинної та клітинної форми. Для *внутрішньоклітинної регенерації* характерним є відновлення частин клітини, органел або їхніх компонентів, збільшення кількості клітин або їх розмірів. *Клітинна регенерація*, тобто відновлення утрачених або пошкоджених клітин, здійснюється завдяки мітозу і амітозу. При цьому найчастіше замінюються клітини тіла (наприклад, за участі проміжних клітин у губок й кишковопорожнинних), клітини пошкодженої тканини чи органа (наприклад, за участі стовбурових клітин) або стимулюється поділ клітин, що збереглися (наприклад, за участі чинників росту).

На **тканинному рівні** регенерація властива тканинам усіх типів, але найвища здатність до самооновлення притаманна у рослин твірним тканинам, у тварин – епітеліальним і сполучним. У випадку *повної регенерації* відбувається відновлення тканини, подібної до утраченої (наприклад, регенерація слизової оболонки кишечника), а у випадку *неповної регенерації* – на місці пошкодженої тканини утворюється інша (наприклад, у разі пошкодження епідермісу шкіри формується сполучнотканинний рубець).

На **рівні органів** здатність до регенерації не зникла, а набула форми (внутрішньоклітинної або клітинної), що відповідає їхній спеціалізації. Отже, всі тканини й органи мають здатність до регенерації, різними є лише її форми.

На **організмовому рівні** регенерація, наприклад, є основою їхнього нестатевого розмноження. Так, у бегоній з листового живця формується цілісний організм.

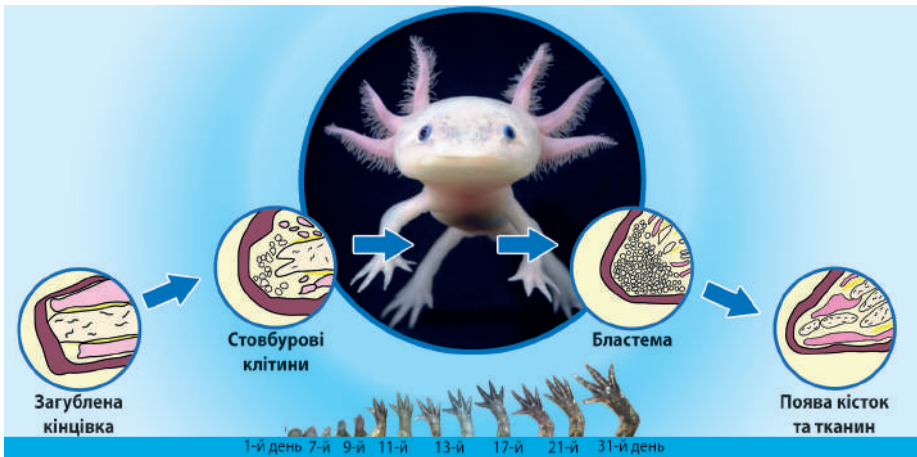
Отже, здатність до регенерації є фундаментальною властивістю усіх організмів і відбувається на всіх рівнях їхньої організації та всіх етапах їхнього розвитку – від зародків до найстаріших представників популяції.

### Які види та значення регенерації?

Основними видами регенерації є фізіологічна та репаративна.

**Фізіологічна регенерація** – це процес відновлення функціонуючих структур організму (органел, клітин, тканин, органів). Вона є проявом такої фундаментальної властивості живого, як самооновлення. Завдяки цій регенерації забезпечуються сталість складу внутрішнього середовища та нормальна життєдіяльність. Прикладами фізіологічної регенерації є відновлення епітелію слизових оболонок, рогівки ока, клітин крові, нейронів, кісткового мозку, печінки тощо. У багатьох тканинах існують спеціальні **камбіальні клітини**, що постійно поповнюють необхідний склад клітин. Наприклад, нервова тканина містить нейробласти, кісткова – остеобласти, хрящова – хондробласти, кістковий мозок – стовбурові клітини. У м'язових тканинах нещодавно відкрито клітини-сателіти, що можуть занурюватися всередину м'язових волокон і перетворюватися на ядра або саркоплазму. Інтенсивність відновлення в ділянках, що містять камбіальні клітини, є дуже великою. Так, циліндричний епітелій тонкого кишечника відновлюється через кожні 2–3 доби, клітини рогівки ока регенеруються через кожних 7–10 діб, еритроцити – 100–120 діб.

**Репаративна регенерація** – процес відновлення пошкоджених структур організму (органел, клітин, тканин, органів). Цей вид регенерації розгортається на підґрунті фізіологічної, тобто на основі тих самих механізмів, і відзначається лише більшою інтенсивністю проявів. Через те репаративну регенерацію розглядають як нормальну реакцію організму на uszkodження, що характеризується різким посиленням фізіологічних механізмів відтворення специфічних структур (іл. 122).



Іл. 122. Механізм репаративної регенерації втраченої кінцівки у личинки амбістоми – аксолотля

У біологічному аспекті регенерація є пристосувальним процесом, сформованим у ході еволюції, який притаманний усьому живому і спрямований на відновлення структури та функції тканини. Значення регенерації полягає в матеріальному *забезпеченні гомеостазу* на різних рівнях структурної організації. Регенерація забезпечує *відновлення* втрачених або ушкоджених *структур* організму або цілого організму. Крім того, завдяки регенерації організм відновлює втрачені у процесі життєдіяльності клітини й тканини (наприклад, оновлення клітин крові, шкіри, епітелію травного каналу). У водоростей й зелених рослин регенерація є *основою вегетативного розмноження*.

Отже, регенерація – процес відновлення функціонуючих й пошкоджених структур, а також здійснення розмножувальної функції.

### Які чинники впливають на процеси регенерації в організмі людини?

Вивчення процесів регенерації дало змогу встановити, що регенерація подібна до ембріогенезу. Тільки в разі ембріогенезу органи утворюються вперше, а в разі регенерації – вдруге. Спадкова основа цих процесів однакова. Під час регенерації діють ті самі механізми, внаслідок яких відбувається активація тих генів, що були активні в ембріональному періоді. Регенерацію варто розглядати як повторний розвиток, у якому головну роль відіграють нейрогуморальна регуляція, імунологічні чинники й функціональне навантаження, що стимулює відновлювальний процес.

Процес регенерації у людини залежить від цілої низки ендогенних і екзогенних чинників, якими визначаються інтенсивність розвитку і кінцевий результат процесу. Найбільш вагомими чинниками, що впливають на процес регенерації, є такі.

1. Вік. У підлітковому й юнацькому віці процеси регенерації відбуваються інтенсивніше і більш досконало, ніж у літніх або людей старечого віку.
2. Харчування й обмін. Виснаження, недоїдання, гіпо- або авітамінози (особливо дефіцит вітамінів С і D) істотно затримують й уповільнюють регенераційні процеси.
3. Гормональний фон. Порушення функціонування залоз внутрішньої секреції (особливо наднирників, гіпофіза, статевих залоз) зменшує швидкість процесів регенерації.
4. Стан кровотворення й кровообігу. Наявність анемії є доведеною у практиці ознакою зниження регенераційної здатності організму.
5. Стан центральної нервової системи. Гострі або хронічні стреси послаблюють процеси регенерації.

Можливості застосування регенерації для лікування людини вивчає **регенеративна медицина**. Найбільш вагомим результатом досягнуто в стоматології, лікування облісіння, очних, нервових, серцево-судинних хвороб.

Отже, вивчення проблем регенерації відкриває перспективи пізнання закономірностей, умов, механізмів процесів відновлення і розроблення методів впливу на них.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

Порівняйте види регенерації і сформулюйте висновок про загальні й відмінні особливості.

**Таблиця. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДІВ РЕГЕНЕРАЦІЇ**

Ознака	Фізіологічна регенерація	Репаративна регенерація
Визначення		
Значення		
Інтенсивність		
Приклади		

### Біологія + Медицина. Регенерація кісткової тканини

Пошкоджена кісткова тканина може зазнати низки стадій репаративного процесу й відновити свої анатомічну форму, структуру і функціональну придатність. У процесі відновлення кісткової тканини відбуваються складні зміни, що залежать від кровопостачання кістки, віку людини, загального стану організму. Назвіть основні стадії і поясніть, як відбувається зрощення кісток після перелому.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Міфологія. Особливості регенерації у людини

Явище регенерації відоме людям з глибокої давнини і відображено в багатьох міфах або казках. Натяк на відновлення органу є, наприклад, у грецькому міфі про Прометея. Коли він був прикутий до скелі за викрадення вогню, щоденно орел виїдав печінку, і щоденно вона відновлювалася. Підтвердженням тому є й один із подвигів Геракла – поєдинок з лернейською гідрою. А якими є особливості регенерації в організмі людини згідно із сучасними науковими дослідженнями?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке регенерація? 2. Назвіть дві форми регенерації 3. Що таке фізіологічна регенерація? 4. Наведіть приклади фізіологічної регенерації. 5. Що таке репаративна регенерація? 6. Наведіть приклади репаративної регенерації.
7 – 9	7. Які механізми регенерації? 8. Які види та значення регенерації? 9. Які чинники регенерації впливають на процеси в організмі людини?
10 – 12	10. На конкретному прикладі поясніть значення регенерації.

## § 55. Трансплантація тканин та органів у людини

Основні поняття й ключові терміни: **ТРАНСПЛАНТАЦІЯ. Трансплантологія.**

**Пригадайте!** Що таке тканини й органи? Що таке трансплантація?



### Знайомтеся!

Наукову трансплантологію започаткував метод судинних швів, який розробив у 1902 р. французький хірург **Алексіс Каррель** (1873–1944). Цей метод уможливив трансплантацію органів із збереженням кровообігу. Науковець став засновником експериментальної трансплантації життєво важливих органів й отримав Нобелівську премію з фізіології і медицини (1912). А що таке трансплантація?



### ЗМІСТ

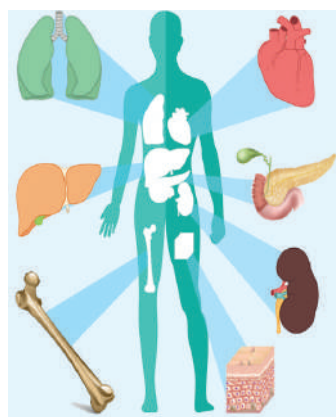
#### Які досягнення сучасної трансплантології?

**ТРАНСПЛАНТАЦІЯ** (від лат. *transplantatio* – пересаджування) – це заміщення пошкоджених чи відсутніх тканин або органів власними тканинами або тканинами й органами, що їх взято від іншого організму. Пересадку органів і тканин називають трансплантацією, а науку, що займається вивченням цього процесу, – трансплантологією. Ділянка органа, що пересаджують, називається трансплантатом. Організм, від якого одержують матеріал для трансплантації, називається донором; організм, якому пересаджують трансплантат, – реципієнтом (іл. 123).

Першу у світі трансплантацію нирки від померлої людини здійснив український лікар Ю. Ю. Вороний (1895–1961). Відбулася ця подія 3 квітня 1933 р.

Пересадка органів і тканин може відбуватися в межах того самого організму (*автотрансплантація*), між організмами одного виду (*алотрансплантація*) або між організмами різних видів (*ксенотрансплантація*).

У клінічній практиці найбільшого поширення набула пересадка тканин і частин органів, наприклад м'язів, сухожилок, шкіри, кісткової, хрящової і жирової тканин, судин, нервових стовбурів, кісткового мозку, печінки, серця. Особливим видом трансплантації є переливання крові, за якого враховуються група крові і резус-фактор донора і реципієнта. В офтальмології широко використовують пересадку рогівки ока за методом, розробленим академіком В. П. Філатовим (1875–1956). З числа органів, що їх трансплантують, найчастіше здійснюють пересадку нирки. Обнадійливі результати отримано в разі трансплантації шкіри, ендокринних залоз, зокрема яєчників, яєчок, щитоподібної та вилочкової залоз.



Іл. 123. Органи людини – трансплантати

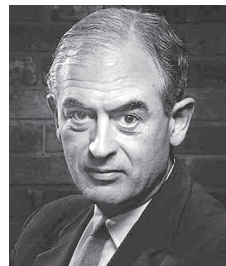
Отже, успіхи сучасної хірургії дають змогу здійснити технічно пересадку найважливіших для життєдіяльності тканин та органів.

### Яке головне завдання сучасної трансплантології?

**Трансплантологія** – розділ медицини, що вивчає пересадку тканин, органів або їх штучних замінників. Щорічно в світі здійснюється близько 100 тис. пересадок органів (нирок, серця, печінки, підшлункової залози, легень).

Введення в організм чужорідних білків, не властивих даній особині, викликає імунні реакції, спрямовані на знищення чужорідного білка і збереження сталості власного білкового складу. Відторгнення трансплантата відбувається через антигенну відмінність його від антигенів реципієнта. Реакція відторгнення трансплантата зумовлена антитілами. У цьому полягає трансплантаційний імунітет – надійний захист організму від чужорідних білків. Будь-який організм прагне до збереження імунологічного гомеостазу, тобто сталості антигенного складу тканин. *Через те подолання імунологічного бар'єра несумісності тканин – найскладніша проблема трансплантології.*

Проте іноді організм може сприймати чужі антигени як свої власні й не виробляти проти них антитіл. Таке явище назване *імунологічною толерантністю*, тобто толерантністю одного організму до антигенів іншого. Явище імунологічної толерантності було відкрито в 1953 р. чеським ембріологом М. Гашеком і англійським зоологом П. Медавара (*іл. 124*). Проведені ними експерименти показали: якщо на ембріональному етапі розвитку ввести в організм чужорідні білки (антигени), то надалі вже дорослі тварини сприйматимуть їх як свої власні. Організм буде до них толерантним. Дослідження М. Гашека і П. Медавара підтвердили гіпотезу Ф. Бернета (1949) про те, що створення імунологічного гомеостазу відбувається в ранній період розвитку організму, коли закладається і формується лімфоїдна тканина.



Іл. 124. П. Медавар (1915–1987)

Для подолання тканинної несумісності під час трансплантації використовують різні методи. До специфічних методів належать: а) добір донора й реципієнта за тканинною сумісністю; б) гальмування трансплантаційного імунітету (наприклад, застосування циклоспорину чи інших препаратів для профілактики реакції відторгнення); в) формування толерантності в реципієнта до антигенів донора. Неспецифічні методи діють на імунну систему всього організму. Вони гальмують не тільки трансплантаційний, а й інфекційний імунітет. Цього досягають різноманітними засобами: гальмуванням активності імунної системи, опроміненням, введенням спеціальної сироватки, гормонів та ін. Проте найважливіше завдання сучасної імунології – не просто загальмувати імунітет, а загальмувати саме трансплантаційний імунітет, зберігши функцію захисту організму від інфекцій.

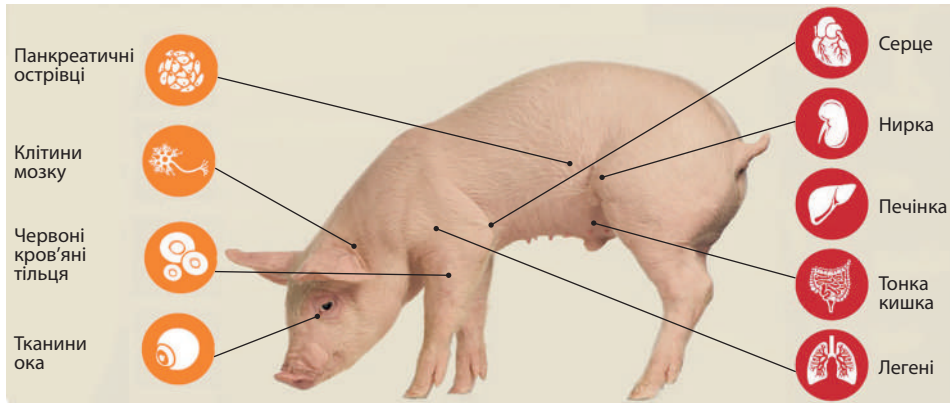
Отже, головним завданням трансплантології є подолання бар'єра біологічної несумісності.

### Які основні напрями розвитку сучасної трансплантології?

В останні десятиліття розвиваються три основні напрями трансплантології: 1) отримання штучних органів; 2) вирощування органів й тканин методом клонування; 3) використання трансплантатів від тварин (*іл. 125*).



Новим у трансплантології є розділ, пов'язаний зі створенням і застосуванням штучних органів для тимчасової або постійної заміни того чи іншого органа людини (**імплантація**). Так, наприклад, імплантованим органом можуть слугувати штучні клапани серця, що ними заміняють уражені. Застосовують трансплантацію протезів судин, кришталика ока, зроблених із синтетичних матеріалів. Є моделі мініатюрних мембранних оксигенаторів, легень, підшлункової залози, печінки, нирок, серця. Перспективним є отримання органів за допомогою 3D-принтерів.



Іл. 125. Тканини й органи свині, що їх використовують для трансплантації

*Вирощування окремих клітин, тканин і органів поза організмом на живильних середовищах і за певних умов називається експлантацією.* Цей метод використовують у наукових дослідженнях для з'ясування багатьох питань теоретичної і практичної біології та медицини. Клітинні культури використовують для отримання ділянок шкіри, деяких ферментів, антитіл. Останнім часом велике практичне значення має метод культивування клітин кісткового мозку. Культивувати в певних умовах можна також цілі ізольовані органи, узяті від живого або загиблого організму. Для цього використовують спеціальні камери, в яких створюють відповідні умови. Через судини органа пропускають кров або спеціальні розчини, насичені киснем, для підтримання його життєдіяльності. Досліди з відновлення функцій таких ізольованих органів, як серце і головний мозок, мали величезне значення для розвитку реаніматології.

Дуже подібними до людських є органи свині, кози, приматів. На сьогодні дослідники вже успішно видаляють ендogenous ретровіруси з геному свині, використовуючи техніку редагування генів CRISPR-Cas9, і вирощують свиней, позбавлених вірусів. Це, у свою чергу, усуває одну з найбільших перешкод для трансплантації органів від свиней до людини.

Отже, перспективи трансплантології пов'язують із вирощуванням органів й тканин, отриманням штучних органів і використанням органів і тканин від організмів інших видів.

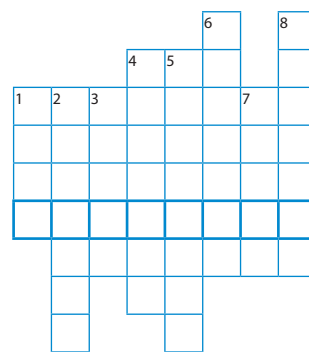


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Розв'язування кросворда

Сучасний стрімкий розвиток біології сприяв появі принципово нових методів регенерації й трансплантації, що є однією з причин розвитку науки про мо-

ральність поведінки людини у біологічно-медичній галузі й в сфері охорони здоров'я. Розв'язавши кросворд, ви отримаєте у виділених клітинках назву цієї науки. Підготуйте про неї коротке повідомлення.



1. Вид *Tolypocladium inflatum*, з продуктів життєдіяльності якого добувають природний циклоспорин – це паразитичний...
2. Більмо – це помутніння...
3. Організм, від якого отримують органи чи тканини.
4. Науковець, який започаткував у трансплантології метод судинних швів.
5. Речовини, що спричиняють відторгнення.
6. Український лікар, який здійснив першу у світі трансплантацію нирки.
7. Орган, що його найчастіше трансплантують у сучасній практичній медицині.
8. Науковець, один із авторів відкриття імунологічної толерантності.

### **Біологія + Література. Перспективи трансплантології**

Фантастика – жанр художньої літератури, в якому за допомогою додавання вигаданих, уявних елементів створюється світ, відмінний від сьогоденного, реально-го. Тему трансплантації органів розглядали у своїх фантастичних творах О. Беляєв («Голова професора Доуеля», «Людина-амфібія»), М. Булгаков («Собаче серце»), М. Ренар («Доктор Лерн»), К. Грунерт («Голова містера Стейла»). Що ж такого неможливого є в сучасній трансплантології? Оцініть найближчі перспективи цього розділу науки.



### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія + Кіно. Чому А. Шварценеггер завів міні-свинку?**

Кілька років тому назад актору Арнольду Шварценеггеру замінили один із клапанів серця. Трансплантацію здійснили успішно, і що цікаво, донором для актора стала свиня. Їй ще в зародковому стані було введено гени людини, що допомогли уникнути проблем відторгнення. З того часу Шварценеггер виключив з раціону свинину і його домашніми улюбленцями стали міні-свинки. Сформулюйте власні судження щодо експлантації тканин й органів.



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке трансплантація? 2. Які є види трансплантації? 3. Як називається наука про трансплантацію? 4. Назвіть основну проблему сучасної трансплантології. 5. Що таке експлантація? 6. Наведіть приклади органів і тканин, що їх трансплантують у людини найчастіше.
7 – 9	7. Якими є досягнення сучасної трансплантології? 8. Яким є головне завдання сучасної трансплантології? 9. Назвіть основні напрями розвитку науки про трансплантацію.
10 – 12	10. Оцініть перспективи трансплантології.

## § 56. Репродукція клітин

Основні поняття й ключові терміни: **РЕПРОДУКЦІЯ КЛІТИН. МІТОЗ. Амітоз.**

**Пригадайте!** Що таке репродукція?



### Поміркуйте!

Організм людини, за оцінками науковців, складається зі 100 000 ( $10^{14}$ ) млрд клітин. І більшість із цієї кількості клітин тіла замінюються новими кожні 7–10 років. Процес оновлення клітин відбувається по-різному в різних частинах тіла, але повне омолодження «з ніг до голови» триває близько 10 років. Завдяки чому відбувається «омолодження» організму людини?



### ЗМІСТ

#### Яке значення репродукції клітин?

Термін «репродукція» є загальнобіологічним поняттям, що характеризує відтворення на різних рівнях. Так, репродукція ДНК відбувається на молекулярному рівні, репродукція вірусів – на субклітинному, репродукція клітин – на клітинному, репродукція організмів – на організмовому.

**РЕПРОДУКЦІЯ КЛІТИН** – відтворення нових клітин шляхом поділу вихідної клітини. Відтворення клітин – це не просто виникнення двох клітин з однієї, а утворення двох клітин, які містять однакову спадкову інформацію, та ще й подібну до інформації батьківської вихідної клітини (іл. 126). За здатністю до репродукції клітини тваринного організму поділяють на чотири категорії: 1) *високоспеціалізовані клітини*, що не діляться (нейрони, клітини скелетних м'язів, кардіоміоцити); 2) *поновлювані клітини* (наприклад, ентероцити – клітини епітелію слизової оболонки кишечника, що живуть 5–10 днів і оновлюються за допомогою камбіальних клітин); 3) *стовбурові клітини* (зберігають здатність до поділу протягом всього життя організму і замінюють клітини, які гинуть); 4) клітини, які зазвичай не розмножуються, але за певних умов можуть дедиференціюватися і вступати у мітоз (наприклад, гепатоцити, які набувають здатності до поділу за репаративної регенерації).

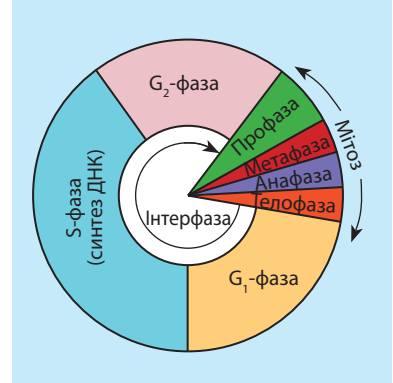
З репродукцією клітин пов'язані ріст організмів, фізіологічна й репаративна регенерація, нестатеве розмноження. Завдяки клітинному поділу забезпечується безперервність існування наступних поколінь клітин і цілих організмів, оскільки індивідуальне життя більшості клітин обмежене порівняно коротким терміном. Репродукція клітин у багатоклітинних організмів різко збільшує їх адаптивні можливості й створює необхідні передумови для індивідуального та історичного розвитку. Основним типами репродукції клітин є **мітоз** та **амітоз**.

Отже, репродукція клітин забезпечує безперервність існування наступних поколінь клітин і цілих організмів.

## Чим мітоз відрізняється від амітозу?

Репродукція клітин в організмі людини може відбуватися шляхом мітозу (непрямий поділ) і амітозу (прямий поділ).

**МІТОЗ** (від грец. *mitos* – нитка) – це поділ еукаріотичних клітин, внаслідок якого утворюються 2 дочірні клітини з таким самим набором хромосом, що й у материнської клітини. Мітоз у клітинному циклі відбувається після інтерфази, під час якої клітина росте, синтезує органічні сполуки, подвоює спадкову інформацію, запасає енергію та готується до мітозу. Мітоз умовно поділяють на 4 фази: профазу, метафазу, анафазу і телофазу (іл. 126).



Іл. 126. Клітинний цикл

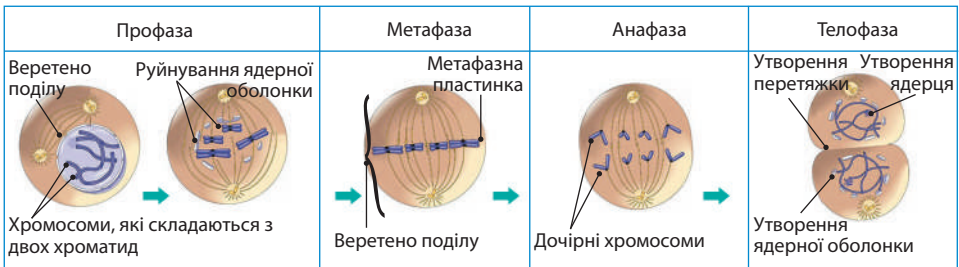
**Профаза** – фаза конденсації хромосом.

Основними процесами профазу є: 1) конденсація (ущільнення) двохроматидних хромосом; 2) розходження центріолей до полюсів; 3) зникнення ядерця; 4) розпад ядерної оболонки; 5) формування веретена поділу.

**Метафаза** – фаза розташування хромосом на екваторі клітини. Спостерігається прикріплення коротких ниток веретена поділу до центромер і розташування двохроматидних хромосом на екваторі клітини в один ряд.

**Анафаза** – фаза розходження хромосом. В анафазі відбуваються скорочення ниток веретена поділу та розходження однохроматидних хромосом до полюсів.

**Телофаза** – фаза деконденсації хромосом. Це свого роду «профаза навпаки», в якій відбуваються: 1) деконденсація однохроматидних хромосом; 2) розташування центріолей біля ядра; 3) формування ядерця; 4) утворення ядерної оболонки; 5) руйнування веретена поділу.



Іл. 127. Фази мітозу: 1 – профазу; 2 – метафазу; 3 – анафазу; 4 – телофазу

Біологічна роль мітозу полягає в точному відтворенні клітин, забезпеченні рівномірного розподілу хромосом материнської клітини між двома дочірніми клітинами і підтриманні сталості каріотипу. Мітоз є основою росту, регенерації й нестатевого розмноження організмів.

**Амітоз** – це прямий поділ клітин, що відбувається шляхом поділу ядра, без реплікації ДНК й конденсації хромосом та без утворення веретена поділу. Він властивий високоспеціалізованим клітинам (нейронам, хондроцитам, лейкоцитам крові, клітинам ендотелію кровоносних судин), клітинам пухлин, старіючим клітинам або клітинам, приреченим на загибель (наприклад, клітинам зародкових оболонок ссавців). Амітоз може супроводжуватись поділом клітини з утво-

ренням двох клітин з приблизно однаковою спадковою інформацією, а може обмежуватись поділом ядра без поділу цитоплазми, що приводить до утворення дво- та багатоядерних клітин (іл. 128). Амітоз порівняно з мітозом трапляється рідше і відіграє другорядну роль у клітинному поділі організмів, оскільки клітини після амітозу зберігають функціональну активність, поділитися уже не можуть. Біологічна роль амітозу – це швидке поповнення клітинних популяцій у процесі репаративної регенерації.

Отже, мітоз є основним способом репродукції еукаріотичних клітин тіла, що визначає ріст, фізіологічну регенерацію та нестатеве розмноження еукаріотів; амітоз – трапляється рідше й забезпечує репаративну регенерацію.

### Які чинники впливають на мітоз?

На мітоз впливають зовнішні й внутрішні, внутрішньоклітинні й позаклітинні чинники. Пусковим чинником для мітотичного поділу клітин є співвідношення об'ємів ядра і цитоплазми. Велику роль відіграє також синтез ДНК і міжклітинні взаємодії.

До важливих *зовнішніх чинників* регуляції мітозу відносять добові ритми. Так, у тварин, яким притаманний нічний спосіб життя, максимум мітозу припадає на день, а у денних тварин й людини – на ніч. Гамма-промені впливають на мітоз, спричиняючи в клітинах глибокі порушення. Мітотичні хромосоми змінюють форму, розриваються, окремі ділянки хромосом можуть зникати. Рентгенівські промені призводять до тимчасового припинення мітозу, але якщо клітини не загинули від опромінення, то мітотичний поділ поступово відновлюється. Мітоз гальмується високою температурою, високими дозами йонізуючої радіації, дією рослинних отрут (наприклад, алкалоїд колхіцин, що виділений з бульбоцибулин пізньовітуса осіннього, має здатність пригнічувати утворення мітотичного веретена).

*Внутрішніми чинниками* регуляції мітозу є впливи системи нейрогуморальної регуляції, зумовлені дією гормонів надниркових залоз, гіпофіза, щитоподібної і статевих залоз. Так, для активації клітинного циклу потрібний прогестерон, що є чинником росту. Мітоз жорстко регулюється як самою клітиною (наприклад, зміною синтезу циклінів й циклін-залежних ферментів), так і її оточенням (наприклад, відсутністю контактів з подібними клітинами або впливом гормонів). Ще одним чинником регуляції є послідовність здійснення стадій мітозу. Крім того, встановлено, що після певної кількості поділів вмикається генетична програма, що не допускає розмноження нащадків цієї клітини.

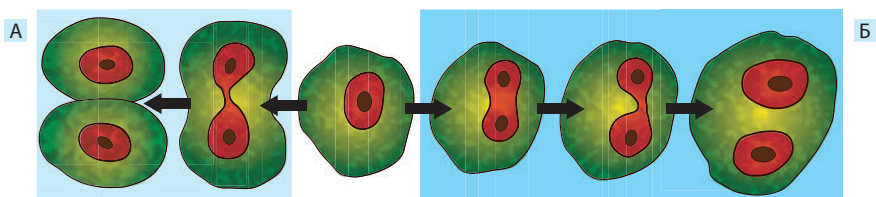
Отже, на початок, перебіг і завершення мітозу впливають різні зовнішні та внутрішні чинники.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з таблицею

Розгляньте схему амітозу. Порівняйте цей поділ соматичних клітин із мітозом. Заповніть у робочому зошиті таблицю «Порівняльна характеристика мітозу й амітозу» та сформулюйте висновок про їхню подібність й відмінності.



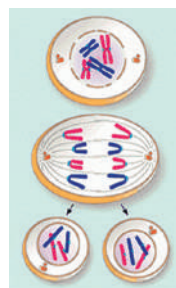
Іл. 128. Схема амітозу з утворенням двох клітин (А) і двоядерної клітини (Б)

Ознака	Мітоз	Амітоз
1. Для яких клітин властивий?		
2. Поділ ядра		
3. Спіралізація й конденсація хромосом		
4. Утворення веретена поділу		
5. Клітини, утворені з материнської		
6. Функціонування клітин		
7. Біологічна роль		

### Розв'язування вправ. Мітоз

**Вправа 1.** Обчисліть, скільки клітин утвориться внаслідок 8 послідовних мітозів 4 соматичних клітин в організмі людини. Скільки хромосом буде в кожній з них, якщо в материнських клітинах їх міститься по 23 пари?

**Вправа 2.** В ядрі соматичної клітини на стадії профазі мітозу міститься  $13,68 \cdot 10^{-9}$  мг ДНК. Яка кількість ДНК буде в ядрі соматичної клітини одразу після завершення мітозу?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Наука. Регуляція клітинного циклу

Л. Гартвелл, Р. Гант і П. Нерс отримали Нобелівську премію в галузі фізіології і медицини 2001 р. за відкриття ключових регуляторів клітинного циклу. Вони віднайшли ключові молекули – цикліни і циклін-залежні ферменти, що регулюють клітинний цикл в еукаріотів. Оцініть значення наукового відкриття регуляторних молекул клітинного циклу для практичної діяльності людини?



Л. Гартвелл

Р. Гант

П. Нерс



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке репродукція клітин? 2. Назвіть основні типи репродукції клітин. 3. Що таке мітоз? 4. Що таке амітоз? 5. Наведіть приклади зовнішніх чинників регуляції мітозу. 6. Назвіть приклади внутрішніх чинників регуляції мітозу.
7 – 9	7. Яке значення репродукції клітин? 8. Чим мітоз відрізняється від амітозу? 9. Які чинники впливають на мітоз?
10 – 12	10. Яке практичне значення має відкриття регуляторних молекул клітинного циклу?

## § 57. Ріст і розвиток клітин та чинники, що на нього впливають

Основні поняття й ключові терміни: **ЦИТОГЕНЕЗ. Ріст клітин. ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ КЛІТИН. Детермінація клітин.**

**Пригадайте!** Що таке клітина?



### Поміркуйте!

**Закон взаємного переходу кількісних змін в якісні** – це загальний закон розвитку: *кількісні зміни поступово накопичуються й спричиняють зміну якості об'єкта або явища, що здійснюється стрибкоподібно*. Будь-який предмет або явище має певну якість, що відрізняє його від інших предметів та явищ, і певну кількість, що характеризує його щодо розмірів, об'єму, маси тощо. Чи справедливий цей закон для життя клітин?

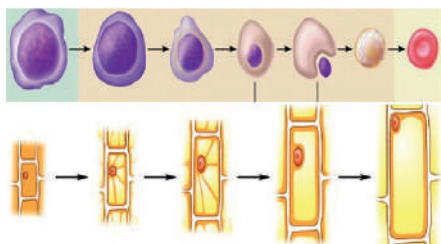


### ЗМІСТ

#### Які відбуваються ріст і розвиток клітин?

**ЦИТОГЕНЕЗ** – це ріст й розвиток клітин, що супроводжуються взаємопов'язаними кількісними й якісними перетвореннями. Після свого утворення клітини починають «кількісно» рости й «якісно» розвиватися. Прикладом цитогенетичних перетворень є утворення клітин крові, сперматогенез, овогенез тощо.

**Ріст клітин** – це сукупність кількісних змін, що зумовлюють збільшення розмірів, маси та об'єму клітин. Ріст клітин визначається переважанням анаболічних процесів синтезу над катаболічними процесами розпаду речовин. Усі клітини здатні до росту, але в кожній з них він відбуватиметься з певними особливостями, що залежать від зовнішніх та внутрішніх чинників. На ріст клітин впливають температура, наявність поживних речовин й води, відсутність шкідливих чинників, функції, pH середовища тощо. Із внутрішніх чинників виокремимо генетичну інформацію та наявність чинників росту. *Чинники росту* – природні білки, що зв'язуються із рецепторами на поверхні клітин і стимулюють процеси росту. Крім того, чинники росту важливі для регулювання різноманітності клітинних процесів.



Іл. 129. Ріст й розвиток еритроцита (вгорі) і рослинної клітини (внизу)

**Розвиток клітин** – це сукупність якісних змін, що ведуть до появи відмінностей порівняно з попередніми стадіями. У результаті розвитку виникає новий стан клітини, що визначається змінами її хімічного складу, будови й життєдіяльності. Ці зміни мають незворотний, напрямлений та закономірний характер. Під час розвитку відбуваються зміни в цитоплазмі клітин унаслідок її взаємодії з ядром.

Процесам росту й розвитку притаманні певні обмеження, що стримують збільшення розмірів й зміну форми в певних межах (іл. 129). Зі збільшенням лінійних розмірів вдвічі площа поверхні клітини збільшується в 4 рази, а об'єм – у 8 разів. Це має важливе значення для обміну речовин, енергії та інформації із зовнішнім для клітини середовищем. Розміри клітин обмежуються передусім ефективністю дифузії, що забезпечує транспортування важливих йонів, елементів і молекул у цитоплазмі й крізь клітинну мембрану.

Знання цитогенезу кожної клітини і того, як гени контролюють їхній нормальний розвиток, допоможуть науковцям розкрити механізми виникнення захворювань і впливати на самооновлення клітин.

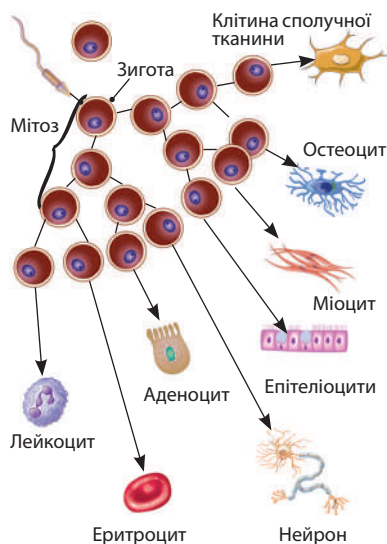
Отже, цитогенез клітин є нерозривною взаємопов'язаною єдністю процесів їхнього росту й розвитку.

### Які клітини є вихідними в процесах цитодиференціації?

Диференціація (від лат. *differentia* – відмінність) клітин – це утворення різних клітин із початково однорідних, що забезпечує таку важливу для організмів різноманітність (іл. 130). Генетичний матеріал клітин при цьому залишається незмінним. Диференціація клітин створює різноманітність форми, функцій й поведінки, не порушуючи при цьому єдності організмів. А відмінності між клітинами, які мають однаковий набір генів, визначає **диференціальна активність генів**. У процесі диференціації вмикаються гени, під дією яких клітина перетворюється на певний один тип, і пригнічуються за участі спеціальних білків гени, які могли б спрямувати її по іншому шляху диференціації.

Диференціація клітин в організмі людини й хребетних тварин відбувається в ембріогенезі завдяки *зародковим стовбуровим клітинам* і продовжується у постембріогенезі завдяки *стовбуровим клітинам дорослого організму*. Їх можна виявляти практично в кожній тканині дорослого організму, в якому вони беруть участь в регенерації, загоєнні ран. Показано, що кількість стовбурових клітин в організмі зростає при фізичних навантаженнях, у стресових ситуаціях і зменшується з віком.

Стовбурові клітини за своїми можливостями (потенцією) поділяють на такі основні категорії: 1) *тотипотентні клітини* – клітини, які можуть диференціюватися в будь-який тип клітин організму і з яких може утворитися цілий організм (наприклад, зигота, бластомери); 2) *плюрипотентні клітини* – клітини, які також можуть дати початок кожному типу клітин, але новий організм з них утворитися вже не може (наприклад, мезенхімні клітини, які дають початок клітинам крові, хрящової, кісткової та гладкої м'язової тканини); 3) *уніпотентні клітини* – клітини, які можуть перетворюватися лише на клітини одного типу (наприклад, клітини епітелію шкіри, сперматогоніїв).



Іл. 130. Схема диференціації клітин



Отже, **ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ КЛІТИН**, або **цитодиференціація**, – процес виникнення структурних і функціональних відмінностей між клітинами, в результаті чого ці клітини стають спеціалізованими для різних процесів життєдіяльності багатоклітинних організмів.

### Які чинники визначають розвиток клітин?

**Детермінація клітин** (від лат. *determinatio* – визначення) – сукупність процесів, які спрямовують розвиток клітин. Це процес визначення шляху розвитку клітини та виникнення якісної своєрідності клітин. Єдиної теорії механізму детермінації у науці поки що немає. Науковці вважають, що детермінація відбувається внаслідок дії низки чинників, основними з яких є такі.

1. **Диференціальна активність генів.** Диференціація клітин відбувається без змін генотипу, тобто всі клітини мають певний набір генів, властивий організму, але експресія цих генів регулюється таким чином, що різні клітини синтезують різні білки і стають спеціалізованими клітинами. Основними механізмами, що зумовлюють вибіркочу діяльність генів, є: а) генетичні механізми регуляції (на рівні транскрипції, процесингу РНК, трансляції і післятрансляційної модифікації білків); б) епігенетичні механізми регуляції (РНК-інтерференція, метилювання, регуляція на рівні хроматину).
2. **Цитоплазматичний розподіл** (сегрегація), в результаті чого якісно відмінні ділянки цитоплазми зиготи потрапляють в різні дочірні клітини. Цитоплазма впливає певним чином на активацію або гальмування генів, що приводить до синтезу певних молекул РНК, а тим самим і синтезу білків, даного типу клітин.
3. **Ембріональна індукція** – взаємовпливи поруч розміщених клітин.
4. **Інтеграція клітин** – це сукупність процесів, що забезпечують існування клітин у сталих або тимчасових клітинних комплексах для виконання певних функцій. У таких комплексах першочергову роль відіграють міжклітинні контакти. Завдяки інтеграції проявляються властивості біологічних систем, що є ефектом взаємодії клітин. Ці нові властивості, яких немає в окремих клітин і які виникають в клітинних комплексах, називаються *емерджентними* (від лат. *emergo* – виникаю).

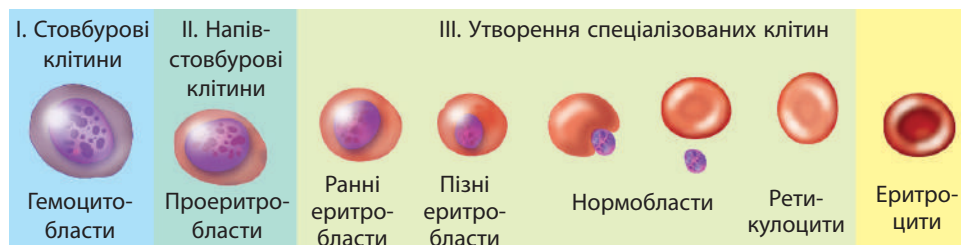
Отже, основними чинниками детермінації розвитку клітин є низка внутрішніх і зовнішніх для клітини біологічних, хімічних та фізичних впливів на її спадкову інформацію.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з ілюстрацією

Перед вами ілюстрація процесу диференціації еритроцитів (еритропоезу). Застосуйте свої знання та ілюстрацію для виконання тестового завдання. За умови правильних відповідей отримаєте прізвище науковця, який відкрив еритроцити. Назвіть особливості розвитку еритроцитів, відображених на ілюстрації.



### Тест-конструювання «Розвиток еритроцитів»

- Де утворюються еритроцити в організмі дорослої людини?  
**К** у печінці **Л** у червоному кістковому мозку  
**М** у нирках **Н** у селезінці
- Укажіть вихідні клітини, з яких починається еритропоез.  
**Д** уніпотентні стовбурові **Е** плюрипотентні гемацитобласти  
**Є** проеритробласти **Ж** ретикулоцити
- Скільки триває процес диференціації еритроцитів у нормі?  
**А** 100 – 120 днів **Б** 50 – 60 днів  
**В** 3 – 5 днів **Г** упродовж одного дня
- Які клітини є безпосередніми попередниками еритроцитів?  
**В** гемоцитобласти **Г** еритробласти  
**Д** нормобласти **Е** ретикулоцити
- Де утворюється гормон еритропоетин, що регулює еритропоез?  
**К** у наднирковій залозі **Л** у печінці  
**М** у тимусі **Н** у нирках
- Які вітаміни необхідні для росту й розвитку еритроцитів?  
**А** тіамін й аскорбінова кислота **Б** ретинол і ніотинова кислота  
**В** ергокальциферолі **Г** ціанкобаламін і фолієва кислота
- Які біоеlementи необхідні для еритропоезу?  
**У** Ферум і Кобальт **Ф** Натрій і Кальцій  
**Х** Хром і Нікель **Ц** Алюміній і Магній
- Яка функція визначає особливості будови еритроцитів?  
**К** дихальна **Л** захисна  
**М** зсідання крові **Н** поживна



#### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Наука. Індуковані стовбурові клітини

Лауреатами Нобелівської премії 2012 р. з фізіології і медицини стали британський біолог Д. Гердон та японський науковець С. Яманак «за роботи в галузі біології розвитку і отримання індукованих стовбурових клітин». Їхні експерименти доводять, що кожна клітина має здатність перепрограмувати себе, щоб знову стати юною і перетворитися на будь-яку клітину дорослого організму. В чому суть їхніх експериментів і яке значення цього відкриття для медицини?



Д. Гердон

С. Яманак



#### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке цитогенез? 2. Які процеси є його основою? 3. Що таке диференціація клітин? 4. Назвіть основні категорії стовбурових клітин? 5. Що таке детермінація клітин? 6. Назвіть основні чинники, що визначають диференціацію клітин.
7 – 9	7. Які відбуваються ріст і розвиток клітин? 8. Які клітини є вихідними в процесах цитодиференціації? 9. Які чинники визначають розвиток клітин?
10 – 12	10. На конкретному прикладі охарактеризуйте процес утворення, росту й диференціації клітин.

## § 58. Старіння та смерть клітин

Основні поняття й ключові терміни: **СТАРІННЯ КЛІТИН. СМЕРТЬ КЛІТИН. АПОПТОЗ. НЕКРОЗ.**

**Пригадайте!** Що таке клітинний цикл?



### Поміркуйте!

У світлі сучасних гіпотез старіння організмів, яких налічують понад 200, науковці виокремлюють найчастіше 9 ключових ознак: *геномну нестабільність, теломерні скорочення, мітохондріальну дисфункцію, епігенетичні зміни, втрату білкового гомеостазу, нестачу й порушення надходження поживних речовин – нутрієнтів, виснаження стовбурових клітин, зміни міжклітинної комунікації та клітинне старіння.* А що таке старіння клітин (англійською мовою – *cellular senescence*)?



### ЗМІСТ

#### **Які ознаки старіння клітин?**

Уперше клітинне старіння описав в 1965 р. Л. Гейфлік (нар. 1928). Було встановлено, що нормальні клітини втрачають здатність до репродукції після певної кількості поділів. Подальші дослідження у цьому напрямі виявили, що в процесі старіння клітин змінюється не лише їхня здатність до поділу, а й структура та функціонування усіх її складників.

**Поверхневий апарат.** У клітинній мембрані спостерігаються ущільнення і потовщення, зменшення інтенсивності транспортування речовин, кількості міжклітинних контактів

**Цитоплазма.** Змінюється щільність гіалоплазми, що позначається на інтенсивності біохімічних реакцій й біофізичних процесів. Однією зі сталих ознак старіння клітин є морфологічні й функціональні зміни мітохондрій. Коли старіюча клітина виявляє значне ушкодження своєї ДНК, вона продукує сигнали, що спонукають мітохондрії до утворення вільних радикалів, які «змушують» клітину гинути або припинити процес поділу. Ще однією з вікових змін клітини є збільшення кількості лізосом, їх руйнування й вивільнення ферментів, що спричиняє пошкодження органел і мембрани. Ознаками клітинного старіння є й накопичення в залишкових тільцях пігменту старіння (ліпофусцину), зміна відповіді на дію чинників ростоу.

**Генетичний апарат.** З віком клітин змінюється структура хроматину, зменшується транскрипційна активність еухроматину та швидкість реплікації ДНК, втрачає ефективність система репарації ДНК. Потужними активаторами старіння є двониткові розриви ДНК, що виникають внаслідок дії йонізуючої радіації (альфа-, бета-, гамма- й рентген-промені).

У клітинах з віком проявляються не лише процеси старіння, а й розвиваються процеси антистаріння. Їх перебіг забезпечують природні генотипні (наприклад,

системи репарації ДНК, система антиоксидантів, система мітосомального окиснення чужорідних речовин) та фенотипні (наприклад, підвищення інтенсивності гліколізу, поява багатоядерності й поліплоїдії у клітинах, збільшення об'єму мітохондрій за умов зниження їхнього числа, гіпертрофія апарату Гольджі) механізми.

Таким чином, навіть цей далеко не повний перелік вікових змін указує на те, що старіння клітин є дуже складним процесом, що охоплює усі її складові. Попри багаторічні ґрунтовні дослідження ще не з'ясовано причини старіння. Існує ряд гіпотез клітинного старіння, серед яких: *молекулярно-генетичні гіпотези* (вікові зміни є спадково запрограмованими), *теломерна гіпотеза* (скорочення теломер після кожного подвоєння хромосом і втрата здатності до поділу), *гіпотеза вільних радикалів* (причиною клітинного старіння є шкідливі впливи вільних радикалів), *гіпотеза виснаження стовбурових клітин* (уповільнюють свій поділ і не так часто перетворюються на соматичні клітини), *гіпотеза порушення білкового гомеостазу* (накопичення пошкоджених й змінених білків) та ін.

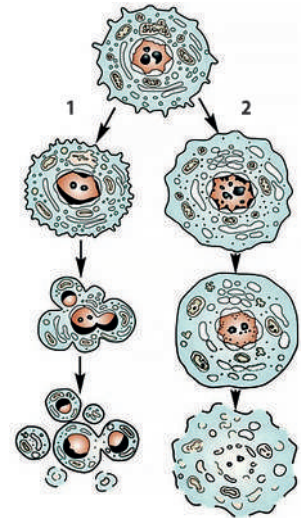
Отже, **СТАРІННЯ КЛІТИН** – це природний закономірний і незворотний процес вікових змін будови й функцій клітин, що спричиняє зниження їхніх адаптивних можливостей.

### Чому клітини гинуть?

Смерть клітин може наставати як у нормі, так і в разі патології. Гинуть клітини в ембріональному розвитку (під час формування тканин і органів) й у дорослому організмі внаслідок старіння, в разі втрати функцій і під дією шкідливих чинників. Розрізняють два види загибелі клітин: апоптоз і некроз (іл. 131).

**Апоптоз** – генетично запрограмована загибель клітини, в якій провідну роль виконують внутрішньоклітинні механізми. Цей вид загибелі клітин є енергетично залежним й регульованим процесом. У разі апоптозу ядро й цитоплазма діляться на кілька частин, не відбувається руйнування клітинної мембрани, вміст клітин не потрапляє в позаклітинне середовище й не спричиняє запалення. Особливе значення апоптоз має в ембріональному розвитку, коли відбувається зміна ембріональних зачатків. У зрілому організмі апоптоз забезпечує клітинний гомеостаз – відносну сталість складу тканин і органів, а в разі старіння чи патології регулює кількість клітин в органах відповідно до зниження функціональних можливостей організму. Апоптоз також відіграє важливу роль в разі зараження інфекційними агентами, зокрема вірусними, у ліквідації пухлинних клітин.

**Некроз** – це загибель клітин у результаті незворотного пошкодження під дією шкідливих чинників. До них належать перегрівання, переохолодження, нестача кисню, порушення кровопостачання, дія отрут, хімічних препаратів, механічні травми. Цей процес генетично не запрограмований, є пасивним і не потребує затрат енергії. У разі некрозу відбуваються



Іл. 131. Загибель клітин:  
1 – апоптоз; 2 – некроз

хаотичне руйнування клітинних мембран й органел, вивільнення ферментів й розщеплення вмісту. Некроз клітин супроводжується запаленням, що спричинене продуктами розпаду клітин. Реакція запалення – це основна фізіологічна відмінність некрозу від апоптозу.

Отже, загибель клітин може бути природним або патологічним процесом, що відбувається під дією генів або шкідливих чинників середовища.

### Які причини і наслідки порушень клітинного циклу?

**Клітинний цикл** – це період існування клітини від одного поділу до іншого (іл. 132). Регуляція клітинного циклу здійснюється гормонами, чинниками росту, білками-циклінами і циклін-залежними ферментами, без яких неможливий перехід до поділу.

Наслідками порушення клітинного циклу є втрата здатності певних клітин до поділу, старіння клітин, загибель клітин, виникнення пухлин.

Причинами порушень клітинного циклу можуть бути нестача поживних речовин, зміни впливів чинників росту, пошкодження ДНК, порушення подвоєння молекул ДНК і розходження хроматид, вірусні гени, зовнішні шкідливі впливи тощо.

Основними етапами клітинного циклу є інтерфаза та мітоз. Однак не всі клітини проходять ці етапи. Так, нестача поживних речовин або чинників росту змушує клітину переходити у фазу спокою ( $G_0$ -фаза), упродовж якої поділу не відбувається.

Прикладом порушення регуляції клітинного циклу є неконтрольований поділ клітин й виникнення пухлин. У нормі клітина, в якій пошкоджена ДНК, не вступає в S-фазу. У разі мутацій або епігенетичних змін генів, що відповідають за поділ клітин і цілісність геному (протоонкогени, антионкогени, гени-мутатори), аномальні клітини починають швидко розмножуватись. Як наслідок розвиваються новоутворення. Одним із механізмів захисту від них є апоптоз. Водночас є гени (антионкогени), що пригнічують утворення ракових пухлин.

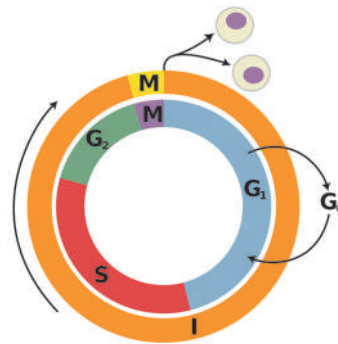
Отже, порушення клітинного циклу зумовлюють генетичну нестабільність та порушення диференціації клітин.



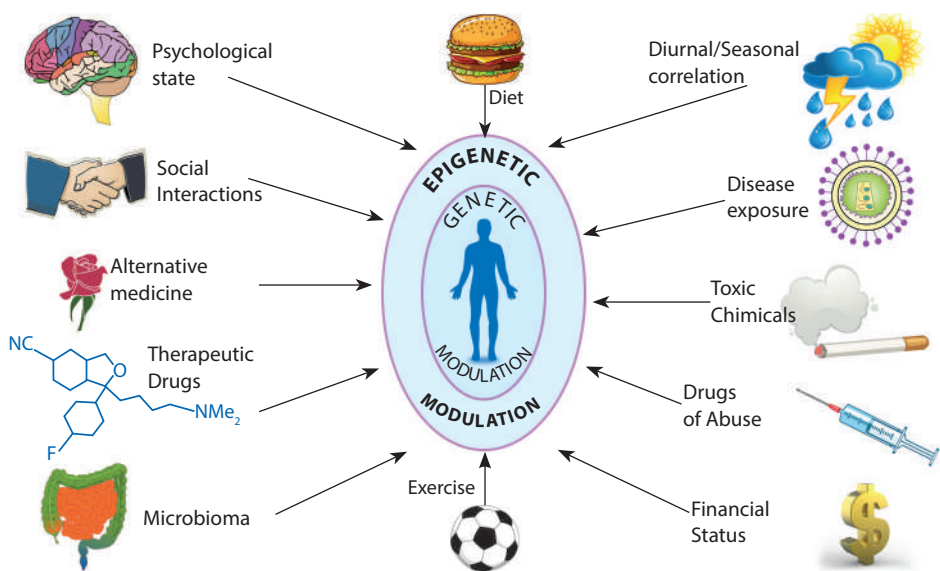
### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Самостійна робота з ілюстрацією

Геронтологія – наука, що вивчає процес старіння організму людини. В сучасній геронтології швидко розвивається новий напрям досліджень, пов'язаний з описом епігенетичних механізмів вікових змін. Розгляньте схему, яка ілюструє епігенетичні чинники, що впливають на процес старіння людини, перекладіть й назвіть їх. Сформулюйте власні судження про вплив способу життя на процес старіння людини.

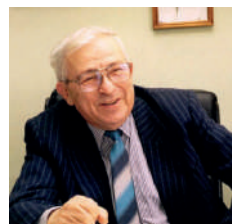


Іл. 132. Етапи й фази клітинного циклу:  
M – мітоз; I – інтерфази  
( $G_1$  – пресинтетична фаза;  
S – синтетична фаза;  
 $G_2$  – постсинтетична фаза;  
 $G_0$  – фаза спокою)



### Біологія + Геронтологія. Адаптаційно-регуляторна гіпотеза старіння

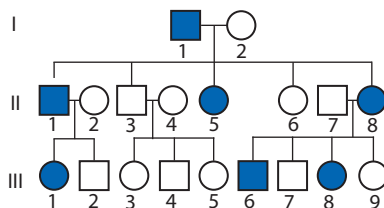
Одночасно з руйнуванням і деградацією, характерними для процесу старіння, в ході еволюції виникли й процеси, спрямовані на виживання й підвищення стійкості біологічних систем. Це механізми антистаріння. Вперше на них звернув увагу видатний український учений **В. В. Фролькіс** (1924–1999). У чому суть адаптаційно-регуляторної гіпотези старіння Фролькіса?



#### СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Генеалогія. Успадкування ознак у людини

Синдактилія у людини є вадою розвитку й спадковим захворюванням, що характеризується повним чи частковим зрощенням між собою двох і більше сусідніх пальців рук або ніг. Розвивається внаслідок порушення загибелі клітин, завдяки чому в нормі досягається розділення пальців. Оцініть значення знань про загибель клітин для генетики й медицини.



#### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке старіння клітин? 2. Наведіть приклади ознак старіння клітин. 3. Що таке апоптоз? 4. Що таке некроз? 5. Наведіть приклади чинників, що порушують клітинний цикл. 6. Назвіть основні наслідки порушення клітинного циклу.
7 – 9	7. Які ознаки старіння клітин? 8. Чому клітини гинуть? 9. Які причини і наслідки порушень клітинного циклу?
10 – 12	10. Обґрунтуйте судження про вплив способу життя на старіння людини.

## § 59. Онкологічні захворювання та онкогенні чинники

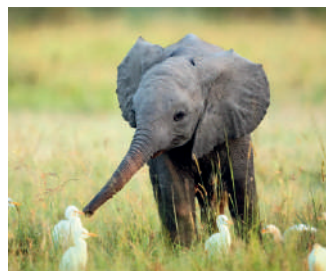
**Основні поняття й ключові терміни: ОНКОЛОГІЧНІ ЗАХВОРЮВАННЯ. Онкогенні чинники. Профілактика онкологічних захворювань.**

**Пригадайте!** Що таке захворювання?



### Новини науки

У живій природі є тварини, які майже не хворіють на рак. Для прикладу досить часто називають слонів. Чому ж слони не вразливі до онкологічних захворювань? В їхньому геномі наявні гени, що виявляють ушкодження і вмикають механізми апоптозу. У людини цей ген наявний в єдиному екземплярі, в той час як у слонів їх є 20 копій. Що таке онкологічні захворювання та яка роль генів у їх виникненні?



### ЗМІСТ

#### Яка роль генів у виникненні онкологічних захворювань?

**ОНКОЛОГІЧНІ ЗАХВОРЮВАННЯ** (від грец. *онкос* – пухлина і *логос* – наука) – це спадкові порушення, що зумовлені появою в організмі змінених (трансформованих) соматичних клітин. Ці хвороби супроводжуються утворенням пухлин доброякісного (аденома, папілома, ліпома) або злоякісного (рак, саркома, аденокарцинома, лімфома) характеру. Онкозахворювання – це друга з основних причин смертності у світі після серцево-судинних. Найпоширенішими онкологічними захворюваннями є *рак легень, молочних залоз, передміхурової залози, товстої кишки, шкіри, лейкоз*.

Трансформовані клітини характеризуються низкою особливостей: нерегульований безмежний ріст, неконтрольований поділ, порушення диференціації, здатність до інфільтрації (вростання в навколишні тканини) та знищення сусідніх нормальних клітин, можливість мігрувати по організму й утворювати *метастази* – вторинні колонії в органах і тканинах. В організмі тварин й людини трансформації зазнають найбільшою мірою клітини епітеліальних тканин.

Перетворення нормальних клітин на трансформовані визначаються *змiнами генів*, відповідальних за регуляцію клітинного циклу, диференціації та запрограмованої загибелі клітин. Крім мутацій у трансформованих клітинах відбуваються й зміни експресії деяких генів. Гени, причетні до розвитку онкозахворювань, зазвичай поділяють на три групи – протоонкогени, антионкогени та гени-мутатори.

**Протоонкогени** – гени, нормальна функція яких полягає в стимуляції поділу клітини та пригніченні апоптозу. До цієї групи відносять також гени, що стимулюють проростання судин в орган або тканину. Мутації цих генів стимулюють розвиток новоутворень, і при цьому вони перетворюються на **онкогени**. **Антионкогени**, або **гени-супресори** пухлин, – гени, нормальна функція яких полягає в затриманні процесів поділу клітин та активації апоптозу. Для розвитку новоутворення в більшості випадків потрібна інактивація обох алелів генів. **Гени-мута-**

**тори** – гени, нормальна функція яких полягає в підтриманні цілісності геному. Їхня інактивація унаслідок мутацій є причиною збільшення частоти мутацій будь-яких генів, у т. ч. протоонкогенів і генів-супресорів.

Отже, виникнення та розвиток онкологічних захворювань пов'язані з діяльністю протоонкогенів, онкогенів, антионкогенів і генів-мутаторів.

### Які чинники спричиняють онкологічні захворювання?

**Онкогенні чинники** – це чинники, що можуть спричинити або прискорювати розвиток новоутворення. Вони можуть призвести до незворотної дії або пошкодження в тих частинах генетичного апарату, що здійснюють контроль над соматичними клітинами.

Причинами змін генів і розвитку новоутворень можуть бути зовнішні та внутрішні, природні й антропогенні, неорганічні й органічні чинники. Близько 80 % усіх випадків онкозахворювань виникають під дією зовнішніх хімічних, фізичних й біологічних компонентів середовища і мають випадковий (спорадичний) характер (наприклад, травматизація шкіри й слизових оболонок). До внутрішніх чинників, що сприяють розвитку онкологічних захворювань, належать генетична схильність, мутації, порушення імунної системи та діяльності ендокринних залоз тощо, що є причиною близько 20 % онкохвороб.

За пріоритетністю небезпеки на першому місці називають **хімічні онкогенні чинники** (бензпірен, нітрозосполуки, важкі метали – нікель, хром, миш'як, кадмій, берилій, кобальт, свинець, діоксини). Ці хімічні сполуки потрапляють до організму людини різними шляхами: через повітря (наприклад, при вдиханні пилу із азбесту або тютюнового диму), травний канал (наприклад, нітрозосполуки, що утворюються під час смаження м'яса, вживання алкоголю), крізь шкіру (наприклад, продукти горіння палива).

**Фізичним онкогенним чинником** є йонізуюче випромінювання. Застосування рентгенівського випромінювання в медицині збільшило загрозу ризику під час обстеження та лікування, тому існують суворі показання до проведення рентгенографії. Ультрафіолетове опромінення в надмірних дозах сприяє розвитку раку шкіри і меланоми (особливо у білошкірих і рудоволосих людей).

До **біологічних онкогенних чинників** належать віруси, бактерії (наприклад, гелікобактер пілорі), рослини алкалоїди, мікотоксини (наприклад, афлатоксини цвілевих грибів), паразитичні тварини. Віруси, що спричиняють новоутворення, називають онковірусами. До цієї групи належать ретровіруси лейкоми людини, аденовіруси саркоми, паповавіруси папілом, герпесвіруси раку шийки матки та ін. Онкогенні віруси трансформують заражену клітину за рахунок онкогенів, наявних у геномі вірусу. До основних інфекцій, що ініціюють онкологічні захворювання, належать віруси папіломи людини, гепатиту В і С. Ці віруси найчастіше відповідальні за рак шийки матки, шлунка та печінки (іл. 133). Причинами онкологічних захворювань можуть бути й гельмінти. У разі шистосоматозу (причи-



Іл. 133. Папілома і вірус папіломи



ною є кров'яні сисуни) в сечовому міхурі й прямій кишці нерідко утворюються папіломи і карциноми, опісторхозу (причина – котячий сисун) – часто розвивається рак печінки.

Отже, виникнення трансформованої клітини і наявність умов для її розмноження в організмі визначаються дією зовнішніх і внутрішніх онкогенних чинників

### **Які заходи профілактики онкологічних захворювань?**

**Профілактика онкозахворювань** – це комплекс заходів, спрямованих на попередження захворювань та усунення чинників ризику. Основним чинником, що зумовлює розвиток онкологічних захворювань, є старіння. З віком збільшується ймовірність виникнення онкоклітин і послаблення функції імунної системи. Більшість онкозахворювань розвиваються в осіб старших за 55 років, тому для цієї вікової категорії особливо важливо звертати увагу на появу незвичних симптомів і регулярно обстежуватися.

Значну роль у розвитку онкологічного захворювання відіграє спадковість: за наявності онкологічної патології у батьків, братів та сестер ризик виникнення такого самого захворювання підвищується у 1,5 – 2 рази. У розвитку онкологічної патології має значення раціон харчування, що містить велику кількість тваринних жирів, солі, вуглеводів, консервантів або хімічних барвників, вживання копченої, консервованої, смаженої їжі. Корекція стилю життя та зменшення впливу чинників ризику знижують імовірність захворіти на рак приблизно на 40 %.

У багатьох випадках рак можна попередити профілактичними заходами. Поради дуже прості. Потрібно відмовитися від куріння, вживання алкогольних напоїв, регулярно займатися фізичною культурою й підтримувати нормальну масу тіла. Також потрібно правильно харчуватися, вживати овочі, фрукти, клітковину, обмежити вживання консервів, копчених страв, ковбас, сосисок. Краще з'їсти шматочок відварного м'яса. Смажити страви не рекомендується, оскільки під час смаження виділяються канцерогени; краще варити або тушкувати. Здійснюйте профілактику інфекційних хвороб, захищайте шкіру від ультрафіолетового випромінювання і проходите профілактичні огляди. Якщо дотримуватися цих простих порад зі здорового способу життя, то можна відчутно скоротити ризик захворіти.

Отже, найзагальнішими заходами профілактики онкозахворювань є:

- 1) організація правильного харчування;
- 2) відмова від шкідливих звичок;
- 3) позитивні емоції;
- 4) активний спосіб життя;
- 5) профілактичні огляди.



### **ДІЯЛЬНІСТЬ**

#### **Самостійна робота на доведення**

**Міжнародний класифікатор хвороб** є загальноприйнятою класифікацією для кодування медичних захворювань. Класифікатор складається з 21 розділу, кожен з яких містить підрозділи з кодами хвороб і станів. Зіставте назви запропонованих захворювань із розділами міжнародного класифікатора хвороб. За умови правильних відповідей отримаєте ім'я лікаря, який уперше назвав злоякісну

пухлину карциномою (від грец. *карцинос* – краб). Доведіть зв'язок новоутворень з іншими захворюваннями людини.

1 Новоутворення	А Гастрит, панкреатит
2 Паразитарні захворювання	Г Меланома, лейкоз
3 Хвороби крові	І Ентеробіоз, опісторхоз
4 Хвороби ендокринної системи	К Катаракта, глаукома
5 Хвороби нервової системи	О Менінгіт, енцефаліт
6 Хвороби ока	П <sub>1</sub> Анемія, метгемоглобінемія
7 Хвороби органів дихання	П <sub>2</sub> Цукровий діабет, гіпертиреоз
8 Хвороби органів травлення	Р Фарингіт, пневмонія
9 Хвороби шкіри	Т Вітіліго, дерматити

### **Біологія + Психологія. Способи боротьби з негативними емоціями**

Людина, яка живе з позитивними емоціями й думками, не схильна до захворювань. Дуже важливу роль у профілактиці пухлин відіграють саме оптимізм й уміння справлятися зі своїм негативними емоціями в різноманітних стресових ситуаціях. А якими є основні способи боротьби з негативними емоціями? Висловіть судження щодо ролі позитивних емоцій у профілактиці онкологічних захворювань.



### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія + Суспільство. Всесвітній день боротьби проти раку**

Цей день відзначають щорічно 4 лютого. Метою проведення заходів у цей день є підвищення обізнаності щодо онкологічних захворювань. Відомо, що виникненню майже 50% цих захворювань можна було б запобігти за допомогою норм здорової поведінки. Якими є ці норми поведінки? Оцініть важливість профілактики онкологічних захворювань.

4 лютого -  
Всесвітній день  
боротьби проти  
раку



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке онкологічні захворювання? 2. Наведіть приклади онкозахворювань. 3. Що таке онкогенні чинники? 4. Назвіть основні групи онкогенних чинників. 5. Що таке профілактика онкозахворювань? 6. Назвіть найзагальніші заходи профілактики онкозахворювань.
7 – 9	7. Які гени беруть участь у розвитку онкозахворювань? 8. Які чинники спричиняють онкозахворювання? 9. Які заходи профілактики онкозахворювань?
10 – 12	10. Оцініть важливість профілактики онкологічних захворювань.

## § 60. Мейоз. Особливості гаметогенезу в людині.

### Статеві клітини

Основні поняття й ключові терміни: **МЕЙОЗ. ГАМЕТОГЕНЕЗ. СТАТЕВІ КЛІТИНИ.**

**Пригадайте!** Що таке статеве розмноження?



#### Поміркуйте!

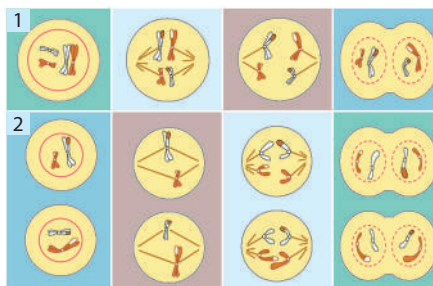
Одним із загальних законів розвитку є **закон єдності та боротьби протилежностей**: кожний предмет, явище, процес є суперечливою єдністю протилежностей, що взаємопроникають, переходять одна в одну, перебувають у стані єдності й боротьби. Чи справедливий закон для мейозу та гаметогенезу?



#### ЗМІСТ

**Яке значення мейозу в збільшенні біорізноманіття організмів?**

**МЕЙОЗ** (від грец. *мейозіс* – зменшення) – це поділ еукаріотичних клітин, внаслідок якого утворюються дочірні клітини з удвічі меншим набором хромосом. Значення мейозу полягає у підтримці стабільності хромосомних наборів, що забезпечує спадковість, та в створенні нових сполучень батьківських й материнських генів, що сприяє мінливості. Мейоз має низку особливостей, що відрізняють його від інших способів поділу клітин, а саме:



Іл. 134. Схема мейозу: мейоз I (1) і мейоз II (2)

- відбувається у 2 послідовні етапи – мейоз I та мейоз II, кожний з яких складається з 4 фаз: профазі, метафазі, анафазі і телофазі (іл. 134);
- на першому етапі мейозу розподіляються гомологічні хромосоми з утворенням гаплоїдного набору хромосом, тому цей поділ називають редукційним (мейоз I); зменшення кількості хромосом удвічі забезпечує можливість поєднання клітин і відновлення нормального диплоїдного каріотипу;
- стан спадкової інформації після першого поділу вже видозмінений завдяки **рекомбінації ДНК**, що забезпечує перерозподіл генетичної інформації та виникнення нових комбінацій генів; рекомбінація ДНК між гомологічними хромосомами є одним із визначальних процесів збільшення спадкової різноманітності ознак;
- на другому етапі розходяться хроматиди гомологічних хромосом, тому поділ називається екваційним (мейоз II);
- загальним результатом мейозу є утворення клітин з гаплоїдним набором хромосом і різними комбінаціями генів; саме ці клітини беруть участь у заплідненні й статевому розмноженні, якому жива природа завдячує своїм різноманіттям.

Отже, мейоз є ключовим механізмом спадкової мінливості, що притаманний усім організмам, яким властиве статеве розмноження.

### Які особливості гаметогенезу в людини?

**ГАМЕТОГЕНЕЗ** – процес утворення й дозрівання статевих клітин. Розвиток гамет у людини відбувається в яєчниках і сім'яниках яєчок. Процеси утворення чоловічих й жіночих гамет є послідовними й відбуваються упродовж **стадій розмноження, росту, дозрівання й формування** з певними особливостями.

**Таблиця 8. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗВИТКУ ЧОЛОВІЧИХ І ЖІНОЧИХ ГАМЕТ**

Стадія	Сперматогенез	Овогенез
Розмноження	В ембріогенезі з утворенням сперматогоніїв	В ембріогенезі з утворенням овогоніїв
Росту	У статевозрілому віці з утворенням сперматоцитів I-го порядку	В ембріогенезі з утворенням овоцитів I-го порядку
Дозрівання	У статевозрілому віці з утворенням сперматид. Мейоз рівномірний	Починається в ембріогенезі й продовжується з настанням статевої зрілості. Мейоз нерівномірний з утворенням овоцита II-го порядку та неполярних тілець
Формування	У статевозрілому віці з утворенням сперматозоонів	Немає

У дівчаток до 7 місяця ембріогенезу утворюється близько 7 мільйонів овогоніїв, але далі більшість із них зазнає апоптозу; у новонародженої дівчинки залишається близько 400 000 овоцитів I-го порядку. Далі вони вступають в профазу мейозу, і поділ зупиняється. Під час статевого дозрівання первинні овоцити продовжують мейотичний поділ, стають вторинними овоцитами і починають вивільнюватися один за одним, у процесі овуляції. Однак завершення мейозу в людини відбувається вже після запліднення. Перехід овоцитів у стадію дозрівання продовжується упродовж усього репродуктивного періоду і зазвичай закінчується на 45 – 50-му році життя.

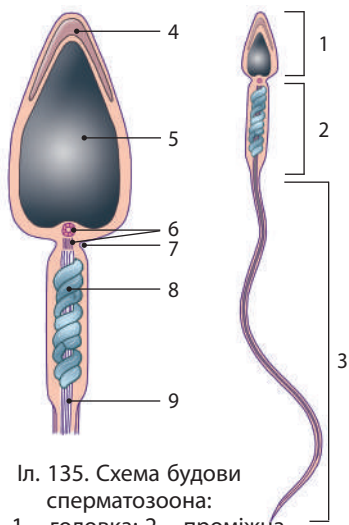
У чоловічому організмі, на відміну від жіночого, утворення гамет починається після настання статевої зрілості й продовжується до старості.

Отже, овогенез відрізняється від сперматогенезу завершенням стадії розмноження ще в ембріогенезі та відсутністю стадії формування.

### Чому чоловічі та жіночі гамети різняться між собою?

**СТАТЕВІ КЛІТИНИ (гамети)** – це клітини з гаплоїдним набором хромосом, які виконують функцію передачі спадкової інформації від особин батьківського покоління нащадкам під час статевого розмноження.

Чоловічі гамети називаються **сперматозоонами**. Це здебільшого рухливі клітини, які виконують такі функції: 1) передають половину спадкової інформації від батьківського організму; 2) забезпечують активацію процесів яйцеклітини після її запліднення; 3) вносять в яйцеклітину центріолі для організації її поділів. Функції сперматозоонів зумовлюють їхні видовжену форму, дрібні розміри й специфічну будову. Розміри чоловічих гамет у людини коливаються в межах 50–70 мкм. Нормальні сперматозоони мають головку, проміжну частину й хвіст (іл. 135). Головка містить ядро з гаплоїдним набором хромосом (22A+X або

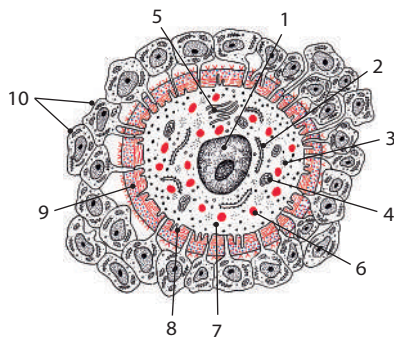


Іл. 135. Схема будови сперматозоона:  
 1 – головка; 2 – проміжна частина; 3 – хвостова частина;  
 4 – акросома; 5 – ядро;  
 6 – центріолі клітинного центру;  
 7 – шийка; 8 – мітохондрія спіралеподібна; 9 – мікротрубочки

22A+Y), тоненький шар цитоплазми і акросому з ферментами для розщеплення оболонки овоцита. У шийці містяться дві центріолі, одна з яких розростається й утворює осьову нитку. Інша центріоля залишається під ядром і разом із ним може проникнути в яйцеклітину. Проміжна частина містить мітохондрії у вигляді спіральної нитки, АТФ та глікоген для рухів клітини. Хвіст має апарат з 20 мікротрубочок, які забезпечують переміщення клітин зі швидкістю близько 50 мкм/с.

**Яйцеклітини** – жіночі статеві клітини. Це здебільшого нерухливі клітини, що мають кулясту форму для кращого переміщення фалопієвими трубами до матки. Для яйцеклітин властиві такі функції: 1) передавання спадкової інформації від материнського організму; 2) упорядкування процесів запліднення; 3) накопичення запасів поживних речовин для розвитку зиготи. Через те яйцеклітини мають

значно більші розміри, ніж сперматозоони. Так, діаметр яйцеклітини людини становить 130 – 200 мкм. У людини в заплідненні бере участь овоцит II порядку (іл. 136). Ззовні овоцит вкритий фолікулярною оболонкою, що утворена ще клітинами яєчника. Фолікулярні клітини утворюють ворсинки, що формують променистий вінець та блискучу оболонку. Загалом оболонки виконують захисну, поживну та бар'єрну функції. Під нею розташована плазматична мембрана, а далі кортикальний шар із гранул. Цитоплазма яйцеклітини називається овоплазмою і містить велику кількість жовткових включень, багато мітохондрій, рибосом, розвинуті ЕПС й комплекс Гольджі. Ядро лежить в ділянці, вільній від цитоплазми, і має гаплоїдний набір хромосом (22A+X).



Іл. 136. Схема будови овоцита II порядку в людини: 1 – ядро; 2 – ЕПС; 3 – овоплазма; 4 – мітохондрія; 5 – комплекс Гольджі; 6 – жовткові включення; 7 – кортикальні гранули; 8 – плазматична мембрана; 9 – блискуча оболонка; 10 – фолікулярна оболонка

Отже, особливості будови, хімічного складу та процесів життєдіяльності гамет визначаються їхніми функціями.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Лабораторна робота 3

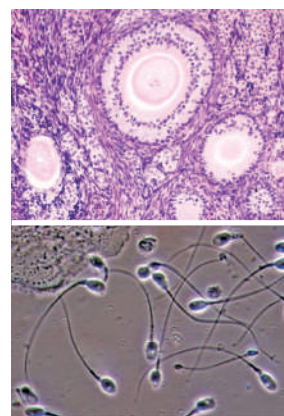
#### Вивчення будови статевих клітин людини

**Мета:** ознайомитись з особливостями будови статевих клітин людини; закріпити знання про будову гамет людини у взаємозв'язку з їхніми функціями; закріпити навички роботи з мікроскопом.

**Обладнання:** мікроскопи, мікропрепарати, електронно-мікроскопічні фотографії яйцеклітин і сперматозоонів, дидактичні картки зі схемами будови гамет.

### Хід роботи

1. Розгляньте овоцит людини під мікроскопом, на ілюстраціях підручника і запропонованій мікрофотографії. Замалюйте в робочий зошит та підпишіть елементи будови, що ви їх розпізнали.
2. Розгляньте сперматозоони людини під мікроскопом, на ілюстраціях підручника, на запропонованій мікрофотографії. Замалюйте в робочий зошит та підпишіть елементи будови, які ви розпізнали.
3. Порівняйте гамети людини і заповніть таблицю.



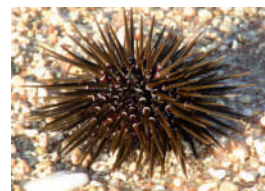
### Порівняльна характеристика яйцеклітин і сперматозоонів

Ознаки	Яйцеклітини	Сперматозоони
Набір хромосом		
Особливості будови		
Де утворюються?		
Розміри		
Форма		
Поживні речовини		
Здатність до руху		
Функції		

4. Сформулюйте висновок

### Розв'язування вправ. Мейоз

У ядрі первинної статеві клітини морського їжака міститься  $3,6 \cdot 10^{-9}$  мг ДНК. Яка маса ДНК міститиметься в клітинах: а) на стадії профазі I; б) на стадії профазі II; в) в ядрі яйцеклітини після мейозу II; г) в ядрі сперматозоона після мейозу II?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Латина. *Ab ovo*

*Ab ovo* – у дослівному перекладі «з яйця». Стійкий фразеологічний зворот, який означає «із самого початку». Застосуйте знання про будову й утворення гамет у людини та доведіть справедливість латинського виразу *Ab ovo*.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке мейоз? 2. Назвіть два етапи мейозу. 3. Що таке гаметогенез? 4. Назвіть стадії гаметогенезу. 5. Що таке гамети? 6. Назвіть особливості будови яйцеклітин та сперматозоонів людини.
7 – 9	7. Яке значення мейозу в збільшенні біорізноманіття організмів? 8. Які особливості гаметогенезу в людини? 9. Чому чоловічі та жіночі гамети різняться між собою?
10 – 12	10. Порівняйте статеві клітини людини.

## § 61. Суть та біологічне значення запліднення

Основні поняття й ключові терміни: **ЗАПЛІДНЕННЯ. Зигота.**

Пригадайте! Що таке запліднення?



### Знайомтеся!

«Перш аніж буде чоловік, має бути хлопчик. Перш ніж хлопчик – була дитина, а перед нею – зародок. Варто запитати й далі, а що ж було перед зародком? Перші нитки природи майже завжди приховані, ніби в нічній темряві, й через свою тонкість так само не підкоряються гостроті розуму, як і гостроті ока». Тим не менш, опираючись на результати своїх досліджень, видатний лікар і природознавець Вільям Гарвей (1578–1657) сформулював свій відомий принцип *Omne vivum ex ovo* («Все живе з яйця»).



### ЗМІСТ

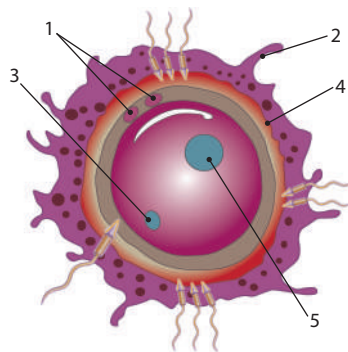
**В чому суть та біологічне значення запліднення?**

**ЗАПЛІДНЕННЯ** – процес злиття чоловічої гамети з яйцеклітиною з утворенням диплоїдної зиготи, яка дає початок новому організму. В основі запліднення, злиття ядер жіночої й чоловічої статевих клітин, що довів ще в 1875 р. німецький зоолог Оскар Гертвіг (1849–1922) на основі досліджень запліднення в морського їжака.

Запліднення характеризується значною різноманітністю різновидів. Так, у справжніх тварин розрізняють *зовнішнє* й *внутрішнє*, у зелених рослин – *одинарне* та *подвійне*. За участю чоловічих гамет у заплідненні розрізняють *моно-* і *поліспермію*. Гамети можуть різнитися будовою, що зумовлює різні способи статевого розмноження: *ізогамія* (гамети обох організмів однакові за розмірами й рухливі), *анізогамія* (гамети неоднакові за розмірами й рухливі), *оогамія* (яйцеклітина велика нерухлива, чоловіча – дрібна й рухлива) (ил. 137).

Під час запліднення відбувається злиття яйцеклітини й сперматозоона і поєднання лише двох ядер з гаплоїдними наборами хромосом. У результаті виникає **зигота** – *запліднена яйцеклітина з диплоїдним набором хромосом і новими комбінаціями генів*. Термін ввів німецький ботанік Е. Страсбургер (1844–1912).

Запліднення є досить складною сукупністю різних процесів, у яких бере участь багато різних речовин, наприклад статеві гормони (андрогени й естрогени) та *гамони* (андрогамони й гіногамони). Гамони – це речовини, що виділяються гаметами і впливають на запліднення.



Ил. 137. Запліднений овоцит людини: 1 – цитоплазма; 2 – променистий вінець; 3 – ядро сперматозоона; 4 – блискавча зона; 5 – ядро овоцита

Біологічне значення запліднення полягає в тому, що: 1) відбувається відновлення хромосомного набору, притаманного даному виду; 2) забезпечується безперервність між поколіннями організмів; 3) спостерігається збільшення спадкового різноманіття, оскільки нащадки поєднують у собі ознаки як материнського, так і батьківського організмів; 4) завдяки вибірковості запліднення й комбінаційній мінливості забезпечується існування виду в часі.

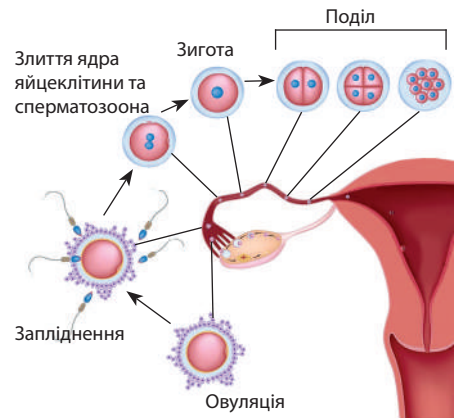
Отже, запліднення – це складний процес, сутність якого полягає в злитті гамет з утворенням зиготи, а біологічним значенням є забезпечення різноманітності особин.

### Як відбувається запліднення в людини?

У кожного виду організмів є певні особливості запліднення, але основні стадії подібні. У процесі запліднення розрізняють 3 етапи: дистантну взаємодію та активація сперматозоонів, контактну взаємодію й активізацію яйцеклітини та проникнення сперматозоона в яйцеклітину з наступним злиттям ядер. Запліднення в людини внутрішнє, здійснюється шляхом моноспермії у верхній частині маткових труб жінки після овуляції – виходу овоцита з яєчника (іл. 138).

**I етап. Дистантна взаємодія та активація сперматозоонів** починаються із внутрішнього осіменіння, що забезпечує потрапляння чоловічих гамет у жіночий організм. Сперматозоони набувають здатності до запліднення лише після того, як проведуть близько 7 год у статевих шляхах жінки. Їхня активація здійснюється секретами залоз матки та андрогамонами, що утворюються багатьма чоловічими гаметами. У сперматозоонів перебудовується глікокалікс, посилюється рухливість, змінюється проникність для йонів тощо. Здатність до запліднення чоловічі гамети зберігають упродовж 36 – 88 год.

**II етап. Контактна взаємодія й активізація яйцеклітини** є стадією переходу жіночих гамет від стану спокою до активного розвитку. Запліднення відбувається лише за певної концентрації чоловічих гамет. Це пояснюється необхідністю наявності певної кількості ферменту (гіалуронідази), що розщеплює фолікулярну оболонку овоцита. Гамети зустрічаються у маткових трубах вже за кілька годин після статевого акту. Лише один з близько 450 млн сперматозоонів може запліднити овоцит. Проникнення сперматозоона в жіночу гамету крізь її оболонку відбувається таким чином. Після рецепторної взаємодії з цитоплазми овоцита в місці дії ферментів акросоми утворюється сприймальний горбик (акросомальна реакція), який захоплює головку й шийку і втягує їх всередину разом із центріолями та спіральною мітохондрією. Після проникнення вторинний овоцит змінює обмін речовин, втрачає фолікулярну оболонку, й з кортикальних гранул формує оболонку запліднення (кортикальна реакція).



Іл. 138. Послідовність процесів запліднення у людини



**III етап. Злиття гаплоїдних ядер обох клітин** (синкаріогамія) супроводжується відновленням диплоїдного набору хромосом. На цій стадії відбувається генетичне визначення статі. Статеві клітини жінки мають 22A+X, а гамети чоловіків містять 22A+X або 22A+Y (де А – нестатеві хромосоми; Х, Y – статеві хромосоми). Якщо під час запліднення до яйцеклітини з 22A+X хромосомами потрапляє сперматозоон з 22A+X хромосомами, то утворюється зародок жіночої статі, а якщо з 22A+Y хромосомами – зародок чоловічої статі. Активація зиготи до поділу розпочинається вже через кілька годин після запліднення. Воно продовжується впродовж кількох діб за рахунок накопичених поживних речовин цитоплазми.

Отже, основними стадіями запліднення є активація сперматозоонів, активація яйцеклітин та їхнє злиття й злиття гаплоїдних ядер.

### **Які причини порушення процесів запліднення в людини?**

У заплідненні беруть участь гамети, що утворюються статевими залозами. До зниження функцій статевих залоз у чоловіка й жінки можуть призводити шкідливі звички, операції й травми, опромінення, хіміотерапія, запалення сечостатевої системи, різноманітні віруси та захворювання, що передаються статевим шляхом (хламідіоз, гонорея, сифіліс, трихомоніаз), порушення функцій ендокринної системи.

Стан здоров'я жіночого організму – це основний чинник успішного запліднення. Причинами порушення нормального стану жінки можуть бути: нерегулярний менструальний цикл і відсутність овуляції, гормональні порушення, новоутворення, особиста гігієна тощо. На запліднення чинить вплив й вік жінки. Найкращий період для зачаття дитини – це 22 – 30 років. Жіноча репродуктивна система працює менш активно після 35 років, знижується якість генетичного матеріалу яйцеклітин, зростає кількість порушень функцій жіночих статевих органів. Причиною порушень процесів запліднення може бути непрохідність маткових труб, що виникає через запальні захворювання та утворення спайок. Медичний аборт різко підвищує ризик виникнення запального процесу в трубах. Вискоблювання порожнини матки під час видалення заплідненої яйцеклітини неминуче травмує і місця з'єднання з нею маткових труб.

Гамети людини мають обмежену тривалість життя і ще менш тривалий термін здатності до запліднення. Так, у людини овоцит зберігає спроможність до запліднення лише впродовж 24 год. Сперматозоони чоловіка в статевих шляхах жінки запліднювальну здатність можуть втрачати вже через 48 год. Таким чином, здатність гамет до запліднення залежить від умов середовища внутрішніх жіночих органів.

Страх відповідальності за дитину, хвилювання через невпевненість в успішному виношуванні плоду також можуть перешкоджати заплідненню.

Отже, причинами порушень процесів запліднення в людини можуть бути фізіологічні й психологічні чинники.



### **ДІЯЛЬНІСТЬ**

#### **Самостійна робота на зіставлення. Запліднення в людини**

Зіставте запропоновані біологічні терміни та отримайте у таблиці відповідей наукову назву процесів запліднення. Яке походження цього поняття? Визначте за допомогою цих термінів особливості процесу запліднення в людини.

1 Овуляція	А Жіночі статеві гормони
2 Зигота	Е Запліднена яйцеклітина
3 Синкаріогамія	З Чоловічі статеві гормони
4 Гіалуронідаза	І <sub>1</sub> Утворі сперматозоонів з ферментами
5 Еякуляція	І <sub>2</sub> Статевий орган для розвитку зародка
6 Гамони	И Сім'явипорскування
7 Акросома	Л Речовини гамет для впливу на запліднення
8 Андрогени	Р Злиття гаплоїдних ядер чоловічої й жіночої гамет
9 Естрогени	Т Фермент акросоми для розщеплення оболонки яйця
10 Кросинговер	Ф Вихід яйцеклітини з яєчника
11 Матка	Ц Обмін ділянками між гомологічними хромосомами
12 Жовте тіло	Я Утворі, що виникає в яєчнику після овуляції

### Біологія + Харчова промисловість. Пиво й стан репродуктивної системи

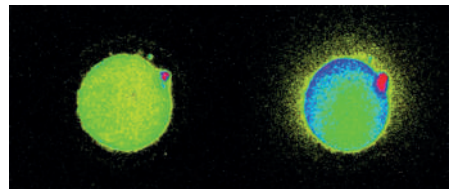
Сортів пива налічують навіть не десятки, а сотні тисяч. Серед обивателів побуває думка про користь цього спиртного напою. Безумовно, у пиві є корисні вітаміни, мікроелементи, органічні кислоти. Водночас воно містить також етанол, сполуки важких металів (наприклад, Кадмію), рослинні аналоги жіночих статевих гормонів. Який вплив мають наведені шкідливі речовини на запліднення й стан репродуктивної системи людини?



#### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Хімія. Запліднення та біоелементи

Проникнення сперматозоона в овоцит змінює в ньому обмін речовин: підвищується проникність клітинної мембрани, посилюється поглинання Фосфору і Калію, виділяється Кальцій, збільшується обмін вуглеводів, активується синтез білка. У перші хвилини після контакту зі сперматозооном яйцеклітина викидає назовні Цинк, який до запліднення інтенсивно накопичувала. Науковці назвали це явище «цинковою іскрою». Оцініть біологічне значення названих біоелементів для яйцеклітини та розвитку зиготи.



#### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке запліднення? 3. Що таке зигота? 4. Назвіть три основні стадії запліднення в людини. 5. Наведіть приклади зовнішніх чинників, що порушують запліднення. 6. Які внутрішні чинники порушень процесів запліднення.
7 – 9	7. У чому суть та біологічне значення запліднення? 8. Як відбувається запліднення в людини? 9. Назвіть причини порушення процесів запліднення в людини?
10 – 12	10. Обґрунтуйте судження про необхідність відповідального ставлення до планування сім'ї.

## § 62. Особливості репродукції людини у зв'язку з її біосоціальною сутністю

Основні поняття й ключові терміни: **РЕПРОДУКЦІЯ ЛЮДИНИ. Репродуктивне здоров'я. Репродуктивна медицина.**

**Пригадайте!** Що таке розмноження? Хто такий *Homo sapiens*?



### Знайомтеся!

Яйцеклітину під мікроскопом першим побачив **Карл Бер** (1792–1876). Сталося це в далекому 1827 р. За наукові заслуги був нагороджений золотою медаллю, на якій викарбувано латинський вислів: *Orsus ab ovo hominem homini ostendit* («Почавши з яйця, він показав людині людину»).



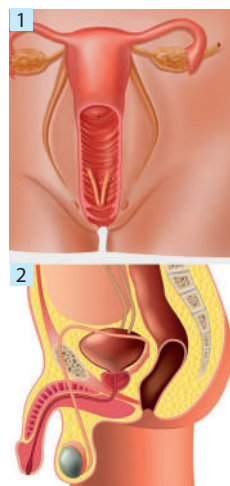
### ЗМІСТ

#### У чому біосоціальна сутність репродукції людини?

Біологічними особливостями репродукції людини є роздільностатевість з високим ступенем статевого диморфізму (іл. 139). Крім різниці у репродуктивній системі та первинних статевих ознаках є відмінності й у вторинних статевих ознаках і поведінці. У людському суспільстві поширеними є соціальні погляди про гендерну рівність чоловічої й жіночої статей. **Гендер** (англ. *gender* – стать, від лат. *genus* – рід) – соціально-біологічна характеристика, через яку визначаються поняття «чоловік» і «жінка», психосоціальна, соціокультурна роль чоловіка і жінки як особистостей, на відміну від статі, що позначає біологічні відмінності.

Процес розмноження в людини пов'язаний з внутрішнім заплідненням (зачаттям). Це біологічний механізм злиття сперматозоона з овоцитом, яким розпочинається розвиток нового організму в тілі матері. Більш ніж у 98 % випадків під час зачаття відбувається запліднення тільки однієї яйцеклітини, що зумовлює розвиток одного плода. У 1,5 % випадків розвиваються двійні (близнята). Приблизно в одному з 7 500 випадків вагітності розвиваються трійні.

Здатність до репродукції мають тільки біологічно зрілі індивіди. У людини статеве дозрівання відбувається від 9 до 16 років у дівчат та від 11 до 18 років – у хлопців. Здатність до репродукції зберігається у жінок до 40 – 45 років, у чоловіків – до літнього віку, навіть упродовж усього життя. У юнацькому віці завершується пубертатний період, тобто період статевого дозрівання. Це означає здатність молодих людей до зачаття дитини без шкоди для свого здоров'я, а для дівчини ще й здатність виносити і народити здорову дитину. Статева зрілість – одна з найважливіших засад подружжя. Проте статевая зрілість – ще не показник соціальної готовності до шлюбу.



Іл. 139. Репродуктивна система жінки (1) й чоловіка (2)

Зародок людини розвивається в матці жінки під час вагітності впродовж 265 – 270 днів. Пологи в людини за нормальних умов відбуваються наприкінці 40-го тижня вагітності (строкові, або своєчасні, пологи). Тривають пологи у першороділей близько 18 – 20, у тих, що повторно народжують, – 12 – 14 год. Це біологічні особливості. Соціальним аспектом наприклад є те, що жінкам у сучасному суспільстві надається декретна відпустка. В Україні така відпустка з 30-го тижня вагітності терміном на 126 днів і виплатою матеріальної допомоги по вагітності й пологам.

Отже, **РЕПРОДУКЦІЯ ЛЮДИНИ** – біологічна здатність людини відтворювати собі подібних, що відбувається із визначальним впливом соціальних умов.

### **Якими є чинники ризику для репродуктивного здоров'я?**

**Репродуктивне здоров'я** – це стан повного фізичного, психічного й соціального благополуччя, а не просто відсутність захворювань, що стосуються репродуктивної системи, її функцій і процесів. Це поняття багатопланове й застосовується не лише у біологічному, а й соціальному аспектах. Так, розрізняють репродуктивне здоров'я підлітків, жінок, чоловіків, молоді, нації та ін.

Репродуктивне здоров'я, як і здоров'я в цілому, визначається різними чинниками. По-перше, воно залежить від спадковості. Батьки передали нам свої ознаки й властивості, зокрема й ті, що визначають репродуктивне здоров'я. По-друге, репродуктивне здоров'я залежить від способу життя, корисних і шкідливих звичок. До порушення репродуктивного здоров'я можуть призвести безвідповідальне ставлення до себе, відсутність аналізу наслідків своїх дій, неправильне інформування про способи й методи профілактики небажаної вагітності, про запобігання інфекціям, що передаються статевим шляхом. За видом збудників захворювання, що передаються статевим шляхом (ЗПСШ), поділяються на: вірусні (СНІД, генітальний герпес, гепатит В), бактеріальні (сифіліс, гонорея, хламідіоз), протозойні (трихомоніаз, лямбліоз), грибові (кандидози), паразитарні (короста, лобковий педикульоз). До чинників ризику для репродуктивного здоров'я належать: а) несприятливий для здоров'я спосіб життя (стрес, гіподинамія, нераціональне харчування); б) шкідливі звички; в) несприятливі екологічні чинники середовища (забрудненість довкілля, високий рівень радіації тощо); г) негативні чинники соціального середовища (низький рівень життя, безробіття тощо); д) спадкові порушення; е) недоступність медичних послуг і послуг з консультування.

Планування та ретельна підготовка майбутніх батьків до вагітності, здоровий спосіб життя, відмова від шкідливих звичок сприяють нормальному перебігу вагітності та пологів, народженню здорових дітей.

Отже, турбота про своє здоров'я, у т. ч. і репродуктивне, мають стати нормою й культурою поведінки кожної людини та суспільства в цілому.

### **Які сучасні можливості та перспективи репродуктивної медицини?**

**Репродуктивна медицина** – це галузь медицини, яка займається відновленням репродуктивного здоров'я та вирішенням проблем народження дітей і планування сім'ї. У репродуктивній медицині використовуються знання генетики, гінекології, кріобіології, цитології, молекулярної біології.

Основною методикою репродуктивної медицини є екстракорпоральне запліднення (ЕКЗ, «штучне запліднення», «запліднення в пробірці»). Це методика, згідно з якою яйцеклітини жінки запліднюються поза її організмом і через кілька діб вводяться в порожнину матки з метою розвитку вагітності. Екстракорпоральне запліднення вперше в історії людства було проведено в 1978 р. Засновником екстракорпорального запліднення вважається Р. Едвардс, який був нагороджений у 2010 р. Нобелівською премією з фізіології і медицини (іл. 140).



Іл. 140. Схема штучного запліднення

Репродуктивна медицина інтенсивно розвивається. Розроблено новітні методики, спрямовані на реалізацію репродуктивної функції пар, які не можуть зачати дитину природним шляхом: а) ін'єкція сперматозоона в цитоплазму яйцеклітини; б) методика донорства яйцеклітини; в) сурогатне материнство; г) методика заморожування ембріонів; д) банк донорської сперми; е) методика стимульованих циклів та ін. На початку 2017 р. репродуктологи клініки «Надія» виступили із заявою про народження в Україні першої у світі дитини після застосування методики пронуکلлярного перенесення («дитини від трьох батьків»). Суть методу полягає в тому, що пацієнтці вводять донорську яйцеклітину, з якої видалено власне ядро та введені гаплоїдні ядра чоловіка й жінки, які стануть генетичними батьками дитини. В результаті цієї маніпуляції було отримано «реконструйовану» яйцеклітину, що мала генетичний набір ядерної ДНК від матері і батька і цитоплазматичної ДНК від донора, тобто дитина має «трьох батьків».

Зазначимо, що досягнення українських спеціалістів у галузі репродуктивної медицини не поступаються досягненням в інших країнах. Інститут репродуктивної медицини в Києві – це вже міжнародний медичний центр з лікування як жіночого, так і чоловічого безпліддя. Центр має власні відділення ембріології, репродуктології, власний кріобанк.

Отже, можливості сучасної репродуктивної медицини є дуже оптимістичними – завдяки ефективним методикам лікарі здатні допомогти сім'ям реалізувати мрію про материнство, вилікувати безпліддя і загалом сприяти поліпшенню репродуктивного здоров'я нації.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

За допомогою таблиці визначте біологічне й соціальне у наведених проявах розмноження людини. Сформулюйте висновок про біосоціальну сутність репродукції людини.

Прояв	Біологічне	Соціальне
Статеве розмноження		
Стать		
Статева поведінка		
Запліднення		
Вагітність		
Пологи		

### Біологія + Культура

Чому в народі кажуть: «Лелека приніс дитину?»

По-перше, як перелітні птахи, білі лелеки відлітають на південь восени і повертаються в Європу через дев'ять місяців. По-друге, літня ніч на 21 червня – це було язичницьке свято шлюбу й народжуваності, з яким пов'язували зачаття дітей, а їхнє народження відбувалося приблизно в той час, коли лелеки прилітали з вірію.



Але основною причиною появи цього виразу є все-таки те, що батькам непросто відповідати на незручні запитання малих дітей на тему зачаття. Застосуйте свої знання репродукції людини і створіть твір-пояснення «Звідки беруться діти?».



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Охорона здоров'я

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) оприлюднила сумну статистику: 39 % жінок і 20 % чоловіків є безплідними. Найчастіше причинами безпліддя є запальні захворювання статевої системи, порушення роботи імунної та ендокринної систем організму, ксенобіотики. Але найбільш поширеною суб'єктивною причиною безпліддя й порушень розвитку є шкідливі звички. Обґрунтуйте судження про вплив способу життя на репродуктивне здоров'я.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке репродукція людини? 2. Наведіть приклади біологічних особливостей репродукції людини. 3. Наведіть приклади соціальних особливостей репродукції людини. 4. Що таке репродуктивне здоров'я людини? 5. Що таке репродуктивна медицина? 6. У чому суть екстракорпорального запліднення?
7 – 9	7. У чому біосоціальна сутність репродукції людини? 8. Якими є чинники ризику для репродуктивного здоров'я? 9. Які сучасні можливості та перспективи репродуктивної медицини?
10 – 12	10. Обґрунтуйте судження про вплив способу життя на репродуктивне здоров'я людини.

Жодна частина майбутнього плода не існує в яйці актуально,  
але всі частини існують у ньому потенціально.  
В. Гарвей

## § 63. Ембріогенез людини

**Основні поняття й ключові терміни:** ЕМБРІОГЕНЕЗ ЛЮДИНИ. Ембріональна індукція. Зародкові оболонки.

**Пригадайте!** Що таке онтогенез?



### Поміркуйте!

«Запліднена яйцеклітина – це не просто клітинна маса без особливих власних характеристик. Вона на цій стадії відрізняється від пуп'янка квітки чи зародка тварин. Вона повністю й абсолютно є ЖИТТЯМ людської істоти, і вона має те саме життя, що й новонароджений малюк, дитина, підліток або зріла людина», – так писав американський лікар Е. Хант. А якою є ваша думка щодо права зародка на життя?



Зародок – це вже новий і неповторний організм чи лише частина організму матері, що повністю залежить від неї?

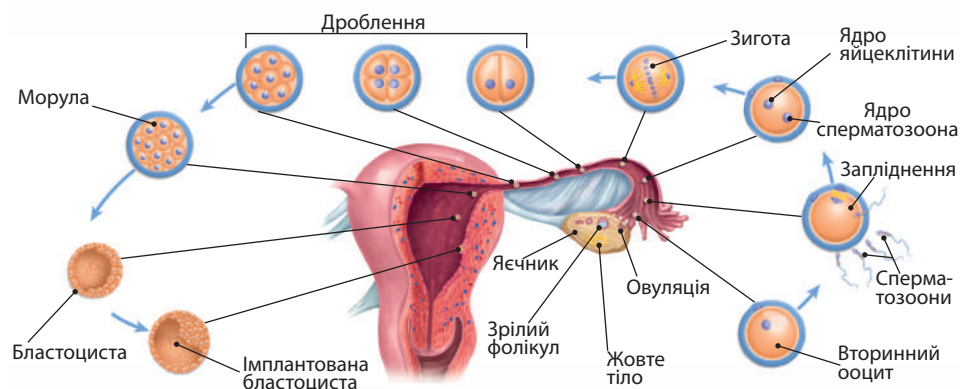


### ЗМІСТ

#### Які періоди ембріогенезу людини?

**ЕМБРІОГЕНЕЗ ЛЮДИНИ** – розвиток організму людини від зиготи до народження. Він триває 40 тижнів, і за цей час з однієї клітини виростає організм, який складається з мільярдів спеціалізованих клітин. Ембріогенез людини під час вагітності поділяють на три періоди: передзародковий (1 тиждень), зародковий (перші 2 – 8 тижні) і плідний (9 – 40 тижні).

**Передзародковий період** – це період від зиготи до формування імплантованого зародка. Після запліднення зигота активно ділиться шляхом мітозу і переміщується по матковій трубці до матки. Через три доби формується скупчення із 12 – 16 клітин, яке називається морула (від лат. *torula* – ягідка шовковиці). Поділи клітин продовжуються і через 5–6 діб після запліднення виникає стадія (близько 100 клітин), всередині якої є порожнина. Тепер це одношарова багатоклітинна стадія-бластула, яка у людини має назву *бластоциста* (іл. 141).



Іл. 141. Схема початкових стадій ембріогенезу людини

Уся сукупність мітотичних поділів зиготи, що завершуються утворенням бластоцисти, називають **дробленням**. На 7-й день після запліднення бластоциста занурюється в слизову оболонку матки й прикріплюється до неї (імплантація) за допомогою виростів-ворсинок. Починається розвиток зародка.

**Зародковий період** – це період формування зародка, що триває від моменту імплантації до утворення плоду. Потрапивши в матку, зародок починає швидко розвиватися. В процесі **гаструляції** виникають три зародкові листки (ектодерма, мезодерма й ентодерма) й утворюються зародкові оболонки. Далі розпочинається **гісто-** та **органогенез** – утворення тканин та органів. У ньому виокремлюють *фази нейруляції* (утворення осьового комплексу органів: нервова трубка, травна трубка, хорда) та *формування інших органів*. На 16 – 18-й день у зародка, який не більший за рисове зерно, вже є серце, зачатки вух, очей, рук, ніг, головного мозку. Наприкінці зародкового періоду зародок уже має усі органи, притаманні дорослій людині; його називають *плодом*.

**Плідний період** – це період розвитку плода, що триває з початку третього місяця до народження. Розвивається плід у *плодовому міхурі*, що розміщений всередині матки й утворений тканинами організму матері й зародковими оболонками. На 9-му тижні плід досягає довжини 3,0 – 3,5 см і маси 4 г. Із 12-го тижня відбувається скостеніння скелета, починають функціонувати м'язи, з 18–20-го тижня плід починає рухатися, з 28-го тижня він здатний реагувати на звуки. На 9-му місяці вагітності маса плоду досягає 3,2 – 3,8 кг, а довжина – 50 – 54 см. Таким чином, у плідному періоді відбуваються процеси **морфогенезу** органів (удосконалення форми, прийняття нового вигляду завдяки процесам ембріональної індукції, апоптозу, росту тощо).

Отже, основними етапами ембріонального розвитку людини є передзародковий, зародковий та плідний періоди.

### Як відбувається взаємодія частин зародка, який розвивається?

Спрямованість ембріонального розвитку та появу різних клітин із однорідних вихідних визначають різні чинники. Це цитоплазматичний розподіл жовткових включень, надслабке ультрафіолетове випромінювання, міжклітинна комунікація, міграції клітин, а також взаємодія частин зародка.

**Ембріональна індукція** – явище взаємодії між частинами зародка, завдяки чому одна із них визначає напрям розвитку сусідньої. Ембріональна індукція сприяє збільшенню різноманітності клітин і здійснюється за безпосереднього контакту клітин між собою. Дослідження взаємодій між клітинами під час ембріогенезу започатковані німецьким зоологом В. Ру (1850–1924). Вагомий внесок у розвиток уявлень про це явище зробили Д. Гердон, Ч. Чайлд, Х. Тидеман та ін. За відкриття організуючих ефектів у ембріональному розвитку німецький ембріолог **Г. Шпеман** (1869–1941) отримав Нобелівську премію з фізіології і медицини (1935). Пізніше було встановлено, що ці взаємовпливи здійснюються за участі спеціальних білкових речовин-індукторів. Експериментально було доведено, що білки-індуктори є вже у незаплідненому яйці, але перебувають у неактивному стані через наявність інгібіторів. Під час ембріогенезу змінюється йонний склад цитоплазми й позаклітинного середовища, що приводить до виходу інгібіторів із клітини і розблокування індукторів. Як наслідок індуктори входять в ядро й активують відповідні гени, що сприяє диференціації клітин, гісто- й органогенезу.



Отже, взаємодія частин зародка, що розвивається, забезпечує спрямованість розвитку.

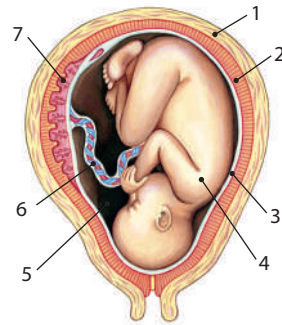
### Яке значення зародкових оболонок в ембріогенезі людини?

**Зародкові оболонки** (позазародкові органи, провізорні органи) – тимчасові органи, що їх утворює зародок під час ембріогенезу і які забезпечують його ріст і розвиток. До позазародкових органів людини належать хоріон, амніон, плацента, алантоїс, жовтковий мішок, пупковий канатик та ін. (іл. 142).

У людини **жовтковий мішок** бере активну участь у живленні й диханні ембріона, але функціонує недовго – до 8-го тижня, а потім зазнає зворотного розвитку. **Амніон** формує амніотичну оболонку, що виробляє амніотичну рідину, яка створює необхідне для розвитку зародка водне середовище. Окрім того, амніон забезпечує плід поживними речовинами, виконує захисну функцію, амортизуючи можливі струси та удари, попереджає потрапляння до плоду шкідливих агентів. **Алантоїс** є органом живлення, газообміну та екскреції на перших етапах розвитку зародка, і на 2-му місяці ембріогенезу алантоїс редукується. **Хоріон**, або ворсинкова оболонка, проникає в слизову оболонку матки і разом з нею утворює плаценту.

**Плацента** (від лат. *placenta* – коржик) є особливим органом, який забезпечує плід поживними речовинами і киснем, вбирає кінцеві продукти обміну, секретує гормони, і слугує бар'єром для шкідливих речовин. Однією з найважливіших функцій цього бар'єра є забезпечення імунологічного захисту. Однак крізь плацентарний бар'єр легко проникають алкоголь, наркотичні речовини, нікотин і багато ліків. Формування плаценти закінчується наприкінці 3-го місяця вагітності.

До важливих позазародкових органів людини належить також **пупковий канатик**, який забезпечує ембріон поживними речовинами та киснем, перешкоджає проникненню шкідливих речовин з плаценти до ембріона, виконуючи в такий спосіб захисну функцію.



Іл. 134. Розташування плода в матці перед народженням: 1 – м'язова оболонка матки; 2 – слизова оболонка матки; 3 – амніон; 4 – плід; 5 – амніотична рідина; 6 – пупковий канатик; 7 – плацента

Отже, в ембріональному розвитку людини важливу роль відіграють тимчасові провізорні органи, які утворюються й функціонують у зародка і яких немає в дорослому стані.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Лабораторна робота 4

##### Вивчення етапів ембріогенезу

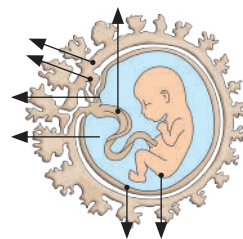
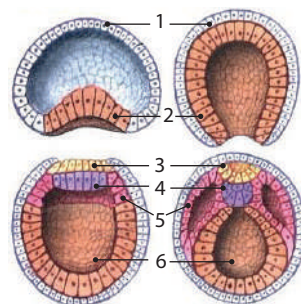
**Мета:** закріпити знання про періоди та основні процеси ембріогенезу людини; розпізнавати на ілюстраціях основні стадії ембріогенезу, зародкові листки та зародкові оболонки плоду.

**Обладнання:** ілюстрації, таблиці.



### Хід роботи

1. Розгляньте ілюстрації стадій **передзародково-го періоду** розвитку ссавців. Використайте запропоновані терміни й утворіть з них ряд, що відображає правильну послідовність стадій **дроблення**: *бластоциста, зигота, морула, стадія двох бластомерів, стадія восьми бластомерів, стадія чотирьох бластомерів*.
2. Розгляньте ілюстрації стадій **зародкового періоду** розвитку ланцетника. Замалюйте і підпишіть такі елементи будови, як: *ектодерма, ентодерма, мезодерма, нервова трубка, хорда, травна трубка*.
3. Розгляньте стадію **плідного періоду** людини на 4–5-му місяці вагітності. Зіставте позначені частини будови з назвами: *плід, хоріон, амніон, жовтковий мішок, пупковий канатик, плацента, амніотична рідина*.
4. Заповніть таблицю: «Характеристика періодів ембріогенезу людини».
5. Підсумок роботи.



Назва періоду	Тривалість	Основні процеси
1. <b>Передзародковий</b>		
2. <b>Зародковий</b>		
3. <b>Плідний</b>		



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Мистецтво. Плацента людини

Одним із найвідоміших малюнків Леонардо да Вінчі (1452–1519) є зображення людського плода. Завдяки цій роботі Леонардо вважається першою людиною в історії, яка правильно показала розташування плоду людини в матці, положення голови, рук, ніг, пуповини, судин. Єдине, в чому митець припустився помилки, це зображення плаценти. На малюнку зародка людини він зобразив плаценту... корови. Яке значення плаценти для ссавців? Чим плацента людини відрізняється від плаценти інших плацентарних ссавців?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке ембріогенез? 2. Назвіть періоди ембріогенезу людини. 3. Що таке ембріональна індукція? 4. Яке значення ембріональної індукції? 5. Що таке зародкові оболонки? 6. Назвіть зародкові оболонки людини.
7 – 9	7. Які періоди ембріогенезу людини? 8. Як відбувається взаємодія частин зародка, що розвивається? 9. Яке значення зародкових оболонок в ембріогенезі людини?
10 – 12	10. Охарактеризуйте періоди ембріогенезу людини.

## § 64. Постембріональний розвиток людини

Основні поняття й ключові терміни: **ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ**. Старіння людини.

**Пригадайте!** Що таке онтогенез?



### Поміркуйте!

Що спільного й відмінного між постембріогенезом людини і метеликів?



### ЗМІСТ

**Які біологічні й соціальні особливості постембріогенезу людини?**



**ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ ЛЮДИНИ** – це розвиток від народження до смерті організму, який внаслідок біосоціальної природи людини має особливості. Однією з основних подій постембріогенезу є статеве дозрівання, за настанням якої у ньому виокремлюють три періоди: передрепродуктивний, репродуктивний та післярепродуктивний.

**Передрепродуктивний період** – це період життя організму від народження до настання статевої зрілості. Порівняно з тваринами

статеве дозрівання людини відбувається доволі пізно, і сам період відрізняється відносно більшою тривалістю, оскільки окрім фізіологічного й фізичного розвитку відбуваються психічний розвиток й формування ВНД, мислення, розумової діяльності та ін. Людина розумна – це вид з найповільнішою зміною поколінь.

**Репродуктивний період** – це період статевої зрілості організму, що характеризується здатністю людини до розмноження. У жінок цей період триває від 9–16 років до 45–50 років, у чоловіків від 11–18 років. Жіночий організм після настання статевої зрілості здатний завагітніти кожного місяця, у той час як у більшості тварин ця здатність з'являється у певний період розмноження. Але більшість жінок не може народити більш ніж 6–11 дітей за все життя, оскільки організм зношується від пологів. І ця потенційна плідність не реалізовується в сучасному суспільстві. Важливою умовою статевої зрілості є визначення кожною людиною своєї статевої соціалізації. Щоб стати дорослою людиною, необхідно крім фізіологічної зрілості сформувати соціальні установки. Окрім того, на репродукцію людини впливають і соціальні норми. Так, згідно із законом молодим людям в Україні можна одружуватися з 18 років.

**Післярепродуктивний період** – це період, що характеризується втратою організму здатності до розмноження. В організмі людини зменшуються вміст води, інтенсивність обміну речовин, послаблюються життєві функції, зменшуються маса тіла та його розміри. На цьому етапі відбувається старіння організму. Середня фактична тривалість життя людей у розвинутих країнах становить

ОНТОГЕНЕЗ
<b>Ембріогенез</b>
1. Передзародковий період 2. Зародковий період 3. Плідний період
<b>Постембріогенез</b>
1. Передрепродуктивний період 2. Репродуктивний період 3. Післярепродуктивний період

74 роки, а в країнах, що розвиваються, – 56 років. В Україні середня тривалість життя чоловіків становить 66,4 року, жінок – 76,3 року. У Японії жінки доживають до 86,8 року, а чоловіки у Швейцарії до 81,3 року – це найкращі показники у світі. Верхньою видовою межею для людини вважають 115 – 125 років.

Отже, для людини як біосоціального виду характерні пізня статева зрілість, більша тривалість передзародкового періоду, низька потенційна й реальна плідність, найповільніша зміна поколінь, поява перехідного періоду між періодами статевої зрілості та літнього віку.

### **Які чинники і як впливають на ріст і розвиток у постембріогенезі людини?**

**Ріст і розвиток людини** є сукупністю кількісних та якісних змін організму, що забезпечують її життєдіяльність та адаптацію до умов середовища. Ці процеси становлять цілісну динамічну збалансовану єдність, яка здійснюється при взаємодії *ендогенних* (генотип, гормони, міжклітинні взаємодії, сигнальні речовини, мутації) й *екзогенних* (навколишнє середовище: поживні й додаткові речовини, енергія, інформація, біотичні й абіотичні взаємовідносини, шкідливі звички, хвороботворні впливи) чинників. Виокремлюють низку закономірностей, що характеризують впливи чинників на ріст й розвиток людини.

**Неперервність.** Ріст і розвиток клітин, органів, систем органів, організму можуть бути обмеженими й необмеженими, прогресивними й регресивними, швидкими й повільними залежно від дії чинників, але у будь-якому випадку ці процеси відбуваються ПОСТІЙНО й НЕПЕРЕРВНО.

**Гетерохронність** («різночасовість») полягає в тому, що різні структури формуються в певний час життя організму в тому порядку, що його визначає генотип. Так, молочні зуби формуються раніше за постійні, спочатку з'являються зародкові листки, а вже потім тканини.

**Нерівномірність** проявляється різними темпами росту й дозрівання органів або систем упродовж онтогенезу. Так, окремі частини нервової системи розвиваються і формуються різними темпами і в різні строки. Вегетативна нервова система є досить зрілою вже при народженні, а соматична – дозріває пізніше. Бурхливий ріст тіла в довжину на першому році життя пов'язаний зі збільшенням маси тіла, а уповільнення росту в наступні роки зумовлене активними процесами диференціації клітин, тканин, органів.

**Надійність.** Організм людини від природи наділений механізмами надмірності, пластичності, дублювання функцій. Так, для генетичного коду властива виродженість, у разі втрати зору відбувається компенсація щодо отримання інформації через дотик.

**Гетеросенситивність** («різностійкість») передбачає різну сприйнятливість клітин, органів чи систем органів щодо тих чи інших впливів середовища на певному етапі розвитку. Так, підлітки у своєму віці дуже чутливі до впливів середовища через гормональний «шторм», а критичними періодами для розвитку зародка є імплантація і плацентація.

**Індивідуальність** характеризує особливості росту й розвитку кожного конкретного організму, що визначаються взаємодією генотипу й умов середовища. Навіть монозиготні близнята з однаковим генотипом відрізнятимуться тими або іншими проявами ознак.

Отже, усю різноманітність чинників, що справляють позитивний або негативний вплив на організм, поділяють на ендogenous та екзогенні, а основними закономірностями їхнього впливу є неперервність, гетерохронність, нерівномірність, надійність, гетеросенситивність, індивідуальність.

### Які причини старіння людини?

**Старіння людини** – процес закономірного виникнення вікових змін, які поступово призводять до скорочення пристосувальних можливостей організму (іл. 143). Ознаки старіння проявляються на всіх рівнях організації живого організму. Так, у клітинах знижується активність ферментів, порушується самовідновлення білків, нуклеїнових кислот тощо.

Наука, що вивчає закономірності старіння, називається геронтологією (від грец. *геронтос* – старий, *логос* – наука).

Сучасну геронтологію заснував І. І. Мечников, а подальшого розвитку ця наука набула в працях О. О. Богомольця, О. В. Нагорного, І. І. Шмальцгаузена, Обрі ді Грея.

Нині існує понад 300 гіпотез щодо причин старіння, серед яких найцікавішими є: «енергетична» гіпотеза М. Рубнера (кожний вид має свій енергетичний фонд, що витрачається протягом життя); «генетичні» гіпотези (механізми старіння пов'язані зі зміною стану генетичного апарату клітини); гіпотеза самоотруєння І. І. Мечникова (з віком в організмі нагромаджуються продукти азотистого обміну, гниття, що спричиняє інтоксикацію); «сполучнотканнна» гіпотеза О. О. Богомольця («людина має вік своєї сполучної тканини»); нейрогенна теорія І. П. Павлова (старіння визначається станом нервової системи); «білкова» гіпотеза О. В. Нагорного (старіння – це результат згасаючого самооновлення білків); гіпотеза мітотичного «ліміту» Л. Хейфліка (для клітин організмів властивий обмежений мітотичний потенціал); «гіпоталамічна» гіпотеза В. М. Дільмана (з віком змінюється активність гіпоталамуса, який є вищим центром регуляції вегетативних функцій); адаптаційно-регуляторна гіпотеза В. В. Фролькіса (відбувається мобілізація адаптивних механізмів, наприклад посилення гліколізу, гіпертрофія і поліплоїдія клітин та ін.), теорія накопичення мутацій П. Медавара (з віком частота мутацій, що залишається в генофонді, збільшується), теломерна гіпотеза (у багатьох клітинах людини втрата здатності до поділу пов'язана із втратою теломер на кінцях хромосом).

Отже, старіння – це неминучий процес, але людина спроможна уповільнити природні фізіологічні процеси старіння. Для цього потрібно регулярно займатися спортом, раціонально харчуватися, уникати стресових ситуацій, відмовитися від шкідливих звичок і чергувати активну діяльність з відпочинком.



Іл. 143. Старіння людини



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Вікові періоди – це періоди життя людини, що різняться особливостями росту й розвитку. Назвіть межі вікових періодів людини та наведіть приклади вікових особливостей.

Період	Тривалість	Вікові особливості росту й розвитку
Новонародженість		
Грудний вік		
Дитинство		
Підлітковий період		
Юнацький період		
Зрілий вік		
Похилий вік		
Старечий вік		

### Біологія + Антропологія. Акселерація онтогенезу

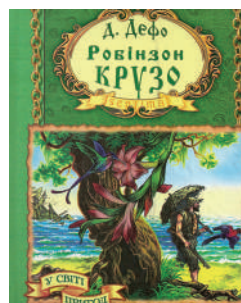
Прискорення темпів індивідуального росту та розвитку дітей і підлітків порівняно з попередніми поколіннями в межах певного історичного часу називається акселерацією. Це одна з особливостей постембріогенезу людини. Поцікавтеся й назвіть основні гіпотези, що пояснюють акселерацію.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Література. Чинники постембріогенезу людини

В англійського письменника Данієля Дефо (1660–1731), автора роману «Незвичайні пригоди Робінзона Крузо», який з примхи долі прожив 28 років на безлюдному острові, є такі рядки: «...Наче кредитор і боржник, я поділив сторінку навпіл і написав ліворуч «погано», а праворуч «добре», і ось що в мене вийшло...». Цікаво, а що ж записав Робінзон Крузо на цих сторінках? Поділіть і ви аркуш навпіл, але ліворуч напишіть «Негативні чинники», а праворуч – «Позитивні чинники». Назвіть по три найважливіші, на вашу думку, позитивні та негативні чинники й оцініть їхній вплив на постембріогенез людини.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке постембріогенез людини? 2. Назвіть періоди постембріогенезу людини. 3. Що таке ріст і розвиток людини? 4. Назвіть основні закономірності росту і розвитку людини. 5. Що таке старіння людини? 6. Наведіть приклади гіпотез, що пояснюють старіння.
7 – 9	7. Які біологічні й соціальні особливості постембріогенезу людини? 8. Які і як чинники впливають на ріст й розвиток в постембріогенезі людини? 9. Назвіть причини старіння людини.
10 – 12	10. Оцініть вплив позитивних і негативних чинників на ріст і розвиток людини.

## Зміст

Як працювати з підручником? ..... 3

### Вступ

§ 1. Міждисциплінарні зв'язки біології та екології ..... 4

§ 2. Рівні організації біосистем та їхній взаємозв'язок ..... 8

§ 3. Властивості живого ..... 11

§ 4. Стратегія сталого розвитку природи й суспільства ..... 15

### Тема 1. Біорізноманіття

§ 5. Біорізноманіття. Біосистематика ..... 19

§ 6. Сучасні критерії виду ..... 23

§ 7. Неклітинні форми життя. Віруси ..... 27

§ 8. Роль вірусів у природі й житті людини ..... 30

§ 9. Прокаріотичні організми: археї ..... 34

§ 10. Прокаріотичні організми: бактерії ..... 38

§ 11. Еукаріоти ..... 42

§ 12. Гриби ..... 46

§ 13. Різноманітність грибів ..... 50

§ 14. Рослини. Водорості ..... 55

§ 15. Вищі рослини ..... 59

§ 16. Справжні тварини ..... 63

§ 17. Багатоклітинні тварини ..... 67

### Тема 2. Обмін речовин і перетворення енергії

§ 18. Обмін речовин і перетворення енергії – основа функціонування біосистем ..... 71

§ 19. Біоелементи. Біонеорганічні речовини: огляд будови й біологічна роль ..... 75

§ 20. Біоорганічні речовини. Білки, нуклеїнові кислоти: огляд будови й біологічної ролі ..... 79

§ 21. Вуглеводи, ліпіди: огляд будови й біологічної ролі ..... 83

§ 22. Структури клітин, які забезпечують процеси обміну речовин та енергії ..... 86

§ 23. Особливості обміну речовин в автотрофних організмів ..... 90

§ 24. Особливості обміну речовин у гетеротрофних організмів ..... 94

§ 25. Роль ферментів у забезпеченні метаболізму клітини та цілісного організму ..... 98

§ 26. Вітаміни, їх роль в обміні речовин та енергії ..... 101

§ 27. Енергетичне забезпечення процесів метаболізму ..... 105

§ 28. Обмін речовин в організмі людини ..... 109

§ 29. Порушення обміну біоелементів і біоенергетичних речовин, пов'язані з їх нестачею або надлишком ..... 113

§ 30. Раціональне харчування – основа нормального обміну речовин ..... 117

§ 31. Негативний вплив на обмін речовин чужорідних сполук та їх знешкодження в організмі людини ..... 121

§ 32. Нейрогуморальна регуляція процесів метаболізму в організмі людини ..... 125

### Тема 3. Спадковість і мінливість

§ 33. Основні поняття генетики ..... 129

§ 34. Закономірності спадковості. I та II закони Менделя ..... 133

§ 35. Закономірності спадковості. Закон чистоти гамет. III закон Менделя ..... 137

§ 36. Гібридологічний аналіз: основні типи схрещувань ..... 141

§ 37. Сучасні молекулярно-генетичні методи досліджень спадковості людини ..... 145

§ 38. Організація спадкового матеріалу еукаріотичної клітини та його реалізація ..... 148

§ 39. Гени. Регуляція активності генів ..... 152

§ 40. Каріотип людини. Хромосомний аналіз ..... 156

§ 41. Геном людини ..... 160

§ 42. Генетика людини .....	164
§ 43. Успадкування ознак у людини .....	168
§ 44. Зчеплене успадкування. Позахромосомна спадковість у людини.....	172
§ 45. Закономірності мінливості людини .....	176
§ 46. Мутації та їхні властивості.....	180
§ 47. Захист геному людини від шкідливих мутагенних впливів .....	184
§ 48. Генетичний моніторинг у людських спільнотах .....	188
§ 49. Особливості генофонду людських спільнот .....	191
§ 50. Закономірності розподілу алелів у популяції.....	195
§ 51. Сучасні завдання медичної генетики .....	199
§ 52. Хвороби спадкового походження .....	203

#### **Тема 4. Репродукція та розвиток**

§ 53. Репродукція як механізм забезпечення безперервності існування видів.....	207
§ 54. Особливості регенерації організму людини .....	211
§ 55. Трансплантація тканин та органів у людини .....	215
§ 56. Репродукція клітин .....	219
§ 57. Ріст і розвиток клітин та чинники, що на нього впливають.....	223
§ 58. Старіння та смерть клітин .....	227
§ 59. Онкологічні захворювання та онкогенні чинники.....	231
§ 60. Мейоз. Особливості гаметогенезу в людини. Статеві клітини .....	235
§ 61. Суть та біологічне значення запліднення.....	239
§ 62. Особливості репродукції людини у зв'язку з її біосоціальною сутністю.....	243
§ 63. Ембріогенез людини.....	247
§ 64. Постембріональний розвиток людини.....	251

*Навчальне видання*

**СОБОЛЬ Валерій Іванович**

## **БІОЛОГІЯ І ЕКОЛОГІЯ**

**(рівень стандарту)**

Підручник для 10 класу

закладів загальної середньої освіти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

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

В оформленні підручника використано фото та ілюстрації з:  
<https://unsplash.com>; <https://www.pexels.com>; <http://free-stock.photo>; <http://albumarium.com>;  
<http://www.lifeofpix.com>; <https://pixabay.com>; <http://www.freestockphotos.biz>;  
<http://freeimages.com>; <https://www.flickr.com>; <http://www.visipix.com>; <http://www.dreamstime.com>;  
<http://www.freeimages.com>; <http://openphoto.net>; <http://www.stockvault.net>; <http://www.imcreator.com>

Підписано до друку 30.10.2018. Формат 70x100 1/16. Папір офсет.  
 Ум. друк. арк. 20,8. Тираж 105 558 пр. Зам. № 390

ТЗОВ «АБЕТКА». Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 19.06.2001 р. Серія ДК № 495

32300, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Князів Коріатовичів, 9а  
 Тел.: 0984253404, 0501931724, 0673808375; e-mail: abetka2017@ukr.net, <http://abetka.in.ua>

Надруковано у ПП «Юнісофт». 61036, м. Харків, вул. Морозова, 13 б,  
[www.unisoft.ua](http://www.unisoft.ua). Свідоцтво ДК №3461 від 14.04.2009 р. Зам. №102/06