

**В.І. Соболю**

# **БІОЛОГІЯ**

**Підручник для 9 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

*Електронна версія підручника*

Кам'янець-Подільський



«Абетка»

2017

УДК 573

C54

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

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

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

**Н. М. Гусєва**, методист Запорізького обласного інституту післядипломної педагогічної освіти;

**О. Б. Спринь**, доцент кафедри біології людини та імунології, кандидат біологічних наук, доцент Херсонського державного університету;

**С. О. Степанов**, викладач-методист КВНЗ КОР «Богуславський гуманітарний коледж імені І. С. Нечуя-Левицького»

### **Соболь В. І.**

C54 Біологія : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл./  
В. І. Соболь. – Кам'янець-Подільський : Абетка, 2017. –  
288 с. : іл.

**ISBN 978-966-682-387-1.**

УДК 573

Навчальне видання

**СОБОЛЬ Валерій Іванович**

## **БІОЛОГІЯ**

Підручник для 9 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

*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>

Формат 70x100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Ум. друк. арк. 23,328. Тираж 95 182 пр. Зам. № 376

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./факс: (03849) 2-73-84; моб.: 0984253404, 0501931724, 0673808375;

e-mail: abetka2017@ukr.net, <http://abetka.in.ua>

Дозволено розміщення електронних примірників підручника на офіційних сайтах Міністерства освіти і науки України та Інституту модернізації змісту освіти для безоплатного використання користувачами в мережі Internet до 1 серпня 2022 року.

Усі права захищено. Жодна частина, елемент, ідея, композиційний підхід цього видання не можуть бути копіюваними чи відтвореними в будь-якій формі та будь-якими засобами – ні електронними, ні фотомеханічними, зокрема копіюванням, записом або комп'ютерним архівуванням, – без письмового дозволу видавця.

© В. І. Соболь, 2017

© ТЗОВ «Абетка», 2017

© ТЗОВ «Абетка», оригінал-макет, 2017

ISBN 978-966-682-387-1

## ЯК ПРАЦЮВАТИ З ПІДРУЧНИКОМ?

**ЖИТТЯ!** Яким багатогранним, різноманітним і складним є це поняття! Чи можна вивчити життя у всій його різнобарвності? Відповідь однозначна. Його можна вивчати навчаючись й осягаючи мудрість життя на кожному кроці пізнання цього явища.

Зміст підручника ґрунтується на засадах продуктивного вивчення біології із використанням компетентнісного підходу. Підручник має на меті не лише надати сучасні знання. Він допоможе сформуванню власні способи діяльності, щоб ви змогли реалізувати одну з найвищих людських потреб – потребу творити.

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



**Вступна частина** містить епіграф до параграфа, рубрики «**Основні 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, ілюстрації, відомості про живу природу, кросворди.



«**ЗМІСТ**» містить матеріал для засвоєння й формування знань, умінь, навичок, способів діяльності, переконань. Великими літерами синього кольору виділено **ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ**, що організовують найважливішу інформацію, а малими синіми літерами – **ключові терміни**, що узагальнюють якусь 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 зміцнення, поглиблення, розширення знань шляхом *самостійного виконання завдань* і створення *власних освітніх продуктів*, якими є: *проекти, малюнки, рисунки, висновки, дослідження, здобута інформація, презентація, власні рекомендації* тощо. Ця частина містить теми проєктів, 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, власного здоров'я.



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

Після кожної теми є блок найважливішої інформації, що містить цитату, таблицю чи схему, загальний тематичний висновок. Все це подається під рубрикою «**Узагальнення теми**». Для перевірки якості засвоєння матеріалу теми у рубриці «**Самоконтроль знань**» пропонуються нові й цікаві для вас види тестів.

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



# ВСТУП

*Корені наук гіркі, але солодкими є плоди їх.*

*П. Буаст*

## § 1. БІОЛОГІЯ ЯК НАУКА

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

**Пригадайте!** Що вивчає біологія?



### Поміркуйте!

**Томас Гекслі** (1825–1895) – видатний англійський природознавець, автор наукових праць із зоології, порівняльної анатомії, палеонтології, антропології. Спробуйте пояснити значення його висловлювання: *«Для людини, яка не знає біології, перебування серед живої природи нагадуватиме відвідини художньої галереї, в якій більшість картин обернені до стіни».*



### ЗМІСТ

**Яке значення біологічних знань для людини?**

**БІОЛОГІЯ** (від грец. *біос* – життя, *логіос* – вчення) – наука, яка вивчає життя в усіх його проявах. «Батьком» біології називають давньогрецького натурфілософа Арістотеля (384–322 рр. до н. е.), але сам термін «біологія» запропонував у 1802 р. французький учений Ж. Б. Ламарк (1744–1829).



Іл. 1. Арістотель

Об'єктом біологічного пізнання є **ЖИТТЯ** як особлива форма існування матерії Всесвіту, як те, що є *«найпотаємнішим на Землі, поки що унікальним у Всесвіті і найважчим для розуміння».*

*Предметом* пізнання біології є **прояви життя** у всій своїй різноманітності. Це хімічні елементи, речовини й реакції живого, будова, процеси життєдіяльності й поведінка організмів, виникнення, розвиток та вимирання видів, формування й зміна угруповань, значення біосфери для планети Земля та багато інших.

*Мета і завдання* сучасної біології спрямовані на здобуття знань, необхідних для розв'язування екологічних, демографічних, економічних, соціальних та інших проблем, пов'язаних із збереженням природи й біорізноманіття, здоров'я та умов існування людини, а також з розвитком різних галузей діяльності людини. Біологічні знання допомагають людині формувати світогляд, бачити навколо себе не лише красу метелика чи квітки, а й розуміти мудрість її призначення чи гармонію функцій й будови. Жива природа щедра. Бактерії, рослини й тварини дають людині смачну їжу, зручний одяг, підказують

конструктивні ідеї технічних приладів чи процесів. Але людина не завжди розумна у своїх вчинках. Її активна господарська діяльність призвела до значного забруднення довкілля шкідливими для всього живого речовинами, знищення або спотворення лісів, степів, водойм. Ми маємо вивчати біологію, щоб навчитися гармонійно поєднувати інтереси людини із законами розвитку природи.

Біологічні знання мають величезне наукове й практичне значення для всіх галузей діяльності людини, але найширше їх використовують у *сільському господарстві, промисловості, медицині, техніці та охороні природи*. Без знань рослин й тварин не можуть обійтися агрономи, зоотехніки, зооінженери, селекціонери, кінологи, ветеринари. Знання організму людини необхідні для медсестер, фельдшерів, лікарів, біоінженерів, психологів. Біологія необхідна тим, хто хоче працювати у фармацевтичній промисловості для розробки та виробництва ліків. Причиною багатьох захворювань є віруси й мікроорганізми, і для того щоб з ними боротися, вірусологам й мікробіологам потрібно знати особливості їх життєдіяльності. У сучасних умовах практично на будь-якому виробництві потрібні екологи. Актуальними стають професії біокібернетиків, біоінженерів, нейробіологів, які застосовують принципи збереження й відтворення інформації живого для створення технічних систем нового покоління. Якщо вас одночасно приваблюють біологія й хімія – обирайте професію біохіміка, якщо біологія та архітектура – можете стати ландшафтним дизайнером.

Отже, біологічні знання набувають у суспільстві все більшого наукового й практичного значення, що й зумовило появу твердження про те, що ХХІ ст. є століттям біології.

### **Якими є етапи розвитку біології?**

Найважливіші етапи історії біології збігаються зі змінами суспільства. З цих позицій весь тривалий шлях розвитку біології можна поділити на епохи.

**I. Епоха практичних донеукових знань** – від кам'яного віку до XV–XVI ст. Видатними природодослідниками цієї епохи були *Арістотель, Теофраст, Гіппократ* у Стародавній Греції, *Гай Пліній Старший, Клавдій Гален* – у Стародавньому Римі, *Авіценна* – на Сході.

**II. Епоха виникнення біології та початку її диференціації** – з XV–XVI ст. до середини XIX ст. Багато сподвижників науки цієї епохи – *Б. Євстахій, Д. Фабрицій, К. Варолій* – детально описали основні анатомічні структури організму людини і тварин, що й сьогодні є загальноновизнаними. До когорти знаменитих науковців цього часу ввійшли також і *В. Гарвей, Р. Гук, К. Лінней, Ж. Б. Ламарк, К. Бер, Л. Пастер, Т. Шванн* та багато інших, завдяки дослідженням яких виникали цитологія, фізіологія, систематика, ембріологія.

**III. Епоха синтезу наукових біологічних знань** – із середини XIX – до середини XX ст. Дослідження науковців цієї епохи спрямовуються на виявлення важливих біологічних законів й правил, формування узагальнювальних теорій. Видатними біологами епохи були *Е. Геккель, Г. Мендель, К. А. Тимірязєв, М. І. Пирогов, Ф. Мішер, Д. І. Івановський, І. П. Павлов, П. Ерліх, Т. Х. Морган, М. І. Вавилов* та інші.

IV. *Епоха проникнення в біологічний мікросвіт* – біологія теперішнього та майбутнього часу. Для глибшого розуміння сутності життя в біології виникли і почали бурхливо розвиватися як самостійні науки біофізика, біохімія, молекулярна біологія, молекулярна генетика, імунологія та ін. Видатними вченими цієї епохи є *Д. Уотсон, Ф. Крік, Х. Корана, П. Медавар, Ф. Бернет* та ін.

У становленні біології як науки важливу роль відіграли українські науковці *І. І. Мечников (1845–1916), О. О. Ковалевський (1840–1901), С. Г. Навашин (1857–1930), В. І. Вернадський (1863–1945), І. І. Шмальгаузен (1884–1963), С. М. Гершензон (1906), В. О. Бец (1834–1894), О. О. Богомолець (1881–1946), О. В. Палладін (1885–1972)* та багато інших.

Отже, біологія з описової дисципліни перетворюється на експериментальну і точну науку з можливостями організації найскладніших досліджень.

### **Які основні галузі та місце сучасної біології серед інших наук?**

Сучасний етап розвитку біології називають епохою проникнення в біологічний мікросвіт і розкриття суті життєвих процесів. Для вирішення завдань цієї епохи сучасна біологія дуже тісно співпрацює з багатьма іншими науками. Для біологічних досліджень науковці застосовують хімічні, фізичні, географічні, математичні та інші знання, завдяки чому виникли й розвиваються *біохімія, біофізика, біогеографія, біокібернетика, космічна біологія, радіобіологія, кріобіологія* та ін.

Різні розділи біології тісно пов'язані із досягненнями природничих (фізика, хімія, географія, астрономія, геологія), точних (математика, логіка, інформатика, кібернетика) й суспільних (філософія, історія) наук. І це дає свої плоди. Серед найважливіших досягнень біології ХХ століття називають відкриття просторової структури ДНК, генетичного коду, стовбурових клітин, розкодування геному різних організмів, що стимулювало розвиток багатьох галузей діяльності людини.

Сучасна біологія – це наука, що є найбільш розгалуженою частиною природознавства. Залежно від об'єктів досліджень розрізняють *вірусологію, бактеріологію, ботаніку, зоологію, мікологію*. За дослідженнями властивостей життя та рівнями організації виокремлюють *молекулярну біологію, цитологію, гістологію, морфологію, генетику, філогенію, еволюційне вчення, екологію, систематику* та ін. Досягнення цих та багатьох інших наук людина застосовує в *медицині* для лікування захворювань, у *сільському господарстві* – для створення сприятливих умов вирощування культурних рослин, розведення тварин, у *промисловості* – для виробництва харчових продуктів, одягу, у справі *охорони природи* – для розуміння взаємозв'язків між організмами і природою.

Отже, сучасна біологія – це наука, що використовує найновіші методи й технічні засоби дослідження, спрямовані на вивчення сутності життя, і тісно пов'язана з іншими науками.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на зіставлення «Основні галузі біології»

Зіставте запропоновані прояви життя з науками, що їх вивчають. Заповніть табличку відповідей й отримайте ім'я німецького ботаніка, який незалежно від Ж.Б. Ламарка запропонував термін «біологія».

1	Будова організмів
2	Життєдіяльність організмів
3	Різноманітність організмів
4	Вплив низьких температур на живе
5	Шляхи історичного розвитку організмів
6	Закономірності історичного розвитку
7	Взаємозв'язки організмів з довкіллям
8	Поширення організмів
9	Поведінка організмів
10	Спадковість та мінливість організмів

Р	Фізіологія
Е	Систематика
Р	Еволюційна біологія
Т	Анатомія
С	Генетика
І	Філогенія
Н	Біогеографія
В	Кріобіологія
У	Етологія
А	Екологія

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

### Творче завдання «Зв'язок біології з іншими науками»

Нобелівська премія заснована згідно із заповітом шведського підприємця, винахідника й філантропа **Альфреда Нобеля** (1833–1896). У 1895 р. весь свій статок у заповіті він призначив на фінансування міжнародної премії за найвидатніші наукові відкриття в декількох галузях. Хто із науковців отримав Нобелівські премії з фізіології та медицини за останні роки? На прикладі одного біологічного відкриття поясніть значення зв'язку біології з іншими науками.



### Біологія + Англійська мова

Перекладіть уривок і підготуйте відповідь на запитання.

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

Яке значення молекулярної біології у розвитку сучасної біології?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1–6	1. Що вивчає біологія? 2. Назвіть основні галузі використання біологічних знань. 3. Що є предметом біологічних досліджень? 4. Назвіть етапи розвитку біології. 5. Назвіть основні галузі біології. 6. З якими іншими науками біологія має тісні зв'язки?
7–9	7. Яке значення біологічних знань? 8. Назвіть етапи розвитку біології. 9. Які основні галузі та місце сучасної біології серед інших наук?
10–12	10. Яке значення для розвитку біології має її зв'язок з іншими природничими та гуманітарними науками?

## § 2. БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ. БІОЛОГІЧНЕ ПІЗНАННЯ

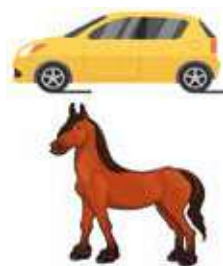
**Основні поняття й ключові терміни:** **БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ. Рівні організації життя. Біологічне пізнання.**

**Пригадайте!** Що таке біологічні системи?



### Поміркуйте!

Автомобіль (від грец. *автос* – сам і лат. *mobilis* – той, що рухається) – самохідна колісна машина з двигуном, що призначена для перевезення людей чи вантажу безрейковими дорогами. Порівняйте автомобіль як технічну систему з конем як біологічною системою. Що є спільного між цими системами і чим вони відрізняються одна від одної?



### ЗМІСТ

**Які найзагальніші особливості біологічних систем?**

**БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ** – це сукупність взаємопов'язаних структурних й функціональних компонентів, найзагальнішими особливостями яких є відкритість, упорядкованість та рівневість. Предметом сучасної біології є біологічні системи різної складності. Основними типами біологічних систем є клітина, організм, популяція, вид, екосистема та біосфера (іл. 2).

Спільними ознаками біосистем є їхня організація та зв'язки. **Структурна організація** біосистеми визначається складовими частинами й компонентами. Так, клітини мають поверхневий апарат, цитоплазму і ядро, які утворені певними компонентами (наприклад, в цитоплазмі є органели). **Функціональна організація** – це злагоджена діяльність складових частин біосистеми, що називається функціонуванням. Цей термін ми вживатимемо ще не раз. Цілісність біосистем забезпечують **внутрішні** та **зовнішні** взаємозв'язки компонентів біосистеми між собою та із зовнішнім середовищем.

Біосистеми мають ряд особливостей, що відрізняють їх від неживих систем. Проте серед них немає жодної, яка була б притаманна тільки живому. Найзагальнішими особливостями біосистем є **відкритість**, **упорядкованість** та **рівневість**, що здійснюються завдяки здатності живого до використання й перетворення речовин, енергії та інформації. Біосистеми різної складності мають механізми **саморегуляції** для збереження динамічної сталості, **самооновлення** – для утворення нових складових частин замість пошкоджених чи втрачених та **самовідтворення** – для наступності існування в часі, що є їхніми фундаментальними властивостями.



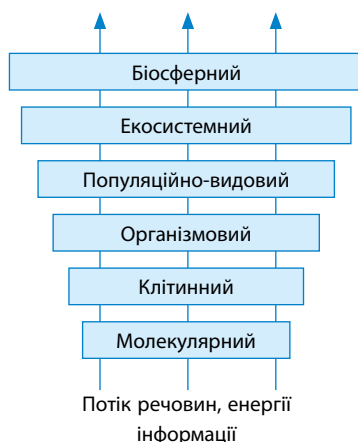
Іл. 2. Основні типи біосистем



Отже, сучасне розуміння сутності життя ґрунтується на структурно-функціональному підході, згідно з яким у біосистемах виокремлюють структурні компоненти, визначають їхні функції та зв'язки.

### Якими є принципи взаємодії рівнів організації біологічних систем?

**Рівні організації біосистем** – це певний тип взаємодії структурних та функціональних складників біологічних систем. Більшість дослідників виокремлюють: *молекулярний* (складниками є хімічні елементи та сполуки, біохімічні реакції), *клітинний* (частинами є поверхневий апарат, цитоплазма та ядро, або нуклеоїд, життєві процеси клітин), *організмівий* (клітини, тканини, органи й системи органів організмів), *популяційно-видовий* (організми одного виду з їхніми взаємовідносинами), *екосистемний* (організми різних видів, які взаємодіють між собою та з навколишнім середовищем) та *біосферний* (взаємопов'язані екосистеми) (іл. 3).



Іл. 3. Рівні організації життя

Рівні організації біосистем взаємодіють за **принципами єдності** та **ієрархії**. Основою єдності всіх рівнів організації біосистем є проникаючі крізь них потоки речовин, енергії та інформації. А принцип ієрархії систем полягає у тому, що будь-яка система є компонентом системи вищого рангу і, в свою чергу, складається з підпорядкованих їй біосистем систем нижчого рангу. Так, існування організмів забезпечується організацією будови й життєдіяльності на молекулярному і клітинному рівнях, а самі організми є компонентами популяційно-видового рівня.

Отже, усі рівні організації біосистем взаємопов'язані між собою завдяки триєдиному потоку речовин, енергії та інформації й організовані за принципом ієрархії.

### Як організовується біологічне пізнання?

**Біологічне пізнання** – це організована діяльність відповідно до мети й завдань, результатом якої є нові знання про живу природу. Головне завдання біологічної науки – побудова системи достовірного знання, що ґрунтується на фактах і узагальненнях, що їх можна перевірити й підтвердити чи спростувати. Біологія, як і будь-яка інша наука, для накопичення й обробки знань використовує такі поняття, як *науковий факт*, *гіпотеза*, *теорія*, *закон*.

- **Науковий факт** – спостереження або експеримент, які можуть бути відтворені та підтверджені (наприклад, листок зелений).
- **Гіпотеза** – обґрунтоване припущення, що його висувають для пояснення фактів (наприклад, гіпотези походження людини).
- **Теорія** – узагальнення системи фактів, що дає змогу робити прогнози, які згодом підтверджуються (наприклад, клітинна теорія).
- **Закон** – це закономірності, що не мають винятків і встановлюють зв'язки між різними явищами (наприклад, закони спадковості).

Для пізнання всієї різноманітності біосистем застосовують найрізноманітніші методи. Загальні методи наукового пізнання поділяють на дві групи: емпіричні та теоретичні. *Методи емпіричного пізнання* допомагають вивчати природні об'єкти, доступні для сприйняття (спостереження, порівняння, вимірювання, експеримент). *Методи теоретичного пізнання* – методи, за допомогою яких дослідник, не працюючи безпосередньо з природними об'єктами, здобуває знання шляхом розумових операцій (аналіз, синтез, абстрагування, конкретизація, узагальнення, аналогія, гомологія).

Основними методами біологічного пізнання є порівняльно-описовий, експериментальний, моделювання, моніторинг та статистичний.

- *Порівняльно-описовий метод* дає змогу описувати результати спостережень, явища чи організми і порівнювати їх з подібним для визначення спільних та відмінних ознак.
- *Експериментальний метод* ґрунтується на тому, що дослідники змінюють будову, функції, поведінку об'єктів дослідження і спостерігають за наслідками цих змін.
- *Моніторинг* – це постійне спостереження за станом окремих біологічних об'єктів, перебігом певних процесів у екосистемах чи біосфері.
- *Моделювання* – це метод дослідження і демонстрування структур, функцій, процесів за допомогою їхнього спрощеного відтворення.
- *Статистичний метод* – це метод математичної обробки результатів спостережень чи дослідів для перевірки ступеня вірогідності.

У біологічному пізнанні велике значення має спрямованість й визначеність діяльності. Основними підходами до біологічного пізнання є:

- *історичний* – визначає розгляд природних об'єктів та явищ у виникненні та розвитку;
- *системний* – орієнтує на вивчення біосистеми як єдиного цілого;
- *морфологічний* – спрямовує на вивчення форми та будови у взаємозв'язках із функціями;
- *фізіологічний* – організовує дослідження життєдіяльності;
- *екологічний* – спрямовує вивчення організмів у їхніх взаємозв'язках з іншими організмами та навколишнім середовищем.

Отже, біологічне пізнання передбачає діяльність за допомогою наукових понять, методів та підходів.



## **ДІЯЛЬНІСТЬ**

### **Завдання на застосування «Методи біологічних досліджень»**

Укажіть використаний у прикладах метод біологічного дослідження:

1. Учні розглянули листки двох рослин і назвали ознаки подібності та відмінності.
2. Учені з'ясували, що голуби дослідної групи втрачають орієнтацію, якщо до них прикріплюють маленькі магніти, в той час як птахи контрольної групи з немагніченими шматочками металу не втрачали правильного напрямку польоту.

- Екологи визначили, що величезної шкоди басейну Дністра завдають забруднені пестицидами й нітратами стоки з полів та викиди промислового концерну «Хлорвініл».
- В європейців частота груп крові є такою: I – 46 %, II – 42 %, III – 9 % і IV – 3 %.
- Учені використовують ртутну краплину в розчині кислоти, що здійснює ритмічні рухи, для дослідження клітинного руху амеби.

### Самостійна робота «Графічне моделювання»

**Моделювання** (у біології) – метод дослідження біологічних об'єктів пізнання за допомогою їхньої спрощеної імітації шляхом створення моделей. Система, що імітує чи відображає структуру, функції й властивості оригіналу,

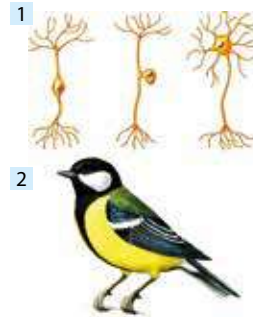


безпосереднє вивчення якого неможливе чи ускладнене, називається моделлю. Вивчення моделей дає змогу здобувати нові знання. Використайте наведені дані й побудуйте графічну модель зміни кількості населення Землі: 1750 р. – 0,5 млрд; 1800 – 1 млрд; 1939 – 2 млрд; 1960 – 3 млрд; 1975 – 4 млрд; 1987 – 5 млрд; 1999 – 6 млрд; 2008 – 6,5; 2011 – 7 млрд; 2016 – 7,43 млрд людей.



### СТАВЛЕННЯ

Порівняйте зображені біологічні системи. Доведіть залежність функціонування біосистем від взаємозв'язків між елементами різних рівнів.



Ознака	Біосистема-1	Біосистема-2
Тип біосистеми		
Рівні організації біосистеми		
Структурні елементи		
Внутрішні зв'язки між елементами		
Зовнішні зв'язки біосистеми		



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біосистеми? 2. Назвіть основні типи біосистем. 3. Що таке рівні організації біосистем? 4. Назвіть основні рівні організації біосистем. 5. Що таке біологічне пізнання? 6. Назвіть методи біологічного пізнання.
7 – 9	7. Які особливості біосистем? 8. Якими є принципи взаємодії рівнів організації біологічних систем? 9. Яке значення мають методи біологічних досліджень?
10 – 12	10. В чому залежність функціонування біосистем від взаємозв'язків між елементами різних рівнів?



## Тема 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ ТА БІОЛОГІЧНІ МОЛЕКУЛИ

*І нежива, і жива природа побудована із різних за розміром і складом молекул, а молекули, в свою чергу, – з атомів.*

*Дитяча енциклопедія «Аванта +»*

### § 3. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ. НЕОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

**Основні поняття й ключові терміни:** ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ.

**Пригадайте!** Що таке рівні організації життя?



#### Поміркуйте!

«Звір і птах, камінь і зірка – всі ми одне, усі одне... – тихо примовляла Кобра, опустивши капшук і тихо погойдуючись у проміжку між дітьми. – Дитина і змія, зірка і камінь – усі ми одне...» – писала англійська письменниця Памела Ліндон Треверс (1899 – 1996) у своїй дитячій книжці «Мері Поппінс» (Розділ 10. Повний місяць), яка вийшла ще в 1934 р. На вашу думку, про що йдеться у цьому уривку?



#### ЗМІСТ

**Якими є структурні компоненти хімічного складу клітини?**

**ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ** – сукупність хімічних елементів й хімічних речовин, що містяться у клітині й забезпечують її життєдіяльність чи організму в цілому. Умовно хімічний склад клітини можна вивчати на елементному та молекулярному рівнях. Наука, що вивчає хімічний склад живого, значення й перетворення його компонентів, називається **біохімією**.

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

Хімічний склад живого	
Елементний склад	Молекулярний склад
Біоелементи: органогени, макроелементи, мікроелементи	I. Неорганічні молекули (оксиди, кислоти, основи, мінеральні солі) II. Органічні молекули (білки, жири, вуглеводи, нуклеїнові кислоти)

Найбільший відсотковий вміст припадає на Карбон, Оксиген, Гідроген і Нітроген, що є **органогенами**. Вони відрізняються від інших малими розмірами і незначною відносною атомною масою. Саме ці особливості й зумовлюють їхню участь у побудові багатьох сполук живого, тобто **структурну функцію**. Так, Карбон входить до складу

усіх органічних сполук, Нітроген є складником амінокислот, білків, нуклеїнових кислот, вітамінів. До *макроелементів* відносять Калій, Кальцій, Натрій, Магній, Ферум, що є металами, і Фосфор, Хлор, Сульфур, що належать до неметалів. Ці елементи крім *структурної функції* здійснюють ще й *регуляторну*. Наприклад, Кальцій забезпечує зсідання крові, а Натрій і Калій регулюють транспортування речовин у клітину і з клітини. *Мікроелементами* є Цинк, Йод, Флуор, Купрум, Манган, Кобальт та ін. Ці елементи входять до складу біологічно активних речовин (гормонів, ферментів) та здійснюють *регуляторну* функцію. Так, Йод входить до складу гормонів щитоподібної залози, Цинк – до складу інсуліну.

**Молекулярний склад** живого пов'язаний з наявністю в клітинах неорганічних й органічних сполук. З неорганічних речовин у клітині найбільший вміст припадає на воду й мінеральні солі. Органічними речовинами клітин є білки, вуглеводи, ліпіди й нуклеїнові кислоти. Ці молекули утворюють складові частини клітин, забезпечують потребу клітин в енергії, захищають від чужорідних впливів середовища, беруть участь у регуляції життєдіяльності, зберігають й передають спадкову інформацію. Детальніше про будову, властивості та функції речовин клітини ми дізнаємось згодом.

Отже, основними компонентами хімічного складу клітин є біоелементи, неорганічні та органічні речовини, що виконують певні функції й забезпечують життєдіяльність клітин.

### **Наслідком яких процесів є перетворення хімічного складу клітини?**

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

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

Отже, функціональними компонентами хімічного складу клітини є фізичні й хімічні процеси, що забезпечують перетворення речовин, енергії та інформації.

## Яке біологічне значення неорганічних речовин?

Як ви знаєте з курсу хімії, серед неорганічних речовин є прості (складаються з атомів одного елемента) і складні (побудовані атомами різних елементів). Серед складних сполук виділяють чотири класи – оксиди, кислоти, основи й солі.

**Оксидами** є складні сполуки елементів з Оксигеном. Оксиди неметалів та металів виконують в організмі певні життєво важливі функції. Наприклад, гідроген оксид  $H_2O$  є універсальним розчинником, Карбон(IV) оксид  $CO_2$  – регулятором дихання, гідроген пероксид  $H_2O_2$  і чадний газ  $CO$  є токсичними речовинами.

**Кислотами** називаються сполуки, що містять у молекулах атоми Гідрогену та кислотні залишки. Особливостями, що визначають біологічне значення кислот, є їхня здатність утворювати під час дисоціації аніони  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  (беруть участь у регуляції процесів) та катіони  $H^+$ , від концентрації яких залежить кислотність рідин організмів. Кислоти є складником шлункового соку ( $HCl$ ), розчиняють нерозчинні продукти виділення ( $H_2SO_4$ ), входять до складу нуклеїнових кислот, фосфоліпідів клітинних мембран ( $H_3PO_4$ ) та ін.

**Основами** називають сполуки, до складу яких входять, як правило, атом металу і гідроксильні групи. Луги мають здатність зв'язувати йони  $H^+$  і брати участь у регуляції кислотно-лужної рівноваги рідин внутрішнього середовища. Властивості основ має і водний розчин амоніаку, що утворюється як кінцевий продукт обміну білків і чинить отруйну дію на організм.

**Солі** є продуктами заміщення атомів Гідрогену в кислотах на атоми металів. Нерозчинні у воді солі беруть участь у побудові захисних та опорних утворів (наприклад, кальцій карбонат й кальцій фосфат утворюють черепашки, скелети коралів, зуби хребетних). 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, в складі організмів є прості та складні сполуки, що виконують будівельну, регуляторну та інші функції.

<b>Прості сполуки</b>	<i>Неметали:</i> $O_2$ , $O_3$ , $H_2$ , $N_2$ та ін. <i>Метали:</i> залізо, мідь, цинк та ін.
<b>Складні сполуки</b>	<i>Оксиди:</i> $CO_2$ , $H_2O$ , $SO_3$ , $N_2O_5$ , $P_2O_5$ , $H_2O_2$ та ін.
	<i>Кислоти:</i> $HCl$ , $HNO_3$ , $H_2SO_4$ , $H_2CO_3$ , $H_3PO_4$ та ін.
	<i>Основи:</i> $NaOH$ , $Ca(OH)_2$ , $Fe(OH)_3$ та ін.
	<i>Солі:</i> нітрати, карбонати, фосфати, сульфати, хлориди



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на застосування знань

Для конкурсу пропонуються завдання, в яких фігурують 12 хімічних елементів: N, Zn, Cu, Ca, F, Ra, Cl, Fe, Se, I, Mg, Si. Укажіть назву елемента як відповідь на завдання, виберіть з цієї назви вказану літеру й отримайте назву науки, що вивчає лікарські речовини та їхню дію на організм.

### Міні-конкурс «ХІМІЯ ЖИВОГО»

- I. Який хімічний елемент у складі емалі надає їй міцності? 1...
- II. Який елемент є складником кісток, черепашок молюсків? 2...
- III. Який елемент зумовлює червоний колір крові у хребетних тварин? 3...
- IV. Від якого елемента залежить зелений колір рослин? 1...
- V. Елемент, що накопичується в болотяній ґрунті й застосовується для лікування пухлин. 2...
- VI. Який елемент зумовлює блакитне забарвлення крові кальмарів? 1...
- VII. Цей елемент є компонентом шлункового соку. 3...
- VIII. Елемент названий на честь богині Місяця і його багато в сітківці орлів. 3...
- IX. Елемент бурих водоростей у складі гормонів щитоподібної залози. 2...
- X. Елемент у складі амінокислот, білків, хітину, нуклеїнових кислот,  $\text{NH}_3$ . 6...
- XI. Якого хімічного елемента багато в клітинах хвощів? 4...
- XII. Плоди горобини, що чинять позитивний вплив на кровотворення. 1...

### Біологія + Хімія

Укажіть назви і хімічні формули неорганічних сполук, про які йдеться в таблиці. Поясніть зв'язок біології з неорганічною хімією.

#### ДЕЯКІ НЕОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ ЖИВИХ ІСТОТ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ

Назва	Значення
	У складі шлункового соку активує травні ферменти, захищає від мікроорганізмів
	Розчиняє продукти обміну для видалення з клітин разом з водою
	Кінцевий продукт обміну білків, бере участь в утворенні нітритів й нітратів
	Кінцевий продукт окиснення, регулює дихання, джерело Карбону у фотосинтезі
	Є умовою клітинного дихання, кінцевим продуктом фотосинтезу
	Утворює захисний екран від згубної для живого дії «жорсткого» ультрафіолету
	Будова черепашок радіолярій, клітин хвощів, панцирів діатомей, скелета губок



#### СТАВЛЕННЯ

**Парацельс** (справжнє ім'я – Філіпп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм) – відомий німецький алхімік, лікар епохи Відродження. Він вважав, що живі організми складаються з тих самих елементів, що й усі інші тіла природи. Висловіть та обґрунтуйте судження про подібність складу та відмінність у вмісті хімічних елементів у живій та неживій природі.



#### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке хімічний склад клітини? 2. Що є компонентами елементарного складу клітин? 3. Що є компонентами молекулярного складу клітин? 4. Назвіть неорганічні сполуки в складі живого. 5. Наведіть приклади функцій неорганічних сполук живого. 6. Назвіть органічні речовини, що входять до складу живого.
7 – 9	7. Якими є компоненти хімічного складу клітини? 8. Наслідком яких процесів є перетворення хімічного складу клітини? 9. Які склад та біологічне значення неорганічних сполук живого?
10 – 12	10. Про що свідчить подібність складу та відмінність у вмісті хімічних елементів у живій та неживій природі?

## § 4. ВОДА ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ

**Основні поняття й ключові терміни:** ВОДА. Гідрофільні сполуки. Гідрофобні сполуки.

**Пригадайте!** Що таке оксиди?



### Знайомтеся!

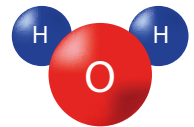
*Антуан де Сент-Екзюпері* (1900–1944) – французький письменник й авіатор. Найвидатнішим художнім твором митця (його *Magnus opus*) є «Маленький принц», в якому є відомі всім рядки: «У тебе немає ні смаку, ні кольору, ані запаху, тебе неможливо описати, тобою насолоджуються не знаючи, що ти таке. Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти – саме життя».



### ЗМІСТ

#### **У чому полягає життєво важлива роль води?**

**ВОДА** – неорганічна речовина, молекули якої складаються з двох атомів Гідрогену та одного атома Оксигену (іл. 4). Вміст води неоднаковий у різних клітинах і різних організмах. Найбільше води міститься в тілі медуз (95–98%), найменше її у комах (40–50%) та лишайниках (5–7%). Кількісно вода посідає перше місце серед хімічних сполук будь-якої клітини. Які ж біологічні функції виконує ця найпоширеніша й найважливіша на Землі речовина?



Іл. 4. Будова молекули води

- *Вода є універсальним розчинником* для багатьох сполук і забезпечує перебіг хімічних реакцій, клітинне транспортування. За розчинністю у воді всі сполуки поділяються на гідрофільні та гідрофобні. **Гідрофільні** (від грец. *гідро* – вода і *філія* – любов) **сполуки** – це полярні речовини, які добре розчиняються у воді. Вони містять частково заряджені групи або частинки, здатні взаємодіяти з молекулами води. Це розчинні кристалічні солі, моносахариди, певні амінокислоти, нуклеїнові кислоти, вітамін С та ін. **Гідрофобні** (від грец. *гідро* – вода і *фобос* – страх) **речовини** – це неполярні речовини, які не розчиняються у воді. Це нерозчинні мінеральні солі, ліпіди, полісахариди, певні білки, вітамін А.
- *Вода є реагентом*, за участі якого в клітинах відбуваються реакції гідролізу, підтримується рН середовища.
- *Вода – терморегулятор*, що забезпечує рівномірний розподіл теплоти по всій клітині та організму.
- *Вода є осморегулятором* для підтримання сталої концентрації розчинних сполук (наприклад, солей, моносахаридів) в клітині чи організмі.
- *Вода є опорою*, що забезпечує пружність клітин, амортизує механічні впливи.



- *Вода – це засіб транспортування* речовин у клітинах та організмі (наприклад, провідними тканинами у рослин чи кровоносною системою у тварин).
- *Вода як конформатор* бере участь в організації просторової компактної структури (конформації) макромолекул за допомогою молекул, що утворюють водневі зв'язки.

Отже, наявність води в клітинах та організмах є обов'язковою умовою їхньої життєдіяльності.

### Які основні властивості води визначають її функції?

Вода – єдина речовина на Землі, яка може бути у *трьох агрегатних станах*: твердому, рідкому та газуватому. За нормальних умов температура замерзання чистої води дорівнює 0°C, а кипіння – відповідно 100°C. Густина води є максимальною за температури +4°C і дорівнює 1 г/см<sup>3</sup>. Із зниженням температури густина зменшується. Коли температура досягає точки замерзання 0°C або опускається нижче, починають утворюватися дрібні кристалики льоду. Під час замерзання вода розширюється на 1/9 свого об'єму, і ці кристалики руйнують клітини. Розчинення речовин у воді знижує її температуру замерзання. Через те в клітинах рослин для витримування низьких температур накопичуються вуглеводи й олії, в клітинах членистоногих – гліцерол, в крові арктичних риб – особливі білки-кріопротектори. Перехід води з рідкого в газуватий стан потребує затрат теплоти, що використовується клітинами й організмами для захисту від перегрівання (наприклад, транспірація у рослин, потовиділення у тварин). Виділяючи нагріту воду й пару, вони позбавляються надлишку теплоти.

Вода здатна поглинати велику кількість теплоти із незначним підвищенням власної температури: у цьому сутність її *високої теплоємності*. Через те в клітинах вона є чудовим «тепловим акумулятором», запобігаючи різким змінам температури. Вода має й *теплопровідність*, що забезпечує рівномірний і швидкий розподіл теплоти в клітинах і між клітинами в організмі. Таким чином, ці властивості є основою для терморегуляції організмів.

Воді властивий винятково великий *поверхневий натяг*, що визначається силами зчеплення молекул води між собою з утворенням водневих зв'язків. Сили притягання між молекулами води спричиняють появу плівки на її поверхні, яка за стійкістю поступається лише поверхневій плівці ртуті. В живому поверхневий натяг визначає форму клітин та їх окремих частин (наприклад, при фагоцитозі). Молекули води завдяки силам зчеплення між собою та із поверхнями, що мають електричний заряд, здатні «підійматися» тонкими трубчастими отворами. Завдяки цьому відбувається переміщення рідин крізь пори клітинних стінок, капілярами тварин і судинами рослин тощо.

Основні властивості води	
Фізичні властивості	Хімічні властивості
1. Агрегатний стан	1. Взаємодія з певними кислотами, оксидами, основами й солями
2. Висока теплоємність й теплопровідність	2. Участь в гідролізі органічних сполук
3. Поверхневий натяг	3. Здатність до йонізації
4. Нестискуваність	
5. Текучість	

Воді властиві *висока пружність* і *нестискуваність*, що зумовлює її значення як опори. Ці властивості пояснюють роль гідроскелета для червів, стан напруги в клітинах рослин, сприяють проходженню звукових хвиль по клітинах (наприклад, у дельфінів, кашалотів).

Для клітин велике значення мають й хімічні властивості води.

Її амфотерність та здатність до дисоціації ( $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ ) визначають взаємодію з основами, солями, кислотами та участь в реакціях для підтримання рН цитоплазми та міжклітинних рідин (іл. 5).

Вода як реагент бере участь в біологічно важливих реакціях розкладу сполук за участі води – реакціях *гідролізу*. Ці реакції є основою гомеостазу й обміну речовин та перетворення енергії. Наприклад, гідроліз солей з утворенням кислот чи лугів має значення для підтримання рН у біосистемах, гідроліз білків до амінокислот забезпечує клітини будівельним матеріалом тощо.

Отже, життєво важливе значення води визначається її унікальними фізико-хімічними властивостями.

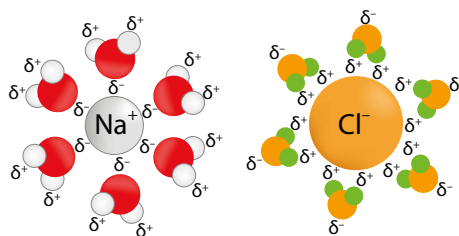
### Які особливості будови молекул води визначають її властивості?

У молекулі води атоми Гідрогену утримуються біля атома Оксигену міцними *ковалентними зв'язками*, завдяки цьому вода є дуже стійкою сполукою. Водяна пара починає розкладатися на  $\text{O}_2$  і  $\text{H}_2$  за температури, вищої від  $1000^\circ\text{C}$ .

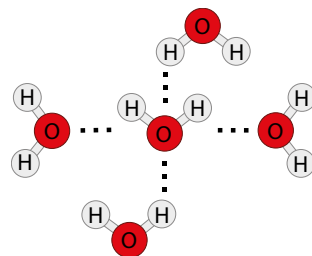
У молекул води дві пари спільних електронів зміщені до Оксигену, тому електричний заряд всередині молекул розподілений нерівномірно: протони  $\text{H}^+$  створюють позитивний заряд на одному полюсі, а пари електронів Оксигену – негативний заряд на протилежному полюсі. Ці заряди є рівними за значенням і розташовані на певній відстані один від одного. Отже, молекула води – це постійний диполь, який може взаємодіяти з носіями позитивних і негативних зарядів (*дипольність молекул*).

Завдяки полярності сусідні молекули води можуть взаємодіяти між собою і з молекулами полярних речовин з утворенням *водневих зв'язків*, які зумовлюють унікальні фізичні властивості й біологічні функції води (іл. 6). Енергія цих зв'язків становить лише 4,5 ккал/моль, і завдяки тепловому рухові вони постійно виникають і розриваються. **Водневі зв'язки** – це зв'язки, які виникають між частково негативним зарядом на атомі Оксигену однієї молекули води та позитивним зарядом на атомі Гідрогену іншої.

Отже, унікальні властивості води визначаються такими особливостями молекул води, як: 1) наявність ковалентних зв'язків між атомами; 2) наявність водневих зв'язків між молекулами; 3) дипольність молекул; 4) малі розміри молекул.



Іл. 5. Розташування молекул води під час розчинення кухонної солі



Іл. 6. Водневі зв'язки між молекулами води



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань «Вміст води у власному організмі»

Визначте вміст води у організмі, для чого використайте такі дані:

- вміст води в організмі людей різного віку різний: у зародка (8 міс.) – 83 %, у новонародженого – 73 %, у підлітків – 65 %, у дорослого – 60 %, у літньої людини – 55 % від маси тіла;
- близько 95% від загальної кількості води в клітинах припадає на вільну воду (є розчинником) і 5% – на зв'язану воду (вода у зв'язках з молекулами речовин).

*Завдання 1.* Визначте вміст води у власному організмі.

*Завдання 2.* Визначте вміст вільної і структурованої води у власному організмі.

Дайте відповідь на запитання. Чому вміст води у людини з віком зменшується? Як це позначається на життєвих функціях організму людини? Чому в клітинах більша частка припадає на вільну воду?



## СТАВЛЕННЯ

На Землі немає важливішої речовини, ніж вода, і водночас немає сполуки з такою кількістю аномальних властивостей. «Немає природного тіла, яке могло б зрівнятися з водою за впливом на геологічні процеси. Не лише земна поверхня, а й глибинні частини Землі визначаються в найістотніших своїх проявах існуванням й властивостями ВОДИ». Так писав геніальний український науковець В.І. Вернадський. Заповніть у робочому зошиті таблицю та обґрунтуйте значення води для життя на Землі.



### ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ БІОЛОГІЧНОЮ РОЛЛЮ І ВЛАСТИВОСТЯМИ ВОДИ

Біологічна роль води	Властивості води
1. Вода як розчинник	
2. Вода як реагент	
3. Температуререгулятор	
4. Вода як осморегулятор	
5. Вода як опора	
6. Засіб транспортування	



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке вода? 2. Що таке гідрофільні та гідрофобні сполуки? 3. Назвіть основні функції води. 4. Назвіть основні властивості води. 5. Назвіть особливості будови молекул води. 6. Які зв'язки забезпечують взаємодію молекул води?
7 – 9	7. Поясніть життєво важливу роль води. 8. Які основні властивості води визначають її функції? 9. Які особливості будови молекул води визначають її властивості?
10 – 12	10. Як відбувається регуляція вмісту води в живому організмі?

Де Карбон, там різноманітність речовин, де Карбон, там найрізноманітніші за молекулярною архітектурою конструкції.

Енциклопедія юного хіміка

## § 5. ОРГАНІЧНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО. БІОПОЛІМЕРИ

**Основні поняття й ключові терміни:** ОРГАНІЧНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО. Малі біомолекули. БІОПОЛІМЕРИ.

**Пригадайте!** Що таке молекулярний склад живого?



### Новини науки

У листопаді 2014 р. на комету Чурюмова – Герасименко (її відкрив у 1969 р. український науковець **Клим Чурюмов** у результаті вивчення фотопластинок, знятих Світланою Герасименко) з космічного апарату «Розетта» вперше здійснив посадку модуль «Філі». Він взяв зразки ґрунту, в яких було виявлено шістнадцять органічних сполук, з яких чотири було помічено на кометах уперше. Це ацетамід  $\text{CH}_3\text{CONH}_2$ , ацетон  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ , метилізоціанат  $\text{CH}_3\text{NCO}$  і пропіональдегід  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ . Ці сполуки, згідно з гіпотезою науковців, могли бути вихідними сполуками для виникнення біомолекул. Що таке біомолекули?



### ЗМІСТ

#### Які основні особливості біомолекул?

**ОРГАНІЧНІ МОЛЕКУЛИ ЖИВОГО**, або **БІОМОЛЕКУЛИ**, – це речовини, що мають скелети з ковалентно зв'язаних атомів Карбону і синтезуються клітинами організмів. Біомолекули належать до органічних сполук. Їх вивчають **біохімія** та **молекулярна біологія**. Вміст біомолекул у клітинах становить близько 30%. Основною причиною їхньої різноманітності є властивості Карбону, серед яких виокремлюють здатність атомів сполучатись між собою з утворенням карбонових скелетів. Завдяки ковалентним зв'язкам біомолекули достатньо міцні, стійкі до нагрівання, дії світла, впливу агресивного хімічного середовища. Карбоновий каркас є рухливим, і тому ланцюги здатні вигинатися, скручуватися, можуть бути відкритими (лінійна форма) і замикатися в кільця (циклічна форма).

Біомолекулам властиві міцні **ковалентні** (наприклад, дисульфідний, пептидний) і слабкі **нековалентні** (наприклад, водневий, йонний) хімічні зв'язки. Ці зв'язки визначають існування біомолекул та їх короткочасну взаємодію між собою. Завдяки енергії своїх зв'язків біомолекули мають високу енергоємність і здатність до **окиснення** з виділенням великої кількості теплоти. Кінцевими продуктами цього окиснення є  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ , що видаляються з клітин.

#### Основні особливості біомолекул

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

Хімічна активність біомолекул може змінюватись, що є суттєвим для виконання ними своїх функцій в різних умовах. На активність молекул у клітинах впливають йони металів (наприклад, йони Магнію, Феруму), деякі неорганічні сполуки (наприклад, кисень, вуглекислий газ), біологічно активні речовини (вітаміни, гормони та ін.).

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

Отже, біомолекули є органічними сполуками, що синтезуються в клітинах живих організмів і мають ряд особливостей будови й функціонування.

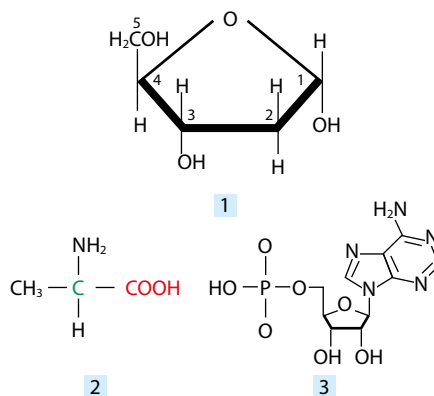
### Які особливості та значення малих біомолекул у клітинах?

**Малі біомолекули** – це молекули з відносно невеликою молекулярною масою від 100 до 1000 а. о. м., що містять до 30 атомів Карбону. На частку малих молекул припадає до 5 % від маси клітини. У малих біомолекулах містяться характеристичні (функціональні) групи (наприклад, COOH, OH, NH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>), властивості яких і визначають їхню поведінку. Так, аміногрупа NH<sub>2</sub> визначає лужні властивості амінокислот, а карбоксильна група COOH – кислотні. До малих біомолекул належать *жирні кислоти, мономерні біомолекули* (моносахариди, амінокислоти й нуклеотиди) (іл. 7), *біорегуляторні молекули* (гормони, нейромедіатори, вітаміни, алкалоїди), *енергетичні біомолекули* (АТФ, ГТФ).

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

Малі біомолекули досить часто виконують роль простих сполук, з яких утворюються складні, тобто є мономерами. Наприклад, з амінокислот утворюються білки, з моносахаридів – полісахариди, а з нуклеотидів – нуклеїнові кислоти.

Малі біомолекули не лише беруть участь у побудові макромолекул, а й можуть розпадатися з вивільненням енергії. Так, під час розщеплення 1 г глюкози вивільняється 17,6 кДж, а під час гідролізу 1 моль АТФ до АДФ – близько 40 кДж.



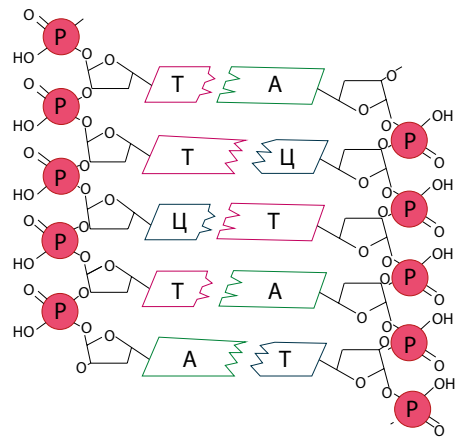
Іл. 7. Приклади малих біомолекул, що є мономерами: 1 – моносахарид рибоза; 2 – амінокислота аланін; 3 – аденіновий нуклеотид

Отже, основними функціями малих молекул у клітинах є: **будівельна** (участь мономерів у реакціях синтезу складніших молекул), **енергетична** (розпад з вивільненням енергії), **регуляторна** (участь у регуляції процесів життєдіяльності клітин та організму) та **інформаційна** (міжклітинна передача інформації).

### Яке значення біологічних макромолекул, або біополімерів?

**БІОПОЛІМЕРИ** – це високомолекулярні органічні сполуки, що складаються з великої кількості однакових чи різних за хімічною будовою мономерів й утворюються в клітинах. До біополімерів належать білки, полісахариди і нуклеїнові кислоти (іл. 8). На їх частку припадає близько 25% від маси клітини. Унікальною властивістю макромолекул є те, що їхні мономерні утворюють певну структуру (конформацію), яка й визначає їхні властивості та функції.

Біополімери (від грец. *біос* – життя, *полі* – численний, *мерос* – частина) мають велику молекулярну масу (зазвичай від 10 000 до 1 млн), тому розташовуються в ядрі чи цитоплазмі у прикріпленому стані або переміщуються дуже повільно. З них будуються хромосоми, клітинні стінки рослин, грибів й прокариотів, рибосоми тощо (**будівельна функція**). Розпад макромолекул здійснюється внаслідок руйнування ковалентних зв'язків під час *реакції гідролізу* з виділенням великої кількості енергії (**енергетична функція**). Поєднання макромолекул та їх взаємодія відбуваються на основі відповідності поверхні просторової структури. Ця інформаційна особливість має назву **структурної комплементарності**. Так, комплекси фермент/субстрат забезпечують клітинну регуляцію процесів життя (**регуляторна функція**), білкові комплекси антиген/антитіло є основою гуморального імунітету (**захисна функція**). Комплементарність нуклеотидів у побудові ДНК забезпечує їхню унікальну здатність до самоподвоєння й передачі спадкової інформації наступному поколінню (**інформаційна функція**). Розгалуженість структури, велика кількість мономерів, інертність молекул сприяє тому, що полісахаридні макромолекули відкладаються в клітинах про запас (наприклад, крохмаль у рослин, глікоген – у тварин, грибів, архей) (**запаслива функція**).



Іл. 8. ДНК є біополімером, що побудований з нуклеотидів

Отже, макромолекули мають ряд особливостей, що зумовлюють виконання таких функцій, як будівельна, енергетична, регуляторна, захисна, інформаційна та запаслива.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

За допомогою таблиці порівняйте малі молекули й макромолекули.

Ознака	Малі молекули	Макромолекули
Вміст		
Молекулярна маса		
Особливості будови молекул		
Властивості		
Основні групи		
Функції		

## Біологія + Геометрія

Спільним елементом просторової структури макромолекул є право- або лівозакручена *спіраль*. Ця фігура проявляється і в побудові галактик, коловоротів і смерчів, черепашок молюсків, малюнків на пальцях людини, в розташуванні листків, квітів й насіння рослин тощо. Оцініть значення спіралі для просторової організації біологічних макромолекул біополімерів.



## Біологія + Хімія

У Періодичній системі елементів Д.І. Менделєєва Карбон і Силіцій знаходяться в одній групі, але за поширенням в природі вони дуже відрізняються. Порівняйте будову цих елементів і запропонуйте пояснення, завдяки чому Карбон переважає в живій природі, а Силіцій – в неживій?

6
<b>C</b>
12,01115
4 2



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біомолекули? 2. Назвіть біомолекули клітини. 3. Що таке малі біомолекули? 4. Назвіть основні групи малих біомолекул. 5. Що таке біополімери? 6. Назвіть групи біополімерів клітин.
7 – 9	7. Які основні особливості біомолекул? 8. Назвіть особливості та значення малих біомолекул у клітинах. 9. Яке значення біологічних макромолекул, або біополімерів?
10 – 12	10. Чим органічні речовини відрізняються від неорганічних?

*Вуглеводи, вуглеводи, із Карбону і води!  
У всіх мешканців Природи не виходити Ви з моди  
І без вас, о вуглеводи, як без кисню і води.*

*Від автора*

## § 6. ВУГЛЕВОДИ: ВЛАСТИВОСТІ ТА РОЛЬ

**Основні поняття й ключові терміни:** ВУГЛЕВОДИ. Моносахариди. Дисахариди. Полісахариди.

**Пригадайте!** Що таке малі молекули і макромолекули?



### Поміркуйте!

Вуглеводи є невід'ємною хімічною складовою частиною клітин усіх без винятку організмів планети Земля. Але особливо багато цих сполук міститься в рослинних клітинах – близько 80%, в той час, як у тваринних клітинах – лише близько 2%. На вашу думку, чому?



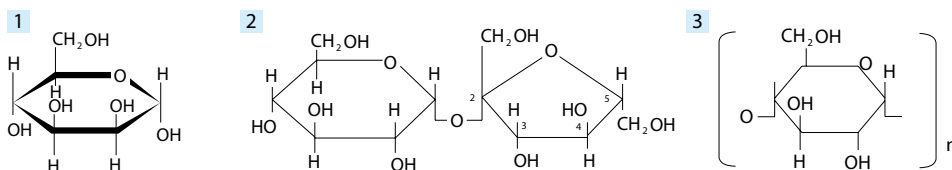
### ЗМІСТ

#### **Які властивості вуглеводів?**

Перші досліджені вуглеводи мали солодкий смак, тому їх ще часто називають *сахаридами*, або *цукрами*. Це важливий компонент організмів, джерело їхньої енергії та будівельний матеріал.

У живій природі вуглеводи є найпоширенішими за масою органічними сполуками. Їхня загальна формула –  $C_n(H_2O)_m$ , звідки й вихідна назва вуглеводів (вуглець і вода). Деякі вуглеводи можуть також містити Нітроген (наприклад, хітин), Сульфур (наприклад, пектини), Фосфор тощо. Утворюються вуглеводи у клітинах автотрофних організмів (рослин, ціанобактерій, залізобактерій) з неорганічних сполук в процесі фотосинтезу і хемосинтезу. Гетеротрофні організми (тварини, гриби) утворюють вуглеводи з готових органічних речовин, що надходять з їжею. У живих клітинах з вуглеводів синтезуються амінокислоти, жирні кислоти, вітаміни. Вуглеводи можуть перетворюватися на ліпіди. Отже, без перебільшення, вуглеводи називають основою життя.

Всім відомі такі вуглеводи, як глюкоза й сахароза (іл. 9). Для них характерними є розчинність, здатність до кристалізації та солодкий смак. Але із збільшенням молекулярної маси вуглеводів ці властивості послаблюються і зникають, як-то у крохмалю.



Іл. 9. Найпоширеніші вуглеводи: 1 – моносахарид глюкоза; 2 – дисахарид сахароза; 3 – полісахарид крохмалю



Вуглеводи здатні до безкисневого й кисневого розщеплення, що зумовлює їх провідну роль у забезпеченні усіх клітин енергією. Понад  $\frac{2}{3}$  енергетичних потреб організму задовольняється внаслідок використання вуглеводів. Продуктами повного розщеплення вуглеводів є  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

Отже, **ВУГЛЕВОДИ** (цукри) – органічні сполуки, до складу яких входять Карбон, Гідроген та Оксиген.

### Як класифікують вуглеводи?

Вуглеводи за хімічним складом можуть бути простими і складними. *Прості вуглеводи* утворені відповідно до загальної формули  $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ . *А складні вуглеводи* виникають внаслідок взаємодії молекул простих вуглеводів з молекулами ліпідів, білків, сульфатною кислотою тощо (наприклад, гліколіпіди, глікопротеїди). Але найчастіше вуглеводи, залежно від здатності до гідролізу, поділяють на три класи: моно-, оліго- та полісахариди.

**Моносахариди** (від грец. *монос* – один) – це група вуглеводів, молекули яких у своєму складі містять від 3 до 10 атомів Карбону. Це найпростіші вуглеводи, вони не зазнають гідролізу. За фізичними властивостями – це білі кристалічні речовини, солодкі на смак (найсолодшою є фруктоза, що в 5 разів солодша за глюкозу), добре розчинні у воді.

У біохімії вуглеводів уже описано більш як 50 різних природних моносахаридів. Найважливіше значення в живій природі мають пентози (молекули містять 5 атомів Карбону) і гексози (6 атомів Карбону). Із пентоз відомі *рибоза* і *дезоксирибоза*, що входять до складу рибонуклеїнових (РНК) і дезоксирибонуклеїнових (ДНК) кислот. У природі найпоширенішими гексозами є *глюкоза* (виноградний цукор) і *фруктоза* (фруктовий цукор), від умісту яких залежить солодкий смак ягід, меду.

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

**Полісахариди** (грец. *полі* – численний) – полімерні вуглеводи, побудовані з багатьох залишків моносахаридів. Ці сполуки під каталітичним впливом кислот чи ферментів-амілаз зазнають гідролізу

#### Найпоширеніші вуглеводи організмів

##### I. **Моносахариди:**

А. Пентози: *рибоза, дезоксирибоза*

Б. Гексози: *глюкоза, фруктоза*

##### II. **Дисахариди:** *сахароза, лактоза, мальтоза*

##### III. **Полісахариди:** *крохмаль, целюлоза, хітин, глікоген*

з утворенням багатьох моносахаридів. Молекулярна маса деяких полісахаридів може досягати кількох мільйонів. Вони утворюють лінійні (наприклад, целюлоза, або клітковина) та розгалужені (наприклад, глікоген) ланцюги. Полісахариди не кристалізуються, несолодкі на смак, серед них є нерозчинні у воді (наприклад, целюлоза, хітин, крохмаль), деякі здатні утворювати гелі (наприклад, агар, пектини), а окремі – гідрофільні речовини (наприклад, глікоген). Залежно від функцій полісахариди поділяють на *структурні, резервні та захисні*.

Отже, вуглеводи можуть класифікувати за хімічним складом, здатністю до гідролізу та функціями.

### Яка біологічна роль вуглеводів?

Основними функціями вуглеводів у життєдіяльності організмів є структурна (будівельна), енергетична, трофічна, резервна, захисна, рецепторна та регуляторна.

**Структурна функція.** Полісахариди утворюють покриви членистоногих, клітинні стінки грибів (*хітин*) (іл. 10), рослин (*целюлоза*), бактерій (*муреїн*), мембрани тваринних клітин (гліколіпіди і глікопротеїди). Молекули моносахаридів беруть участь у побудові нуклеотидів РНК і ДНК (рибоза і дезоксирибоза), оліго- й полісахаридів (глюкоза, галактоза).

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

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

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

**Рецепторна функція.** Гліколіпіди й глікопротеїди беруть участь у побудові клітинних мембран і сприйнятті клітиною подразнень, розпізнаванні й міжклітинній взаємодії тощо.

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



Іл. 10. Клітинні стінки грибів і екзоскелет раків містять хітин

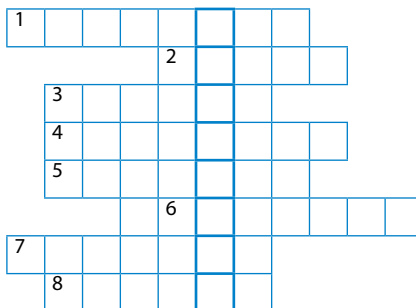
Отже, вуглеводи є складовою частиною усіх клітин і забезпечують життєво важливі функції усіх організмів.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Кросворд «Вуглеводи»

1. Запасливий полісахарид тварин й грибів.
2. Полісахарид, що утворює екзоскелет комах.
3. Рослинний клей.
4. Буряковий цукор.
5. Виноградний цукор.
6. Солодовий цукор.
7. Гормон, що регулює обмін вуглеводів.
8. Моносахарид, що є складником РНК.



У разі правильного розв'язування кросворда у виділених клітинках ви отримаєте назву хімічних реакцій розкладу речовин за участі води з утворенням нових молекул.

### Біологія + Математика

Назви груп моносахаридів утворюють від грецької назви числівника, що відповідає цій кількості з додаванням закінчення *-оза* (тріози, тетрози, пентози, гексози, гептози, октози, нанози, декози). Зіставте префікси, запозичені з грецьких кількісних числівників, з арабськими й римськими цифрами.

1 I	10 Δ	1000 X
2 II	20 ΔΔ	2000 XX
3 III	50 P	5000 P
4 IIII	80 PΔΔΔ	6000 PX
5 V	100 H	10,000 M
6 VI	300 HHH	20,000 MM
7 VII	500 P	50,000 P
8 VIII	700 PHH	60,000 PM
9 VIIII		

Пента-	Трі-	Тетра-	Гепта-	Гекса-	Окто-	Дека-	Нона-	Ундека-	Додека-
5									
V									



## СТАВЛЕННЯ

Наведіть приклади харчових продуктів, що містять вуглеводи. Вкажіть їхнє значення та зробіть висновок про необхідність вживання людиною вуглеводних харчових продуктів.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке вуглеводи? 2. Наведіть приклади вуглеводів. 3. Що таке моносахариди, дисахариди, полісахариди? 4. Наведіть приклади і функції моносахаридів. 5. Наведіть приклади і функції дисахаридів. 6. Наведіть приклади і функції полісахаридів.
7 – 9	7. Які особливості будови й властивості вуглеводів? 8. Як класифікують вуглеводи? 9. Яка біологічна роль вуглеводів?
10 – 12	10. Обґрунтуйте необхідність вживання людиною вуглеводних харчових продуктів.



чинних вітамінів, сприяють травленню жирів тощо. На сьогодні відомо понад 800 природних жирних кислот, проте значного поширення у живій природі набули близько 20. Найбільш відомими є *пальмітинова* –  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$  (див. іл. 11), *стеаринова* –  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ , *олеїнова* –  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$  та ін. Вони можуть бути насиченими (не мають подвійних зв'язків) і ненасиченими (з подвійними зв'язками).

Жирні кислоти беруть участь в хімічних реакціях утворення ліпідів як реагенти і не є мономерами, тому ліпіди – це неполімерні сполуки. Більшість ліпідів (воски, жири) характеризуються нерозчинністю у воді (гідрофобністю) та розчинністю у неполярних розчинниках: естері, ацетоні, хлороформі, бензені та ін. Такі властивості зумовлені відсутністю полярних груп у їхніх молекулах. Інші групи ліпідів (фосфоліпіди, гліколіпіди) проявляють подвійні амфифільні властивості,

тому що містять полярні (гідрофільні головки ортофосфатної кислоти чи спирту) і неполярні (ланцюжок жирної кислоти) групи (іл. 13).

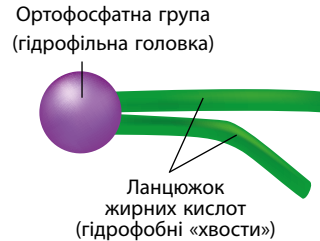
Усі ліпіди в організмі піддаються гідролізу під дією специфічних ферментів – ліпаз з утворенням жирних кислот.

Отже, **ЛІПІДИ** (від грец. *lipos* – жир) – це різноманітні за хімічним складом органічні сполуки живого, спільною ознакою яких є їхня неполярність, через що вони розчиняються лише в неполярних рідинах.

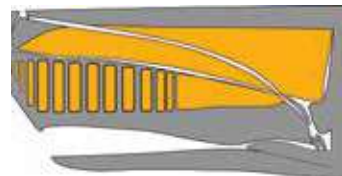
### Як класифікують ліпіди?

Існує декілька класифікацій ліпідів, серед яких можна виокремити класифікації за біологічними функціями (резервні та структурні ліпіди), властивостями (полярні та неполярні ліпіди) і класифікація за структурними особливостями, що є найбільш вживаною. Згідно з нею всі ліпіди поділяються на прості та складні.

**Прості ліпіди** є похідними жирних кислот і спиртів. Найвідомішими з них є воски й жири. **Воски** – це гідрофобні сполуки, в утворенні яких беруть участь жирні кислоти й одноатомні спирти. Їх поділяють на *тваринні воски* (наприклад, спермацет, ланолін, бджолиний віск, китайський віск) та *рослинні воски* (наприклад, кутин, суберин). Ці речовини утворюють захисну кутикулу на листках й плодах, вкривають хітинову оболонку комах й павуків, використовуються для побудови сотів бджолами, збільшують плавучість китів та ін. (іл. 14). **Жири** – це гідрофобні сполуки, в утворенні яких беруть участь жирні кислоти й триатомний спирт гліцерол. За походженням жири поділяють на рослинні (соняшникова, трояндова олії, масло какао) й тваринні (китовий жир, свинячий жир, риб'ячий жир). Вони можуть бути рідкими (містять ненасичені жирні кислоти) й твердими (мають насичені жирні кислоти). Основна функція жирів – енергетична.



Іл. 13. Будова молекули фосфоліпиду



Іл. 14. Спермацетовий орган у голові кашалота

**Складні ліпіди** окрім ліпідної частини містять й інші речовини. У *лінопротеїдів* 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* – гідрофобні сполуки, що виявляють високу біологічну активність. До стероїдів належать холестерин, жовчні кислоти. Стероїдну природу мають й статеві гормони та гормони надниркових залоз (кортикостероїди). До жироподібних сполук належать жиророзчинні вітаміни А, D, Е і К.

Отже, класифікувати ліпіди дуже важко через їхню величезну хімічну різноманітність, але найчастіше їх поділяють за хімічним складом на прості й складні ліпіди.

### Яка біологічна роль ліпідів?

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

- **будівельна**, або **структурна** (фосфоліпіди й холестерин беруть участь у побудові біліпідного шару клітинних мембран);
- **енергетична** (під час розщеплення 1 г жирів вивільняється 38,9 кДж енергії, тобто удвічі більше, ніж під час окиснення білків і вуглеводів);
- **запаслива** (у рослин відкладаються про запас олії, у тварин – жири; крім того, надлишок вуглеводів й білків може перетворюватися на жири і відкладатися про запас);
- **теплоізоляційна** (завдяки низькій теплопровідності жири, накопичуючись в підшкірній клітковині, запобігають втратам теплоти);
- **водоутворювальна** (під час окиснення 1 г жирів утворюється 1,1 г метаболічної води, яка дуже важлива для мешканців пустелі, тварин, які западають у сплячку);
- **регуляторна** (статеві гормони, кортикостероїдні гормони беруть участь в ендокринній регуляції процесів життєдіяльності організмів);
- **захисна** (воски захищають органи рослин від втрат води, жири навколо внутрішніх органів в організмі тварин – від механічних впливів, вітамін F чинить антиалергічну й протизапальну дію в організмі людини);
- **сигнальна** (гліколіпіди в складі мембран здійснюють сприйняття подразнень);
- **антиоксидантна** (вітаміни А і Е – речовини, що захищають клітини від небезпечних для процесів життєдіяльності вільних радикалів);
- **травна** (жовчні кислоти, фосфоліпіди, холестерол беруть участь в емульгації жирів та їх усмоктуванні. Окрім того, жири є розчинниками для вітамінів А, D, Е, К, і їх наявність у складі їжі суттєво впливає на засвоєння цих вітамінів організмом).

Отже, біологічні функції ліпідів є такими ж різноманітними, як і самі ліпіди.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на зіставлення

Установіть відповідність між запропонованими назвами ліпідів і визначеннями та отримайте назву методу вилучення речовин із суміші за допомогою певного розчинника.

**Назви ліпідів:** 1 – ланолін; 2 – спермацет; 3 – фосфоліпіди; 4 – жирні кислоти; 5 – жовчні кислоти; 6 – тестостерон; 7 – «вітамін F»; 8 – кутин; 9 – вітамін D; 10 – холестерин.

**Визначення:** А – стероїдний чоловічий статевий гормон; Е – вовняний віск, що одержують при промиванні овечої вовни; І – жиророзчинний вітамін, що регулює обмін Кальцію; К<sub>1</sub> – тваринний віск деяких китоподібних; К<sub>2</sub> – жиророзчинний вітамін як комплекс незамінних жирних кислот; С – складні ліпіди, що є основними компонентами клітинних мембран; Т – основні компоненти молекул ліпідів; Р – стероїдні сполуки, що здійснюють емульгацію жирів у травленні; Ц – рослинний віск, що утворює кутикулу листків; Я – стероїдна сполука, що відкладається в стінці кровоносних судин при атеросклерозі.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

### Завдання на формування дослідницьких умінь

Проведіть запропоновані досліди, опишіть результати.

**Дослід 1.** У тарілку з молоком насипте невелику кількість декількох різних за кольором харчових барвників. Що відбувається? Через деякий час кінчик ватної палички змочіть медичним спиртом (засобом для миття посуду) і опустіть у центр тарілки. Що спостерігаєте?

**Дослід 2.** У три пробірки помістіть по 1 мл олії. У першу пробірку додайте 5 мл води, у другу – 5 мл спирту, у третю – 5 мл медичного ефіру чи спирту (можна придбати в аптеці). Вміст усіх трьох пробірок енергійно струсіть. Що спостерігаєте?



## СТАВЛЕННЯ

Наведіть приклади продуктів, що містять ліпіди. Вкажіть їхнє значення та зробіть висновок про необхідність вживання людиною таких продуктів.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке ліпіди? 2. Що таке жирні кислоти? 3. Наведіть приклади простих ліпідів. 4. Наведіть приклади складних ліпідів. 5. Назвіть основні функції ліпідів. 6. Поясніть структурну й енергетичну функції ліпідів.
7 – 9	7. Які особливості будови та властивості ліпідів визначають їхнє значення? 8. Як класифікують ліпіди? 9. Яка біологічна роль ліпідів?
10 – 12	10. Обґрунтуйте необхідність вживання людиною харчових продуктів, що містять ліпіди.

*Життя – це спосіб існування білкових тіл, суттєвим моментом якого є постійний обмін речовин із оточуючою природою.*

*Ф. Енгельс*

## § 8. БІЛКИ, ЇХНЯ ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ФУНКЦІЇ

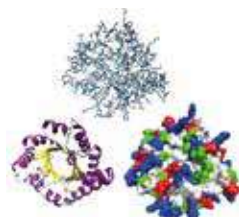
**Основні поняття й ключові терміни:** БІЛКИ. Амінокислоти. Денатурація. Ренатурація.

**Пригадайте!** Що таке макромолекули?



### Поміркуйте!

У природі існує близько 10 трильйонів ( $10^{12}$ ) різних білків, що забезпечують життєдіяльність організмів усіх ступенів складності від вірусів до людини та вирізняють між собою представників тих двох мільйонів видів організмів, відомих на сьогодні в біології. Від чого залежить така вражаюча різноманітність білків?



Тривимірна структура білків



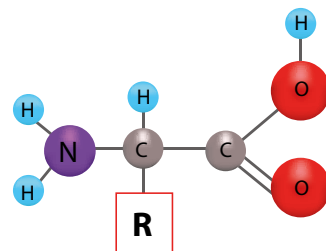
### ЗМІСТ

#### **Які особливості будови білків?**

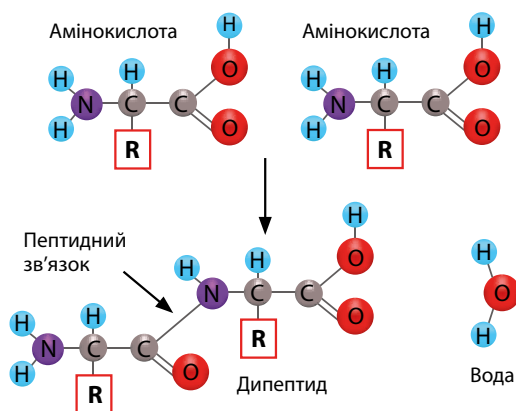
**БІЛКИ** – це високомолекулярні біополімерні органічні сполуки, мономерами яких є амінокислоти. Особливістю сучасних досліджень білків є визначення білкового складу організмів; цим займається така наука, як *протеоміка*.

Білки є біополімерами з 20 різних мономерів – природних *основних амінокислот*, поєднаних у макромолекулах в специфічних кількості й послідовності. Порядок розташування амінокислот у молекулі білка визначається геном.

**Амінокислоти** – це малі біомолекули, до складу яких входять аміно- і карбоксильна групи. Крім того, вони містять характеристичну (радикал-R) групу, яка у різних амінокислот є різною (іл. 15). При взаємодії  $\text{NH}_2$ -групи однієї амінокислоти з  $\text{COOH}$ -групою іншої утворюються *пептидні зв'язки*, що визначають міцність білкових молекул (іл. 16). За біологічними особливостями амінокислоти поділяють на *замінні* (наприклад, аланін, аспарагін) та *незамінні* (аргінін, валін). Перші синтезуються в організмі людини і тварин, а другі не синтезуються і потрапляють до



Іл. 15. Загальна структурна формула амінокислоти



Іл. 16. Схема утворення пептидного зв'язку



нього лише з харчовими продуктами. Для нормальної життєдіяльності організм потребує повного набору з 20 основних амінокислот.

Білки поділяють за хімічним складом на прості (протеїни) та складні (протеїди). Прості білки побудовані лише з амінокислотних залишків, а складні містять ще й небілкові компоненти (атоми Феруму в гемоглобіні, Цинку – в інсуліні, Магнію – в хлорофілі, молекули ліпідів – у ліпопротеїдах, вуглеводів – у глікопротеїдах, нуклеїнових кислот – у нуклеопротеїдах).

Отже, нескінчена різноманітність білків визначається різноманітністю комбінацій амінокислот та їхньою здатністю сполучатись з іншими молекулами.

### Якою є структурна організація білків?

Виокремлюють чотири рівні структури білків (іл. 17).

**Первинна структура** кодується відповідним геном, є специфічною для кожного окремого білка і найбільшою мірою визначає властивості сформованого білка. Формують первинну структуру білків пептидні зв'язки, хоча можуть мати місце і ковалентні дисульфідні зв'язки.

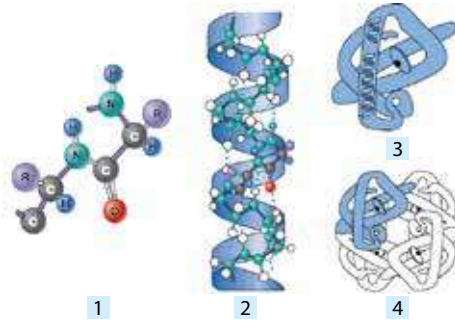
**Вторинна структура** являє собою форму спіралі або структуру складчастого листка і є найстійкішим станом білкового ланцюга.

Така стійкість формується завдяки численним водневим зв'язкам. Прикладами білків із вторинною структурою є кератини (утворюють волосся, нігті, пір'я тощо) і фіброїн (білок шовку).

**Третинна структура** виникає в результаті взаємодії амінокислотних залишків з молекулами води. При цьому гідрофобні «хвости» «втягуються» всередину білкової молекули, а гідрофільні групи орієнтуються у бік розчинника завдяки водневим зв'язкам. У такий спосіб формується компактна молекула білка, усередині якої практично немає молекул води. Підтримання третинної структури забезпечують ковалентні дисульфідні та нековалентні йонні, гідрофобні й електростатичні зв'язки. До білків з третинною структурою відносять міоглобін.

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

Білки можуть тривалий час зберігати структуру і фізико-хімічні властивості. Але є ряд чинників (температура, кислоти, луги, важкі метали), вплив яких спричиняє втрату природної структури білка із



Іл. 17. Структурна організація білків:

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

збереженням первинної. Цей процес називається **денатурацією**. Якщо дія цих чинників припиняється, то білок відновлює свій початковий стан. Це явище називають **ренатурацією**. У живих організмах ці властивості білків пов'язані з виконанням певних функцій: сприйняттям сигналів із зовнішнього середовища, забезпеченням рухів тощо. Необоротний процес руйнування первинної структури білка називають **деструкцією**.

Отже, на різноманітність білків впливає ще й їхня просторова структура, яка формується в процесі згортання білків (або фолдингу).

### Яка роль білків у життєдіяльності організмів?

Головна характеристика білків, що дає їм змогу виконувати різноманітні функції, – здатність зв'язуватися з іншими молекулами. Ділянки білків, що відповідають за це, називаються *ділянками зв'язування*. Функції білків у клітині різноманітніші, ніж функції інших макромолекул. Основними із них є:

- **будівельна** – білки є будівельним матеріалом для багатьох структур (наприклад, колаген є компонентом хрящів, кератин будує пір'я, нігті, волосся, роги, еластин – зв'язки);
- **каталітична** – білки-ферменти прискорюють хімічні реакції (наприклад, трипсин каталізує гідроліз білків);
- **рухова** – скоротливі білки забезпечують рухи, зміну форми клітин організму (наприклад, міозин, актин утворюють міофібрили);
- **транспортна** – білки можуть зв'язувати і транспортувати неорганічні та органічні сполуки (наприклад, гемоглобін переносить  $O_2$  у крові хребетних, міоглобін переносить  $O_2$  у м'язах, гемоціанін переносить  $O_2$  у крові головоногих молюсків);
- **захисна** – білки захищають від ушкоджень, антигенів тощо (наприклад, антитіла інактивують чужорідні білки, фібриноген є попередником фібрину під час зсідання крові);
- **регуляторна** – білки регулюють активність обміну речовин (наприклад, гормони інсулін, глюкагон регулюють обмін глюкози, соматотропін є гормоном росту);
- **енергетична** – під час розщеплення білків у клітинах вивільняється енергія ( $1 \text{ г} = 17,2 \text{ кДж}$ );
- **сигнальна** – є білки, що можуть змінювати свою структуру під дією на них певних чинників і передавати сигнали, які при цьому виникають (наприклад, родопсин – зоровий пігмент);
- **запаслива** – білки можуть відкладатися про запас і слугувати джерелом важливих сполук (наприклад, яєчний альбумін як джерело води, казеїн – білок молока);
- **поживна** – є білки, що їх споживають організми (наприклад, казеїн – білок молока для живлення малят ссавців).

Існує багато білків, які розширюють перелічені вище функції білків. Білкову природу мають деякі антибіотики, отрути змій і павуків, бактеріальні токсини. У деяких арктичних риб у крові є білок, що виконує функції антифризу: він не дає крові цих тварин замерзати.

Отже, різноманітність білків визначає й різноманітність їхніх функцій у життєдіяльності організмів.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 (А)

#### Розв'язування елементарних вправ зі структури білків

**Мета:** формувати вміння розв'язувати елементарні вправи з молекулярної біології.

#### Що потрібно пам'ятати для розв'язування вправ

- Відносна молекулярна маса ( $M_r$ ) білків вимірюється в атомних одиницях маси (а.о.м.) або дальтонах (Да)
- Відносна молекулярна маса амінокислоти – 100 а.о.м.

**Вправа 1.** Молекулярна маса білка каталази дорівнює 224 000 а.о.м. Скільки амінокислотних залишків є в цій молекулі? Яка кількість пептидних зв'язків між амінокислотами утворює ланцюг?

**Вправа 2.** Інсулін (гормон підшлункової залози) має молекулярну масу 5 610 а.о.м. Визначте, скільки аміно- і карбоксильних функціональних груп входить до його складу.

**Вправа 3.** Визначте молекулярну масу білка лізоциму, до складу якого входить 130 амінокислот.

**Вправа 4.** Молекулярна маса гемоглобіну дорівнює 68 660 Да. Всього до складу (всіх 4 субодиниць гемоглобіну) входить 602 амінокислоти. Визначте молекулярну масу гему.

**Вправа 5.** Гемоглобін крові людини містить 0,34% Феруму. Визначте мінімальну масу молекули гемоглобіну (молекулярну масу білка можна визначити за формулою:  $M = 100 \times a/b$ , де  $M$  – молекулярна маса білка;  $a$  – атомна або молекулярна маса компонентів;  $b$  – відсотковий склад компонента).

**Вправа 6.** Карбоангідраза – це фермент, за допомогою якого утворюється вуглекислий газ у процесах тканинного дихання. Молекули ферменту містять 0,23% Цинку. Визначте молекулярну масу карбоангідрази.



## СТАВЛЕННЯ

Наведіть приклади харчових продуктів, що містять білки. Вкажіть значення білків в організмі людини. Зробіть висновок про необхідність вживання людиною білкових харчових продуктів.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке білки? 2. Що таке амінокислоти? 3. Назвіть структурні рівні організації білків 4. Що таке денатурація і ренатурація? 5. Назвіть зв'язки, що стабілізують структуру білків. 6. Назвіть основні функції білків.
7 – 9	7. Які особливості будови білків? 8. Якою є структурна організація білків? 9. Яка роль білків у життєдіяльності організмів?
10 – 12	10. Від чого залежить нескінченна різноманітність білків?

## § 9. НУКЛЕЙНОВІ КИСЛОТИ

**Основні поняття й ключові терміни:** НУКЛЕЙНОВІ КИСЛОТИ. Нуклеотиди.

**Пригадайте!** Що таке біополімери та мономери?



### Знайомтеся!

25 квітня 1953 р. вважається днем народження молекулярної біології, оскільки в цей день в журналі *Nature* була опублікована стаття Джеймса Уотсона і Френсіса Кріка з описом створеної моделі просторової структури ДНК. Одне з найбільших відкриттів людства було зроблено так, що неможливо визначити, який науці це відкриття належить, – так тісно переплелися в ньому хімія, фізика та біологія.



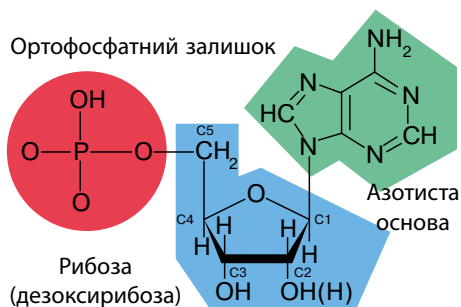
### ЗМІСТ

#### Які особливості будови та властивості нуклеїнових кислот?

У живому організмі є хімічні сполуки, призначені для збереження спадкової інформації. Це дезоксирибонуклеїнові кислоти (ДНК). Вони не лише зберігають інформацію всередині організму, а й передають її наступному поколінню. В клітинах організму є й сполуки, що цю інформацію реалізують у певні білки. Це рибонуклеїнові кислоти (РНК).

Нуклеїнові кислоти було виявлено швейцарським хіміком Ф. Мішером у складі ядер лейкоцитів в 1869 р., звідки й походить їхня назва (від лат. *nucleus* – ядро). Це найбільш високомолекулярні речовини у клітині, їх маса досягає декількох мільйонів. Пізніше хіміки встановили, що нуклеїнові кислоти мають вигляд нерозгалуженого ланцюга, утвореного з нуклеотидів.

**Нуклеотиди** – органічні сполуки, молекули яких складаються з азотистої основи, моносахариду і залишків ортофосфатної кислоти (іл. 18). Вміст цих малих молекул у клітині становить 0,4% від загальної її маси. Отже, до складу молекул нуклеотидів входять: 1) азотиста (нітрогеновмісна) основа (А – аденін, Г – гуанін, Т – тимін, Ц – цитозин або У – урацил); 2) залишок пентози (Р – рибоза або Д – дезоксирибоза) і ортофосфатна кислота. Нуклеотиди добре розчинні у воді, проявляють властивості кислот, оскільки містять ортофосфатну кислоту, а завдяки нітрогеновмісним основам – основні властивості. І саме ці властивості, співвідношення і послідовність розташування



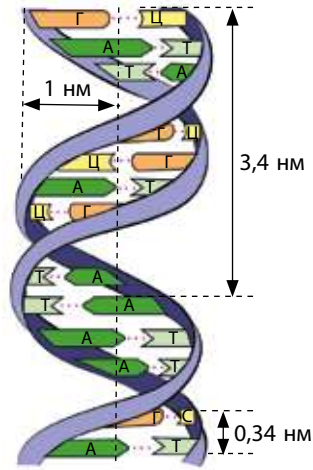
Іл. 18. Структурна формула нуклеотиду

нуклеотидів, просторова структура молекул визначають властивості й функції нуклеїнових кислот. Організми різних видів різняться між собою, тому що молекули ДНК їхніх клітин мають різну послідовність нуклеотидів, і відповідно, містять різну спадкову інформацію.

Отже, **НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ** – складні високомолекулярні біополімери, побудовані з нуклеотидів, які в усіх живих організмах виконують роль збереження, передачі й реалізації спадкової інформації.

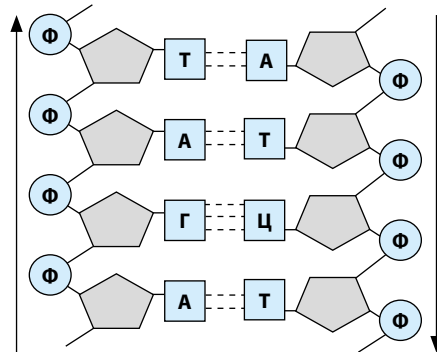
### Які особливості структури та властивості ДНК?

Яким чином довгий нерозгалужений ланцюг ДНК кодує всю спадкову інформацію організму? Як ця інформація передається від одного покоління наступному? А як ці довгі ланцюги розташовані в мікроскопічному ядрі? Відповідь на ці та інші подібні запитання містить просторова структура ДНК. Згідно з моделлю, створеною Дж. Уотсоном і Ф. Кріком, молекула ДНК складається з двох ланцюгів і згорнута у спіраль, яка характеризується такими параметрами. Спіраль правозакручена, відстань між нуклеотидами (або довжина нуклеотиду) становить 0,34 нм, крок спіралі – 3,4 нм і містить 10 пар нуклеотидів, діаметр спіралі (2 нм) сталий по всій довжині (іл. 19).



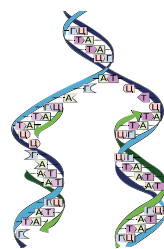
Іл. 19. Будава і розміри молекули ДНК

Спіраль молекули ДНК складається з дезоксирибонуклеотидів, в утворенні яких беруть участь: азотисті основи аденін, тимін, гуанін і цитозин, моносахарид дезоксирибоза і залишки ортофосфатної кислоти. Мономери ДНК поділяють на 4 типи: аденілові, тиміділові, гуанілові й цитиділові. Нуклеотиди в одному ланцюзі з'єднані міцними ковалентними (фосфодіестерними) зв'язками, а нуклеотиди з різних ланцюгів у молекулах ДНК з'єднуються між собою за допомогою водневих зв'язків на основі принципу комплементарності ( $A = T$ ,  $G = C$ ) (іл. 20). Завдяки цьому ланцюги ДНК можуть слугувати матрицею для утворення нових ланцюгів. *Процес самоподвоєння ДНК, який забезпечує точне копіювання спадкової інформації і передачу її з покоління в покоління, називається реплікацією* (від англ. *replication* – копіювання) (іл. 21). Механізм реплікації відбувається з високою точністю, але інколи трапляються помилки. Молекули ДНК здатні до виправлення порушень. *Репарація* (від англ. *DNA repair* – «ремонт»



Іл. 20. Будава і зв'язки в молекулі ДНК (між аденіловими і тиміділовими нуклеотидами утворюються два водневі зв'язки, а між гуаніловими і цитиділовими – три водневі зв'язки)

ДНК) – сукупність процесів, за допомогою яких виправляються пошкодження молекул. Ще однією властивістю ДНК є здатність до *денатурації* (втрача молекулою ДНК спіральної структури внаслідок розриву водневих зв'язків між комплементарними азотистими основами) і *ренатурації* (відновлення двоспіральної структури завдяки встановленню водневих зв'язків між комплементарними азотистими основами).



Іл. 21. Реплікація ДНК

Отже, **ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕІНОВА КИСЛОТА** (ДНК) – нуклеїнова кислота, у якій мономерами є дезоксирибонуклеотиди; структура – подвійна спіраль; основні властивості – реплікація, репарація, денатурація й ренатурація.

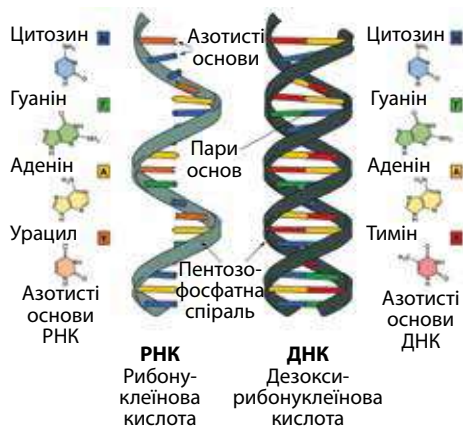
### Чим і чому РНК відрізняється від ДНК?

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

Для синтезу білка інформація з певних ділянок ДНК, що називаються *генами*, переписується на РНК. Ці нуклеїнові кислоти відрізняються від ДНК як за хімічним складом, так і за функціями. РНК побудована з *рибонуклеотидів*, в утворенні яких беруть участь азотисті основи аденін, гуанін, цитозин і *урацил*, моносахарид *рибоза* та залишки ортофосфатної кислоти. Виокремлюють 4 типи рибонуклеотидів (аденілові, уридиллові, гуанілові й цитиділові), що поєднуються в одинарний ланцюг за допомогою ковалентних зв'язків.

Таким чином, молекули РНК відрізняються від ДНК низкою ознак: а) вуглеводом РНК є *рибоза*; б) РНК не містить тиміну, його місце займає урацил; в) РНК є *одноланцюговою* молекулою. Окрім того, РНК завжди мають менші довжину й молекулярну масу, оскільки є копіями окремих ділянок ДНК (іл. 22).

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



Іл. 22. Особливості будови і структури РНК і ДНК

Отже, **РИБОНУКЛЕІНОВІ КИСЛОТИ** – це біополімерні молекули, що побудовані з рибонуклеотидів і забезпечують реалізацію спадкової інформації у вигляді молекул білків.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

За допомогою таблиці порівняйте ДНК і РНК у робочому зошиті та сформулюйте висновок про причини відмінностей.

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДНК І РНК

Ознака	ДНК	РНК
Мономери		
Склад нуклеотидів		
Структура		
Властивості		
Функції		

### Практична робота № 1 (Б)

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

**Мета:** формувати вміння розв'язування елементарних вправ з молекулярної біології.

Для розв'язування задач цього типу потрібно пам'ятати, що довжина нуклеотиду – 0,34 нм; молекулярна маса нуклеотиду – 345 а.о.м.

**Правило Чаргаффа (1950):** кількість аденілових нуклеотидів у молекулі ДНК дорівнює числу тимідилових ( $A = T$ ), а гуанілових – числу цитиділових ( $G = C$ ).

**Вправа 1.** У фрагменті одного ланцюга молекули ДНК нуклеотиди розміщені в такій послідовності: ТТГ АГЦ АЦГ ГТА ААТ ЦГА. Побудуйте схему дволанцюгової ДНК. Визначте довжину і масу цього фрагмента.

**Вправа 2.** Фрагмент молекули РНК складається з 37 нуклеотидів. Яка його довжина?

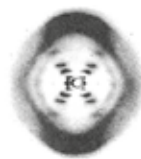
**Вправа 3.** Яка довжина молекули фрагмента ДНК, який складається з 270 нуклеотидів?

**Вправа 4.** Фрагмент молекули ДНК містить 560 тимідилових нуклеотидів (28 % загальної кількості). Визначте кількість у даному фрагменті аденілових, гуанілових і цитиділових нуклеотидів.



## СТАВЛЕННЯ

Метод рентгеноструктурного аналізу допоміг Д. Уотсону та Ф. Кріку отримати в 1962 р. Нобелівську премію з фізіології та медицини за відкриття просторової структури ДНК. В цьому ж році Дж. Кендрю і М. Перутц отримали Нобелівську премію з хімії за визначення тривимірної структури білків, що проведене також методом рентгеноструктурного аналізу. В чому ж сутність цього методу? Яке наукове значення відкриття просторової структури ДНК?



Рентгенограма міоглобіну і ДНК



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке нуклеїнові кислоти? 2. Що таке нуклеотиди? 3. Які нуклеотиди утворюють ДНК? 4. Яка роль ДНК у клітинах? 5. Що таке РНК? 6. Які є види РНК?
7 – 9	7. Які особливості будови та властивості нуклеїнових кислот? 8. Які особливості структури та властивості ДНК? 9. Чим і чому РНК відрізняється від ДНК?
10 – 12	10. Які причини подібності та відмінностей ДНК і РНК?

## § 10. МОЛЕКУЛЯРНИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЯ

**Основні поняття й ключові терміни:** МОЛЕКУЛЯРНИЙ РІВЕНЬ ЖИТТЯ. Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ). Ферменти.

**Пригадайте!** Що таке біологічні системи?



### **Запам'ятайте!**

**Енергія** (від грец. *енергос* – діяльний) – це фізична величина, загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Поняття енергії поєднує всі явища природи в одне ціле. Воно пов'язане зі здатністю фізичного тіла або системи виконувати певну роботу. При цьому тіло або система частково втрачає енергію.



### **ЗМІСТ**

**Як забезпечується єдність та сталість хімічного складу клітини?**

**МОЛЕКУЛЯРНИЙ РІВЕНЬ ЖИТТЯ** – це рівень організації, існування й властивості якого визначаються хімічними елементами й молекулами та їхньою участю в процесах перетворення енергії, речовин та інформації. Для підтримання упорядкованості хімічного складу в мінливих умовах існування клітинам необхідне безперервне надходження *енергії* ззовні. Джерелом цієї енергії є світло для клітин автотрофів або хімічна енергія органічних сполук для клітин гетеротрофів. Перший закон термодинаміки вказує на те, що *енергія не може бути ні створена, ні знищена, вона лише переходить з однієї форми в іншу*. Наприклад, у рослинних клітинах світлова енергія перетворюється в хімічну енергію зв'язків глюкози, у клітинах тварин хімічна енергія вуглеводів перетворюється в механічну енергію руху. Під час перетворення енергії у клітинах якась її частка втрачається у вигляді теплоти. Всі ці перетворення енергії становлять її енергетичний обмін.

Під час енергетичного обміну енергія використовується для перетворення *речовин*: синтезу складних молекул із простих, утворення особливих енергетичних сполук з макроорганічними зв'язками тощо. Завдяки енергії клітина здійснює й перетворення *інформації*: сприймає сенсорну інформацію ззовні, подає інформативні сигнали для інших клітин, передає спадкову інформацію наступному поколінню клітин.

Молекулярний рівень організації життя	
Структурна упорядкованість	Функціональна упорядкованість
1. Елементарні складники: - органогени; - макроелементи; - мікроелементи 2. Молекулярні складники: - неорганічні молекули; - органічні молекули	1. Процеси перетворення енергії 2. Процеси перетворення речовин 3. Процеси перетворення інформації

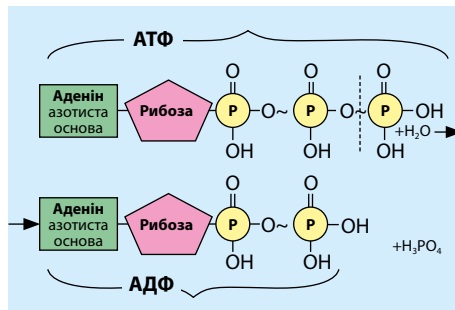


Ці приклади свідчать про те, що перетворення енергії відбувається водночас з перетвореннями речовин та інформації.

Отже, єдність й сталість складників молекулярного рівня забезпечується триєдиним потоком енергії, речовин та інформації, що постійно проходять через клітини.

### Як будова АТФ пов'язана з її функціями?

**Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ)** – органічна сполука, що належить до вільних нуклеотидів і є універсальним хімічним акумулятором енергії у клітині. Молекула АТФ є нуклеотидом, який складається із аденіну, рибози і трьох залишків ортофосфатної кислоти. При гідролітичному відщепленні фосфатної групи від АТФ вивільняється близько 40 кДж енергії та утворюється АДФ (аденозиндифосфатна кислота) (іл. 23). Коли ж від молекули АТФ відщеплюються два ортофосфатні залишки, то утворюється АМФ (аденозинмонофосфатна кислота) і звільняється близько 80 кДж енергії. АТФ утворюється за рахунок енергії, що виділяється під час окиснення речовин у цитоплазмі клітин, мітохондріях, а під час фотосинтезу – ще й у хлоропластах.



іл. 23. Схема гідролізу АТФ

Використання АТФ залежить від енергетичних потреб клітин.

Так, у стані спокою у людини розпадається 28 г АТФ за 1 хв, а під час фізичного навантаження затрата АТФ досягає 500 г за 1 хв.

У зворотному процесі, під час утворення АТФ з АДФ чи АМФ і неорганічного фосфату, енергія акумулюється у високоенергетичних макроергічних зв'язках, які виникають між залишками ортофосфатної кислоти. Молекули АТФ утворюються в кисневих (аеробних) і безкисневих (анаеробних) умовах. Процеси розщеплення і утворення АТФ відбуваються постійно відповідно до схеми:



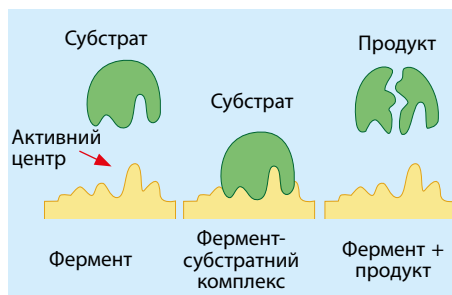
Отже, основна функція АТФ – це енергетична, оскільки бере участь в енергетичному обміні, запасаючи в своїх макроергічних зв'язках значну кількість енергії.

### Яке значення ферментів у клітині?

Установлено, що ферменти мають білкову природу, утворюються в клітинах організмів і слугують каталізаторами практично в усіх біохімічних реакціях. Відмінність ферментів від хімічних каталізаторів полягає у їхній специфічності. Кожний вид ферменту каталізує особливу хімічну реакцію. В природі є і РНК-ферменти, що називаються рибозимами. Їх вважають первісною формою органічних каталізаторів, які були замінені білковими ферментами в процесі еволюції. Наука про ферменти називається *ензимологією*.

Загальними властивостями ферментів є:

- наявність активних центрів (ділянки з декількох амінокислот, до яких приєднуються молекули субстрату) (іл. 24);
- специфічність, яка визначається 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;
- висока біологічна активність – для реакцій використовуються в малих кількостях;
- регульованість дії відбувається під дією певних сполук (регуляторні білки, катіони металів, аніони кислот).



Іл. 24. Механізм дії ферментів

Найчастіше ферменти класифікують за хімічним складом на прості й складні. *Прості ферменти* є однокомпонентними, тобто мають лише білкову частину (наприклад, амілази, ліпази, протеази). *Складні ферменти* – двокомпонентні, складаються з апоферменту (білкова частина) й кофактора (небілкова частина) (наприклад, каталаза, ДНК-полімераза).

Ферментні реакції поділяються на анаболічні (реакції синтезу) і катаболічні (реакції розпаду), а сукупність всіх цих процесів у живій системі називають метаболізмом.

Значення ферментів полягає в тому, що вони збільшують швидкість хімічних реакцій у клітині, забезпечуючи хімічні перетворення речовин внаслідок зниження *енергії активації* (енергії, необхідної для надання реакційної здатності молекулі).

Отже, **ферменти** – високоспецифічні білкові молекули або РНК-молекули, які є біологічними каталізаторами реакцій у клітинах.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Лабораторне дослідження «ВЛАСТИВОСТІ ФЕРМЕНТІВ»

**Обладнання й матеріали:** предметні й накривні скельця, пробірки, мікроскопи, листки елодеї, м'якоть яблука, шматочки сирі та вареної картоплі, сирого та вареного м'яса, ступка, свіжий 3% -й розчин  $\text{H}_2\text{O}_2$ , дистильована вода.

#### Теоретична частина

Гідроген пероксид ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) нагромаджується в живих клітинах внаслідок окисно-відновних процесів. Він токсично впливає на життєдіяльність клітини. Цьому перешкоджає фермент *каталаза* (*пероксидаза*), що каталізує розщеплення  $\text{H}_2\text{O}_2$  на воду і  $\text{O}_2$ .

### Хід роботи

1. Виготовте мікропрепарат листка елодеї і розгляньте його під мікроскопом. Капніть на предметне скло з одного боку накривного скельця розчином гідроген пероксиду, з другого – відтягніть воду фільтрувальним папером. Простежте під мікроскопом за явищем.
2. Приготуйте 7 пробірок і помістіть у них указані об'єкти. В кожную пробірку внесіть 6–7 краплин  $H_2O_2$  і спостерігайте за змінами в пробірках. Занесіть результати до таблиці.

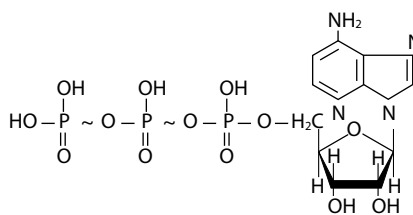
1	2	3	4	5	6
М'якоть яблука	Сира картопля	Варена картопля	Сире м'ясо	Варене м'ясо	Перетерте яблуко

3. Підсумок роботи.

### Розв'язування вправ

**Вправа 1.** Скільки енергії звільняється за розщеплення 5 моль АТФ до АДФ та 3 моль АТФ до АМФ?

**Вправа 2.** Скільки грамів АТФ має зазнати розщеплення до АДФ, для того щоб забезпечити розумову діяльність учня масою 40 кг упродовж 30 хв за витрат енергії 6,3 кДж/кг/год?



Структурна формула АТФ  
(хімічна формула –  $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$ )



### СТАВЛЕННЯ

Їжа людини – це мультикомпонентний чинник навколишнього середовища, що містить понад 600 речовин, необхідних для нормальної життєдіяльності організму. Кожна з цих речовин посідає певне місце в складному механізмі біохімічних процесів і сприяє використанню їжі в різноманітних процесах життєдіяльності людини. Застосуйте набуті знання та зробіть висновок про необхідність вживання людиною різноманітних харчових продуктів.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке молекулярний рівень організації життя? 2. Що є зовнішніми джерелами енергії для існування клітини? 3. Що таке АТФ? 4. Яка роль АТФ у життєдіяльності клітин? 5. Що таке ферменти? 6. Наведіть приклади ферментів.
7 – 9	7. Як забезпечується єдність та сталість хімічного складу клітини? 8. Як будова АТФ пов'язана з її функціями? 9. Яке значення ферментів у клітині?
10 – 12	10. Визначте чинники, від яких залежать властивості ферментів.

## Узагальнення теми 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ ТА БІОЛОГІЧНІ МОЛЕКУЛИ

ЄДНІСТЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ – основна ознака живого на молекулярному рівні. До складу всіх живих організмів входять ті самі хімічні елементи, що є й у неживій матерії. Однак їх співвідношення в живому й неживому різне. Так, у живих організмах набагато більша частина хімічного складу припадає на чотири елементи. Крім того, усі живі організми побудовані з біомолекул, яких немає в неживій природі. Це білки, ліпіди, вуглеводи, нуклеїнові кислоти й АТФ (табл. 1).

**Таблиця 1. ОСОБЛИВОСТІ, РІЗНОМАНІТНІСТЬ ТА ФУНКЦІЇ  
ОСНОВНИХ ХІМІЧНИХ СПОЛУК ЖИВОГО**

Назва	Особливості	Різноманітність	Функції
Вода	Малі розміри молекул з міцними ковалентними зв'язками; водневі зв'язки між молекулами; дипольність молекул	Структурована Вільна	Розчинник і реагент, тепло- і осморегулятор, опора і засіб транспортування, конформатор
Мінеральні солі	Існують у твердому стані або у вигляді йонів	Розчинні (хлориди, сульфати, нітрати), нерозчинні (фосфати, карбонати, силікати)	Регуляторна Транспортна Будівельна
Вуглеводи	Загальна формула – $C_nH_{2n}O_n$ , гідрофільні й гідрофобні, солодкі й несолодкі, кристалічні й некристалічні, окиснюються до $CO_2$ і $H_2O$	I. Моносахариди (рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза) II. Дисахариди (лактоза, сахароза, мальтоза, мікоза) III. Полісахариди (крохмаль, целюлоза, глікоген, хітин, муреїн, гепарин, пектини)	Будівельна Енергетична Поживна Запаслива Захисна
Ліпіди	Утворені жирними кислотами та спиртами; здатні утворювати складні ліпіди; легко утворюють емульсії; розчиняються в органічних розчинниках; окиснюються до $CO_2$ і $H_2O$	I. Прості ліпіди (воски, жири) II. Складні ліпіди (гліколіпіди, фосfolіпіди, ліпопротеїди) III. Жироподібні, або ліпоїди (стероїди)	Будівельна Енергетична Запаслива Захисна Водоутворювальна Теплоізоляційна Регуляторна
Білки	Складаються з 20 амінокислот, зв'язаних пептидними зв'язками; властиві 4 типи структури; характерні денатурація, ренатурація й деструкція; окиснюються до $CO_2$ , $H_2O$ і $NH_3$	I. Прості білки – протеїни: (альбуміни, глобуліни, гістони, склеропротеїни) II. Складні білки – протеїди: (фосфо-, гліко-, нуклео-, хромо-, ліпопротеїди)	Будівельна Енергетична Запаслива Захисна Регуляторна Поживна Каталітична Рухова Транспортна Сигнальна
Нуклеїнові кислоти	Складаються з нуклеотидів, зв'язаних фосфодіестерними й водневими зв'язками; характерні денатурація, ренатурація й деструкція; утворюються завдяки реакціям матричного синтезу	РНК (А-, У-, Г-, Ц-рибонуклеотиди) ДНК (А-, Т-, Г-, Ц-дезоксирибонуклеотиди)	Інформаційна (іРНК) Транспортна (тРНК) Будівельна (рРНК) Спадкова (ДНК)
Аденозинфосфатні кислоти	Є вільними нуклеотидами з аденіну, рибози й 1, 2 або 3 залишків ортофосфатної кислоти	АМФ (аденозинмонофосфатна), АДФ (аденозиндифосфатна), АТФ (аденозинтрифосфатна)	Енергетична

## Самоконтроль знань

### Тест-оцінювання 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИН ТА БІОЛОГІЧНІ МОЛЕКУЛИ

#### I. Завдання на встановлення відповідності

- Установіть відповідність між біогенним елементом та його біологічним значенням.
 

1 Йод	А	у складі тироксину
2 Цинк	Б	у складі інсуліну
3 Кальцій	В	зсідання крові
4 Магній	Г	у складі хлорофілу
- Зіставте малі молекули з макромолекулами, в утворенні яких беруть участь
 

1 жирні кислоти	А	РНК
2 амінокислоти	Б	целюлоза
3 моносахариди	В	гемоглобін
4 нуклеотиди	Г	бджолиний віск
- Установіть відповідність між групами вуглеводів та прикладами сполук.
 

1 пентози	А	сахароза, лактоза
2 гексози	Б	рибоза, дезоксирибоза
3 дисахариди	В	крохмаль, целюлоза
4 полісахариди	Г	глюкоза, фруктоза
- Установіть відповідність між типами нуклеїнових кислот та їхніми функціями.
 

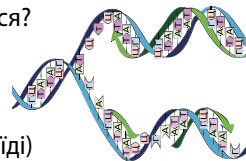
1 ДНК	А	входять до складу рибосом
2 іРНК	Б	збереження спадкової інформації
3 тРНК	В	транспортування амінокислот до рибосом
4 рРНК	Г	передача інформації від ДНК до рибосом
- Установіть відповідність між білками та функціями, що вони виконують.
 

1 колаген	А	забезпечує скоротливість м'язів
2 родопсин	Б	забезпечує зсідання крові
3 міозин	В	утворює хрящі й сухожилки
4 фібриноген	Г	сприймає світлові подразнення

#### II. Завдання на вибір правильної комбінації відповідей

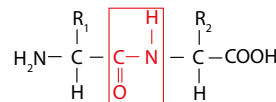
- Виберіть ознаки, що характеризують зображений процес.

- |                |                    |                      |
|----------------|--------------------|----------------------|
| А Назва        | Б Є властивістю... | В Де відбувається?   |
| 1 репарація    | 1 білків           | 1 у цитоплазмі       |
| 2 транскрипція | 2 РНК              | 2 у лізосомах        |
| 3 реплікація   | 3 ДНК              | 3 у цитоплазмі       |
| 4 ренатурація  | 4 ліпідів          | 4 у ядрі (нуклеоїді) |



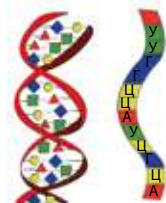
- Виберіть ознаки, що характеризують виділений зв'язок у структурній формулі.

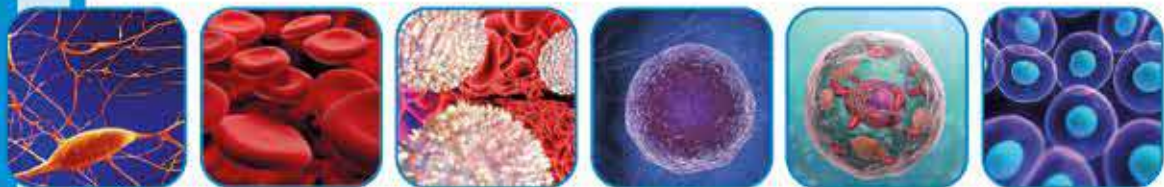
- |               |                      |                                 |
|---------------|----------------------|---------------------------------|
| А Назва       | Б Характерний для... | В Виникає між...                |
| 1 водневий    | 1 вуглеводів         | 1 $\text{NH}_3$ і $\text{CO}_2$ |
| 2 пептидний   | 2 ліпідів            | 2 $\text{NH}_2$ і $\text{CO}_2$ |
| 3 гідрофобний | 3 білків             | 3 $\text{NH}_3$ і $\text{COOH}$ |
| 4 йонний      | 4 нуклеїнових кислот | 4 $\text{NH}_2$ і $\text{COOH}$ |



- Виберіть ознаки, що характеризують зображені сполуки.

- |                      |                   |                           |
|----------------------|-------------------|---------------------------|
| А Назва              | Б Мономерами є... | В Функції                 |
| 1 вуглеводи          | 1 моносахариди    | 1 побудова клітин         |
| 2 білки              | 2 жирні кислоти   | 2 джерело енергії         |
| 3 ліпіди             | 3 нуклеотиди      | 3 збереження й реалізація |
| 4 нуклеїнові кислоти | 4 амінокислоти    | спадкової інформації      |
|                      |                   | 4 ендокринна регуляція    |





## Тема 2. СТРУКТУРА КЛІТИНИ

*Клітина – це дивний і загадковий світ, який існує в кожному організмі.*  
Дитяча енциклопедія

### § 11. КЛІТИНА ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Основні поняття й ключові терміни:** КЛІТИНА. Клітинна теорія.

**Пригадайте!** Що таке біологічна система?



#### **Знайомтеся!**

У своїй книжці *Micrographia* («Мікрографія»), що була опублікована у вересні 1665 р., англійський 28-річний учений **Роберт Гук** (1635–1703) описав зріз кори дуба, побудованої з комірок, що нагадували йому келії монахів. Науковець назвав ці комірки клітинами (від англ. *cell* – келія, комірка). Він ілюстрував клітинки бузини, кропу, моркви, зображення ока блохи, мухи й комара. Ці дослідження Роберта Гука стали основою науки про клітину, яку назвали **цитологією**.



#### **ЗМІСТ**

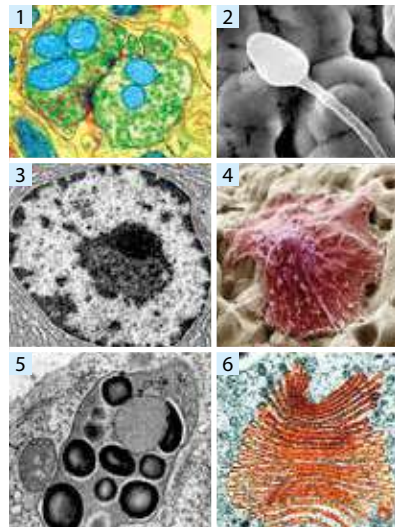
#### **За допомогою яких методів досліджують клітину?**

Із часу відкриття клітини мікроскопія залишається одним із найважливіших методів дослідження в цитології. Використовується **світлова (оптична) мікроскопія**, що дає змогу спостерігати за живими й мертвими клітинами. Завдяки серії лінз, крізь які проходить світло, світловий мікроскоп забезпечує оптичне збільшення об'єктів максимум у 1000 разів. Проте в світловий мікроскоп видно й менші об'єкти, якщо вони самі випромінюють світло. Цей факт використовують у **флуоресцентній мікроскопії**, для якої до клітинних структур приєднують флуоресцентні білки або антитіла із флуоресцентними мітками. А в 2006 р. німецькі вчені Ш. Хель і М. Боссі сконструювали оптичний мікроскоп під назвою «наноскоп», у який можна спостерігати об'єкти розміром близько 10 нм і отримувати високоякісні тривимірні зображення.

У ХХ ст. було винайдено **електронну мікроскопію** (Е. Руска, М. Кноль, 1931), що уможливило вивчення ультраструктури клітин. Розрізняють два основні типи електронної мікроскопії: сканувальну та трансмісійну. **Сканувальна електронна мікроскопія (SEM)** використовується для вивчення поверхні об'єкта. Зразки найчастіше покривають тонкою плівкою золота. **Трансмісійна електронна мікроскопія (ТЕМ)** використовується для вивчення внутрішньої будови клітини.

Пучок електронів пропускається крізь об'єкт, що обробляють сполуками важких металів для збільшення його густини (іл. 25).

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



Іл. 25. Клітини під електронним мікроскопом: 1 – контакт між нервовими клітинами головного мозку; 2 – чоловіча статеві клітина – сперматозоон; 3 – ядро в клітині підшлункової залози; 4 – остеобласт – клітина кістки; 5 – лейкопласт рослинної клітини з гранулами крохмалю; 6 – апарат Гольджі в рослинній клітині

Отже, розвиток знань про клітину в ХХ ст. пов'язаний з удосконаленням методів дослідження клітин й використанням досягнень фізики, хімії, генетики, біохімії та ін.

### Що таке клітина в світлі сучасної науки?

Клітина (від лат. *cellula* – комірка) – це елементарна біологічна система, оскільки є межею подільності клітинних організмів. Це найменша одиниця їхньої будови, що наділена життєвими функціями й властивостями.

*Клітина є основною структурною одиницею живого* тому, що лежить в основі будови організмів. Вона ж є основною функціональною одиницею живого, що забезпечує виконання життєвих функцій. Наприклад, подразливість тварин реалізується здатністю нейронів передавати нервові імпульси, самовідтворення – здатністю клітин до поділу.

*Клітина є єдиним цілим* тому, що всі органели клітини пов'язані між собою і не можуть існувати поза клітиною. Якщо клітина зазнає впливів середовища, то в саморегуляції й самооновленні беруть участь всі органели клітини. Найважливішими чинниками, що надають клітинам цілісності є: 1) обмін речовин, енергії та інформації; 2) розвиток за внутрішньоклітинною спадковою програмою; 3) взаємодія із довкіллям та пристосування до його змін.

Клітини можуть відрізнятися одна від одної: а) *розміром* (наприклад, клітини бактерій мікоплазм – 0,1–0,25 мкм, а яйцеклітини

птахів – до кількох см); *формою* (наприклад, дископодібні еритроцити, кулясті яйцеклітини, зірчасті нейрони); *функціями* (еритроцити – транспортування газів, гамети – статеве розмноження). Відмінності між клітинами зумовлені *спеціалізацією на виконанні функцій*.

Незважаючи на відмінності, організація клітин усіх живих організмів подібна, що зумовлено *єдністю їх походження*. Спільними ознаками клітин є: а) наявність основних структурних частин (поверхневий апарат, цитоплазма та ядро або нуклеоїд); б) подібність процесів обміну речовин і перетворення енергії; в) універсальна мембранна будова; г) єдність хімічного складу; д) подібність процесів поділу клітин тощо.

Отже, **КЛІТИНА** – елементарна біологічна система, головна структурна та функціональна одиниця живого, основними властивостями якої є саморегуляція, самовідтворення і самооновлення.

### Яке значення сучасної клітинної теорії?

Дослідження клітини були об'єднані наприкінці 30-х років XIX ст. у клітинну теорію, яка стала основою цитології. **Клітинна теорія** – це фундаментальне узагальнення біології, що визначає взаємозв'язок усіх проявів життя на Землі з клітиною, характеризує клітину водночас як цілісну самостійну живу систему та як складову багатоклітинних організмів рослин і тварин. Клітинна теорія сформульована німецьким ученим **Т. Шванном** у 1839 р. у науковій праці «Мікроскопічні дослідження про відповідність у структурі й рості тварин і рослин». Основні положення цієї теорії були такими: а) всі організми складаються з клітин або в різні способи утворені з них; б) клітини рослин і тварин подібні за головними рисами. У доповненні й розвитку цих уявлень брали участь К. М. Бер, Р. Вірхов та інші.



Іл. 26. Т. Шванн  
(1810–1882)

На сучасному етапі розвитку цитології клітинна теорія включає такі положення:

- клітина – елементарна одиниця будови і розвитку всіх живих організмів;
- клітини всіх одно- і багатоклітинних організмів подібні за походженням, будовою, хімічним складом, основними процесами життєдіяльності;
- кожна нова клітина утворюється тільки в результаті розмноження материнської клітини;
- у багатоклітинних організмів, які розвиваються з однієї клітини, різні типи клітин формуються завдяки спеціалізації протягом онтогенезу і утворюють тканини;
- із тканин формуються органи, які тісно пов'язані між собою.

Отже, клітинна теорія як узагальнення знань про клітину стала одним з вирішальних доказів єдності живої природи, дала основу для розуміння суті життєвих процесів.





## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з ілюстрацією

Зіставте подані ілюстрації клітин з їхніми назвами. У випадку правильних відповідей ви отримаєте прізвисько науковця, який доповнив клітинну теорію положенням про те, що «кожна клітина з клітини» (*Omnis cellula e cellula*). Застосуйте свої знання клітини для доведення єдності органічного світу.

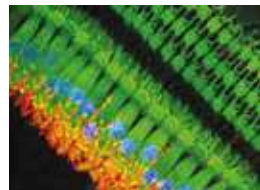


1	2	3	4	5	6

Назви клітин, зображених на ілюстраціях:  $B_1$  – клітини паличкоподібних бактерій;  $O$  – клітини стебла рослини;  $P$  – клітини лусок цибулини;  $X$  – клітини крові людини;  $I$  – клітини листка рослини;  $B_2$  – клітина гриба аспергіла.

### Біологія + Фізика

Флуоресценція дала новий поштовх для розвитку клітинної біології. Завдяки флуоресцентній мікроскопії та розробці нових флуоресцентних міток на основі зеленого флуоресцентного білка (*GFP*) з'явилась можливість отримувати контрастні забарвлення та робити фотознімки багатьох внутрішньоклітинних білкових структур. Що ж таке флуоресцентна мікроскопія?



Волоскові клітини внутрішнього вуха



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Зоогеографія

У 2011 р. на дні Маріанського жолобу було відкрито твариноподібні організми, клітини яких є найбільшими у світі. Це представники ксенофіофор – форамініфер. Розміри *валонії пузатої* (*Valonia ventricosa*) досягають 10 см, вона здатна накопичувати Плюмбум, Уран і Меркурій, стійка до низьких температур, високого тиску, пристосована до темряви. Яке значення цього відкриття для науки? Які методи застосовують науковці для прижиттєвого дослідження клітин?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Назвіть методи дослідження клітин. 2. Хто відкрив клітину? 3. Що таке клітина? 4. Наведіть приклади клітин. 5. Що таке клітинна теорія? 6. Назвіть основні положення клітинної теорії.
7 – 9	7. За допомогою яких методів досліджують клітину? 8. Що таке клітина в світлі сучасної науки? 9. Яке значення сучасної клітинної теорії?
10 – 12	10. Як довести єдність органічного світу, використовуючи знання про клітину?

## § 12. КЛІТИНА ТА ЇЇ СТРУКТУРА

**Основні поняття й ключові терміни:** Прокаріотична клітина. Еукаріотична клітина.

**Пригадайте!** Що таке клітина?



### Поміркуйте!

**Держава** – політичне утворення з визначеною територією, економікою і політичною владою. Кожна держава має свою територію та кордони, проводить власну незалежну політику на світовій арені, має міжнародне визнання та державну символіку: герб, прапор і гімн. Як ви вважаєте, чи доцільно порівнювати державу з клітиною? Чи є щось спільне між цими утвореннями?



### ЗМІСТ

#### Яке значення основних частин клітини?

Клітини одноклітинних організмів виконують всі життєві функції, а клітини багатоклітинних організмів спеціалізуються на виконанні якоїсь однієї. Але усім клітинам для життя необхідно: а) одержувати енергію з навколишнього середовища і перетворювати її у певні форми (механічну енергію руху, електричну енергію збудження тощо); б) вибірково вбирати речовини із середовища, переміщувати їх у клітині й виводити продукти обміну назовні; в) зберігати, реалізовувати і передавати спадкову інформацію наступному поколінню; г) постійно підтримувати внутрішньоклітинну рівновагу; д) розпізнавати сигнали середовища і реагувати на них; е) утворювати нові молекули і структури взамін тих, термін життя яких закінчився. Ці та багато інших функціональних процесів здійснюються за участі структурних частин клітини, якими є поверхневий апарат, цитоплазма з органелами та ядро (або нуклеоїд).

*Поверхневий апарат* клітини здійснює захисну, транспортну, контактну та інші функції. *Цитоплазма* забезпечує внутрішні взаємозв'язки між елементами клітини та умови для діяльності всіх органел. *Ядро* зберігає спадкову інформацію та контролює процеси її життєдіяльності, узгоджуючи з умовами довкілля.

За особливостями організації виокремлюють два типи організації клітин – прокаріотичний та еукаріотичний.

Отже, основними структурними частинами клітини є поверхневий апарат, цитоплазма та ядро (нуклеоїд).

Організація клітини	
Структурна упорядкованість	Функціональна упорядкованість
1. Поверхневий апарат 2. Цитоплазма 3. Ядро (нуклеоїд)	1. Процеси перетворення енергії 2. Процеси перетворення речовин 3. Процеси перетворення інформації
<b>Основні властивості:</b> упорядкованість, відкритість, цілісність, саморегуляція, самооновлення, самовідтворення	

## Які особливості структури прокаріотичних клітин?

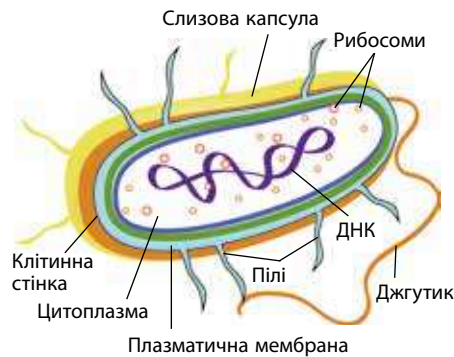
**Прокаріотичні** (від грец. *про* – до, *каріон* – ядро) **клітини** – це клітини доядерних організмів, які не мають чітко сформованого ядра та більшості органел (іл. 27). Такий тип клітин є в архей, бактерій та ціанобактерій. За розміром клітини цих організмів у 10 разів менші, ніж клітини еукаріотів. Дрібні розміри сприяють швидкому обміну речовин із середовищем.

**Поверхневий** апарат більшості прокаріотичних клітин має клітинну стінку, побудовану із особливої речовини – муреїну. Ця сполука належить до пептидогліканів (складних речовин, в утворенні яких брали участь певні амінокислоти й моносахариди), надає оболонці жорсткості й не протидіє проникненню малих молекул. Зовні клітинної стінки може утворюватися слизова капсула із полісахаридів. Вона захищає клітину від висихання, механічних ушкоджень, проникнення вірусів, бере участь у ковзаючих рухах, зв'язує сусідні клітини тощо. Під клітинною стінкою розташована плазматична мембрана, що забезпечує бар'єрну, транспортну, метаболічну функції. До поверхневих структур прокаріотичних клітин належать також пілі і джгутики. Пілі (фімбрії) – це вирости плазматичної мембрани, спрямовані назовні. Ці утвори прикріплюють клітини до субстрату, сприяють обміну молекулами ДНК (плазмідами) між клітинами та ін. Джгутики у прокаріотів утворені особливим білком флагеліном, і їхня кількість у різних клітин може бути різною. Саме джгутики забезпечують рух клітин.

**Цитоплазма** прокаріотичних клітин дуже густа і нерухлива, у ній немає мембранних органел, містяться рибосоми та включення. Раніше вважалося, що прокаріотичні клітини не мають цитоскелета, але у 1990 р. цю структуру було відкрито в клітинах бактерій, в яких вона бере участь в процесі поділу клітин.

Однією з основних особливостей прокаріотичної клітини є відсутність ядра. Генетичний матеріал прокаріотів міститься в певній ділянці цитоплазми і являє собою кільцеву молекулу ДНК. Така ділянка цитоплазми з молекулою ДНК називається нуклеоїдом, що відповідальний за збереження й передавання спадкової інформації.

Прокаріотичний тип клітин		
Поверхневий апарат	Цитоплазма	Нуклеоїд
Клітинна стінка	Рибосоми	Ділянка цитоплазми
Клітинна мембрана	Включення	Кільцеподібна ДНК
Поверхні структури (пілі, слизова капсула, джгутики)	Цитоскелет	



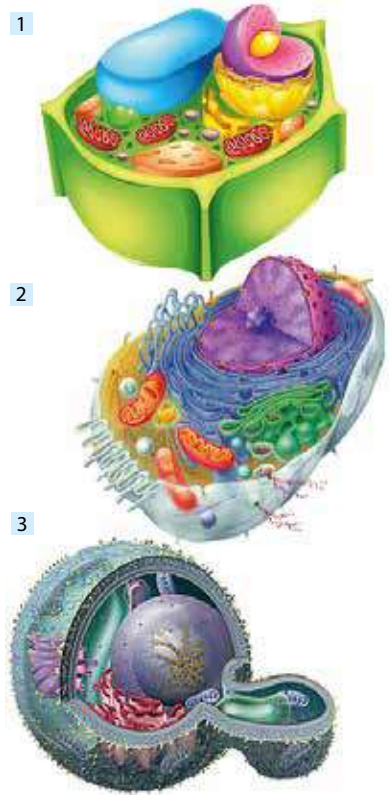
іл. 27. Прокаріотична клітина

Отже, основними структурними частинами прокаріотичних клітин є поверхневий апарат, цитоплазма з обмеженою кількістю структур та нуклеоїд, що є аналогом ядра.

### Як організована узагальнена еукаріотична клітина?

**Еукаріотичні** (від грец. *eu* – повністю й *каріон* – ядро) **клітини** – це клітини ядерних організмів, які мають ядро і розвинуту систему органел (*ил. 28*). Вони характерні для рослин, грибів і тварин. Зазвичай еукаріотичні клітини мають більші розміри, ніж прокаріотичні. У них спостерігається «розподіл праці», що здійснюється за допомогою мембран. Процеси життєдіяльності відбуваються всередині мембранних органел, кожна з яких має свій набір ферментів. Завдяки цьому клітина може здійснювати одночасно багато різних реакцій.

*Поверхневий апарат* еукаріотичних клітин урізноманітнюється надмембранними структурами. *Цитоплазма* рухлива, у ній наявні мембранні органели (мітохондрії, пластиди, ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі), цитоскелет побудований із білка актину (мікронитки) й тубуліну (мікротрубочки). Рибосоми в еукаріотів більші, ніж у прокаріотів, джгутики мають складнішу будову. З'являється складно організоване *ядро*, що містить носії спадкової інформації – хромосоми (*табл. 2*).



Ил. 28. Еукаріотичні клітини:  
1 – рослинна; 2 – тваринна;  
3 – грибна

**Таблиця 2. БУДОВА УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ**

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

Отже, еукаріотична клітина організована значно складніше, ніж прокаріотична.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

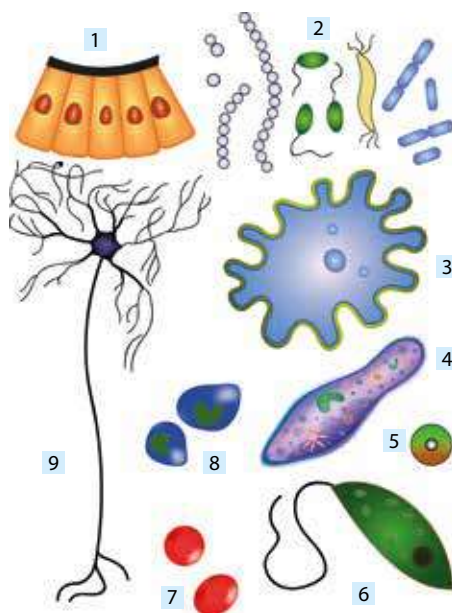
Порівняйте прокаріотичну й еукаріотичну клітини та зробіть висновок про причини подібності та відмінностей їхньої будови.

Ознака	Прокаріотична клітина	Еукаріотична клітина
Розміри		
Клітинна стінка		
Клітинна мембрана		
Особливості цитоплазми		
Мембранні органели		
Рибосоми		
Організація спадковості		

### Біологія + Географія

«Під час сканування проби, відібраної роботом на глибині майже три з половиною кілометри, у Північному Льодовиковому океані поблизу архіпелагу Шпіцберген у 2015 р. шведськими вченими був відкритий новий тип організмів. Місце взяття проби розташовувалося біля гідротермального курця Замок Локі, що нагадує казковий замок скандинавського бога бешкету й обману. Відповідно, новий тип назвали...». Зіставте зображення клітин із їхніми назвами й отримайте назву цих організмів.

Назви клітин: *a* – ікринка жаби; *e* – лейкоцити; *i* – інфузорія тувелька; *ї* – нейрон; *к* – амеба протей; *л* – епітеліоцити кишечника; *o* – бактеріальні клітини; *p* – евглена зелена; *x* – еритроцити.



1	2	3	4	5	6	7	8	9



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Назвіть основні структурні частини клітини. 2. Які процеси забезпечують життя клітини? 3. Що таке прокаріотична клітина? 4. Назвіть групи прокаріотів. 5. Що таке еукаріотичні клітини? 6. Назвіть групи еукаріотів.
7 – 9	7. Яке значення основних частин клітини? 8. Які особливості структури прокаріотичних клітин? 9. Як організована узагальнена еукаріотична клітина?
10 – 12	10. Які причини подібності та відмінності прокаріотичних і еукаріотичних клітин?

## § 13. КЛІТИННА МЕМБРАНА

**Основні поняття й ключові терміни:** КЛІТИННА МЕМБРАНА. Клітинні контакти. Клітинна стінка. Глікокалікс.

**Пригадайте!** Що таке еукаріотична клітина?



### Поміркуйте!

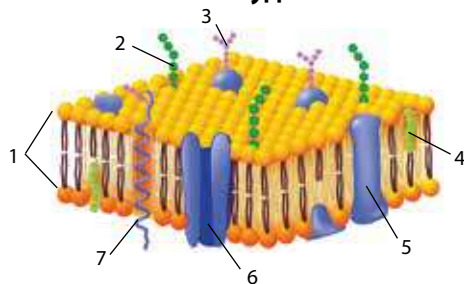
Губки – примітивні багатоклітинні тварини з дивними особливостями. Якщо пропустити губку крізь сито, то можна отримати фільтрат з живими відокремленими клітинами. Вони зберігають життєдіяльність впродовж декількох днів, а потім активно переміщуються, збираються в групи й перетворюються на маленькі губки. Як ці клітини розпізнають одна одну і за допомогою яких клітинних утворів поєднуються між собою?



### ЗМІСТ

#### Як функції клітинної мембрани пов'язані з її будовою?

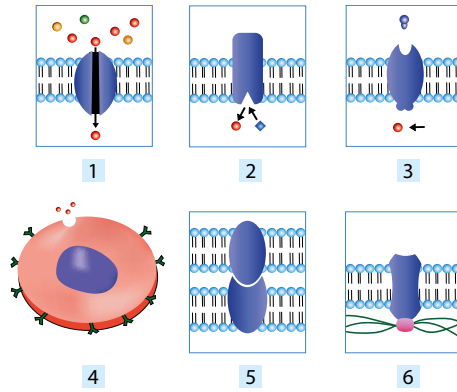
Весь потік речовин, енергії та інформації відбувається через клітинну мембрану, яку утворюють ліпіди, білки і вуглеводи (іл. 29). Основу мембрани становлять фосфоліпіди, що утворюють подвійний біліпідний шар. Цей шар разом із білками визначає найзагальніші властивості мембран, тобто їхню *рухливість*, *здатність самовідновлюватися* та *вибіркову проникність для речовин*. В оточенні води фосфоліпіди організуються таким чином: гідрофільні «голівки» спрямовані назовні та контактують з водою, а гідрофобні «хвости» орієнтовані всередину. Для зміцнення рухливої мембрани у ній наявні молекули холестеролу.



іл. 29. Будова й хімічний склад клітинної мембрани: 1 – біліпідний шар; 2 – гліколіпід; 3 – глікопротеїд; 4 – молекули холестеролу; 5 – глобулярний білок; 6 – білковий канал; 7 – фібрилярний білок

Відповідно до *рідинно-мозаїчної моделі будови* клітинна мембрана містить вбудовані у біліпідний шар молекули білків, що відповідають за транспортування речовин, обмін речовин та перетворення енергії, захист й опору для клітини. Деякі білки і ліпіди клітинних мембран, особливо у тваринних клітинах, пов'язані з вуглеводами й утворюють гліколіпіди й глікопротеїди. Ці молекули ймовірно беруть участь у розпізнаванні впливів середовища, контактуванні клітин між собою та реакціях клітин на подразнення. Таким чином, основними функціями клітинної мембрани є: 1) *транспортна* (обмін речовин, енергії та інформації з навколишнім середовищем через біліпідний шар,

білкові канали тощо); 2) **метаболична** (ферментні білки беруть участь у процесах взаємоперетворення речовин та енергії); 3) **рецепторна** (рецепторні білки в мембранах сприймають інформацію із середовища); 4) **захисна** (чужорідні мембранні білки-антигени спричиняють формування антитіл); 5) **контактна** (вуглеводи й фібрилярні білки забезпечують різні взаємодії між клітинами); 6) **опорна** (до білків мембрани прикріплюються елементи цитоскелета, який організовує рухи та переміщення елементів клітини) (іл. 30).



Іл. 30. Функції мембрани в життєдіяльності клітини: 1 – транспортна; 2 – метаболична; 3 – рецепторна; 4 – захисна; 5 – контактна; 6 – опорна

Мембрани різних клітин й організмів суттєво різняться за хімічним складом білків й ліпідів та їхнім умістом, але загальний план організації є подібним.

Отже, **КЛІТИННА МЕМБРАНА** – утвір клітини, що складається з ліпідів, білків та вуглеводів і забезпечує взаємовідносини клітини із зовнішнім середовищем.

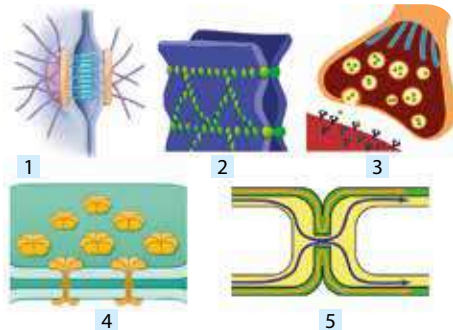
### Як відбувається контактування клітин?

**Клітинні контакти** – спеціалізовані ділянки поверхневого апарату, що забезпечують міжклітинну взаємодію. До основних функцій міжклітинних контактів належать поєднання клітин у тканинах, короточасна взаємодія між клітинами і міжклітинне транспортування речовин. Найпоширенішими видами міжклітинних контактів є: десмосоми, щільні контакти, синапси, щілинні контакти і плазмодесми (іл. 31).

**Десмосоми** – це з'єднання двох клітин, що відбувається за допомогою елементів цитоскелета. Найпоширеніші вони у тих частинах тіла, які зазнають постійного механічного стресу, зокрема у гладких м'язах, міокарді, де формують вставні диски.

**Щільні контакти** – контакти, в яких мембрани клітин максимально зближуються і зшиваються спеціальними білками. Вони ізолюють клітини та запобігають дифузії у цих ділянках.

**Синапси** – комунікаційні контакти нервових клітин, які передають інформацію з нейронів на нейрони або з нейронів на м'язи.



Іл. 31. Основні види міжклітинних контактів: 1 – десмосоми; 2 – щільні контакти; 3 – синапси; 4 – щілинні контакти; 5 – плазмодесми

*Щілинні контакти* (нексуси) – комунікаційні контакти, що характеризуються наявністю білкових каналів. Забезпечують передачу електричних імпульсів та поживних речовин.

*Плазмодесми* – контакти у вигляді цитоплазматичних містків між клітинами. Основною функцією плазмодесм є забезпечення взаємодії і транспортування речовин між клітинами, що ізольовані жорсткими клітинними оболонками. У рослинному організмі майже всі клітини з'єднані таким чином.

Отже, різні типи міжклітинних контактів пристосовані до особливих функцій певних клітин.

### Яке значення надмембранних структур клітини?

Надмембранні структури можуть бути представлені в клітинах клітинною стінкою й глікокаліксом. У представників різних царств живої природи ці структури влаштовані по-різному.

**Клітинна стінка** – надмембранна структура, що оточує клітини прокариотів, грибів і рослин. На відміну від мембран клітинна стінка не в змозі контролювати транспортування молекул до клітини із зовнішнього середовища. У прокариотичних клітин клітинна стінка складається з муреїну, у рослинних клітин – з целюлози, а у грибів – з хітину. Особливу роль виконує ця структура у рослин. Її целюлозні волокна утворюють каркас, проміжки якого можуть бути заповнені пектиновими речовинами, лігніном. Залежно від типу тканин рослин і функцій до складу стінки можуть входити й неорганічні сполуки (наприклад, силіцій(IV) оксид, солі Кальцію). Рослинні стінки виконують цілий ряд функцій: забезпечують транспортування речовин, надають форму клітині, визначають напрямки її росту, протидіють внутрішньому тиску, захищають від несприятливих чинників середовища тощо.

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

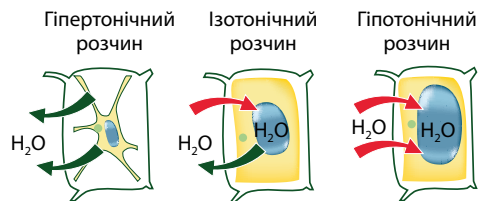
Отже, надмембранні структури клітин захищають клітини від несприятливих умов довкілля, є опорою для протопласту та забезпечують зв'язок із середовищем.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Біологія + Фізика

Клітинні мембрани більш проникні для води, ніж для більшості йонів, малих полярних молекул та макромолекул. Така різниця великою мірою виникає внаслідок наявності в мембранах





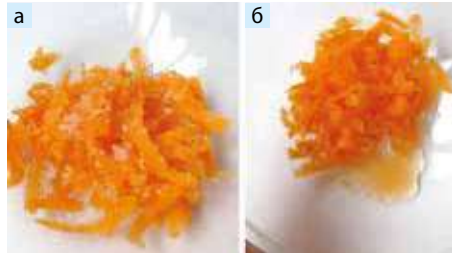
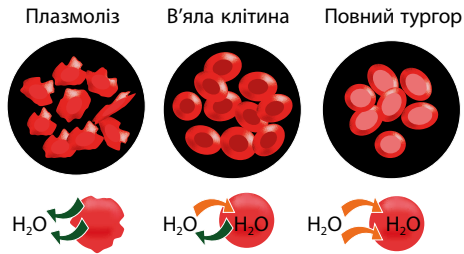
білків аквапоринів, що пропускають лише молекули води. Що таке гіпертонічні, ізотонічні та гіпотонічні розчини? Яка роль клітинних мембран у забезпеченні життєдіяльності клітин?

### Домашні досліді

Проведіть досліді й оцініть можливості практичного застосування знань про клітинні мембрани.

**Дослід 1.** Відріжте ножом тонку скибку лимона і покладіть її на тарілку. Посипте скибку цукром. Посипати цукром можна й пошинковану моркву. Поясніть результати.

**Дослід 2.** Виріжте з картоплини три кубики однакового розміру. Приготуйте три склянки. В одну налийте підсолену воду, в іншу – концентрований розчин солі, а в третю – воду з-під крана. У кожному банку опустіть по картопляному кубіку. За 2 год розгляньте кубики. Запропонуйте пояснення результатів.

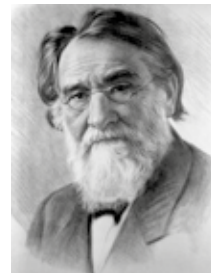


Пошинкована морква одразу після посипання цукром (а) і за 1 год (б)



### СТАВЛЕННЯ

Явище фагоцитозу відкрив лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини (1908) український учений **І.І. Мечников** (1845–1916). У процесі фагоцитозу активна роль належить клітинній мембрані, яка обволікає часточку, що фагоцитуються, і втягує її в глиб цитоплазми з утворенням фагосоми. З лізосом клітини до фагосоми надходять гідролітичні ферменти, які перетравлюють поглинуту часточку. Яке значення має це відкриття у розвитку знань про клітину?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке клітинна мембрана? 2. Назвіть функції клітинної мембрани. 3. Що таке мембранне транспортування? 4. Які є механізми транспортування речовин крізь мембрани? 5. Що таке надмембранні структури клітини? 6. Назвіть надмембранні структури.
7 – 9	7. Як функції клітинної мембрани пов'язані з її будовою? 8. Як відбувається транспортування речовин крізь клітинну мембрану? 9. Яке значення надмембранних структур клітини?
10 – 12	10. Яка роль клітинних мембран у адаптації клітин до умов існування?

## § 14. ЦИТОПЛАЗМА ТА ОСНОВНІ КЛІТИННІ ОРГАНЕЛИ

Основні поняття й ключові терміни: **ЦИТОПЛАЗМА. Органели.**

**Пригадайте!** Що таке клітина?



### Поміркуйте!

Рух цитоплазми при-  
таманий певною мірою всім  
живим клітинам, проте найпоміт-  
нішим під світловим мікроскопом  
він є у клітинах *елодії канад-  
ської* (*Elodea canadensis*). Реаль-  
на швидкість руху цитоплазми  
в клітинах її листків становить  
0,1 мм/хв. Розрізняють ці рухи,  
спостерігаючи за переміщеннями хлоропластів. Яке ж значення має  
рух цитоплазми для життєдіяльності клітин?



### ЗМІСТ

#### **Чому цитоплазма є структурною системою?**

Під клітинною мембраною всередині живої клітини є не просто розчин сполук та органели, а складна динамічна структурна систе-  
ма, що називається цитоплазмою (іл. 32). Пригадуємо, що ядро до цієї  
системи не належить. З цитоплазмою пов'язані усі життєві функції  
клітини – її опора, рух, живлення, травлення, дихання, виділення,  
транспортування речовин, подразливість, розмноження та ін.

Внутрішній вміст клітини характеризуєть-  
ся відносною сталістю складу та властивостей.  
Причиною цього є те, що в клітині постійно  
відбуваються процеси перетворення речовин,  
енергії та інформації. Основною властивістю  
цитоплазми є здатність до руху (циклоз).  
Завдяки їй цитоплазма створює оптимальні  
умови для біохімічних реакцій, пов'язує всі  
частини клітини в єдине ціле. Під контро-  
лем ядра цитоплазма регулює реакції син-  
тезу (асиміляція) й розпаду (дисиміляція),  
має здатність до росту і самооновлення, бере  
участь у самовідтворенні клітин, здійснює розподіл органел й ресурсів  
материнської клітини.



Іл. 32. Цитоплазма – динаміч-  
на тривимірна система із  
складною молекулярною  
організацією

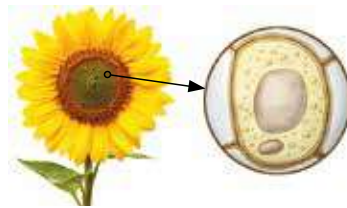
Цитоплазма складається з таких компонентів, як гіалоплазма,  
цитоскелет, включення і органели.

**Цитоскелет** – сукупність мікрониток і мікротрубочок, які ви-  
конують насамперед рухову та опорну функції. Мікронитки (мі-  
крофіламенти) побудовані зі скоротливих білків актину і міозину,  
мікротрубочки – із спіральніо упакованих одиниць білка тубуліну.

Ця опорно-рухова система про- та еукаріотичних клітин, як і цитоплазма загалом, постійно змінюється, її функціями є підтримка і адаптація форми клітини, забезпечення зовнішніх й внутрішніх рухів, ріст й поділ клітин.

**Гіалоплазма** (від грец. *гіалос* – скло), або цитозоль, – основа цитоплазми, її матрикс, що є прозорим розчином органічних і неорганічних речовин у воді. Фізичний геліний або зольний стан гіалоплазми впливає на швидкість перебігу біохімічних процесів: чим вона гущіша, тим повільніше відбуваються хімічні реакції.

**Включення** – непостійні клітинні структури, що є запасливими сполуками або продуктами обміну речовин і роль яких у клітині пасивна. Вони мають вигляд зерен, кристаликів, краплин і слугують для забезпечення життя клітини або з'являються в результаті її функціонування (іл. 33). За функціями їх поділяють на секреторні, екскреторні, трофічні, пігментні, а за хімічною природою – на білкові, вуглеводні, ліпідні, кристалічні та ін.



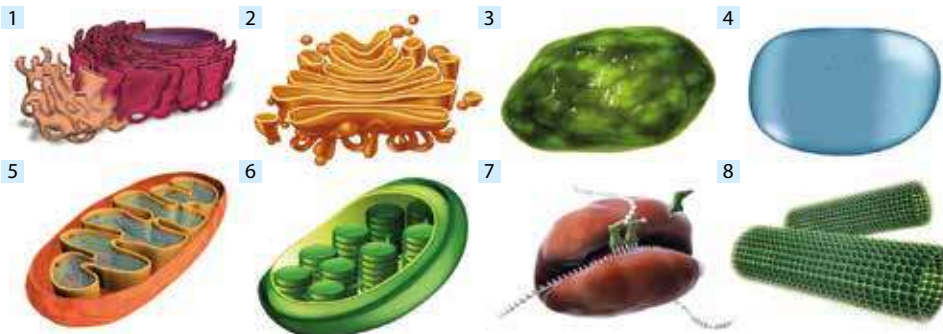
Іл. 33. Краплини олії в клітинах насіння соняшнику

Отже, **ЦИТОПЛАЗМА** (від грец. *цитос* – клітина і лат. *plasma* – виліплене, створене) – частина клітини, що міститься між поверхневим апаратом і ядром, має високий ступінь структурної й функціональної організації.

### Яке значення основних органел еукаріотичної клітини?

За особливостями будови органели клітин поділяють на одномоембранні (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі), двомембранні (мітохондрії, пластиди) та немембранні (рибосоми, клітинний центр) (іл. 34).

**Ендоплазматична сітка (ЕПС)** – одномоембранна органела у вигляді системи цистерн, трубочок, міхурців, що беруть участь у клітинному обміні й транспортуванні речовин. Виокремлюють гладку (без рибосом) і шорстку (з рибосомами) ЕПС. Основними функціями є синтез білків, вуглеводів, жирів, транспортування речовин по клітині та утворення вакуолей. ЕПС є органелою, яка ділить цитоплазму на окремі функціональні відсіки.



Іл. 34. Органели клітин: 1 – ендоплазматична сітка; 2 – комплекс Гольджі; 3 – лізосома; 4 – вакуоля; 5 – мітохондрія; 6 – пластид; 7 – рибосома; 8 – клітинний центр

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

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

**Вакуолі** (від лат. *vasius* – порожній) – одномембранні органели, що беруть участь у секреції, екскреції та запасанні сполук. Розташовуються в клітинах тварин (травні, секреторні й скоротливі вакуолі), рослин (осморегуляторні й секреторні вакуолі) й грибів (запасливі й секреторні вакуолі). Особливо добре розвинуті вакуолі в клітинах рослин, де забезпечують стан напруги клітинної стінки.

**Мітохондрії** (від грец. *мітос* – нитка та *хондріон* – зернятко) – двомембранні еукаріотичні напіваавтономні органели клітинного дихання. Найхарактернішою особливістю будови є *кристи* (гребені), на яких виявлено дрібні тільця – *АТФ-соми* з ферментами для синтезу АТФ. В середині розташовані ДНК, іРНК, рибосоми для синтезу власних білків. *Енергетична функція* мітохондрій складається з таких процесів, як: а) окиснення органічних сполук, завдяки чому мітохондрії називають *дихальним центром клітин*; б) синтез АТФ, через що мітохондрії називають *енергетичними станціями клітин*.

**Пластиди** (від грец. *пластос* – виліплений) – це двомембранні напіваавтономні органели рослинних клітин, що здійснюють живлення й запасання речовин. Цей вид органел поділяють на хлоропласти (здійснюють фотосинтез і синтез АТФ), хромопласти (зумовлюють забарвлення пелюсток, плодів) і лейкопласти (запасують крохмаль). Пластиди здатні до взаємоперетворень. Наприклад, у процесі позеленіння бульб лейкопласти перетворюються на хлоропласти, у шкірках апельсинів і коренеплодах моркви хлоропласти перетворюються на хромопласти.

**Рибосоми** (від назв РНК і грец. *сома* – тільце) – немембранні універсальні органели, що складається з *рРНК* та *білків* і забезпечують синтез білків. Вільно розташовані в цитоплазмі, прикріплені до мембран зернистої ЕПС, на ядрі, в пластидях і мітохондріях. Складаються з двох субодиноць: великої та малої. Утворюються субодиноці із РНК (синтезується в ядерці) та білків (надходять із цитозолу). У ядерці субодиноці самозбираються, покидають ядро і надходять до цитоплазми.

**Клітинний центр (центросома)** – немембранна органела, що складається з *центріолей*. У клітині ця органела розміщується біля ядра. Стінки циліндра формують 9 триплетів мікротрубочок, розміщених по колу. Виконує такі функції, як поділ клітини та організація цитоскелета.

Отже, **органели** (від грец. *органон* – знаряддя), або органоїди, – це сталі клітинні структури, які мають специфічну будову та виконують життєво важливі функції клітини.

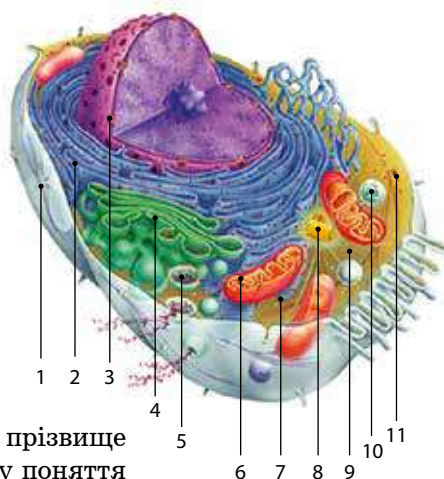


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з ілюстрацією

Зіставте позначені структури клітини з їхніми назвами: А – комплекс Гольджі; Б – мітохондрія; Г – цитоплазма; Е – лізосома; С<sub>1</sub> – клітинна мембрана; С<sub>2</sub> – видільна вакуоля; Т – ЕПС; Р<sub>1</sub> – ядро; Р<sub>2</sub> – клітинний центр; Р<sub>3</sub> – рибосома; У – елементи цитоскелета.

У випадку правильного зіставлення у таблиці відповідей отримаєте прізвище німецького ботаніка, який ввів у науку поняття *цитоплазма*.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11



## СТАВЛЕННЯ

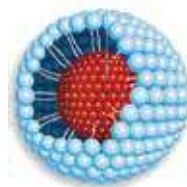
• Завдяки методу фарбування окремих клітин за допомогою аргентум нітрату Камілло Гольджі (1843–1926) відкрив у нейронах сітчастий апарат, названий на його честь комплексом Гольджі.



• Нобелівську премію в галузі фізіології і медицини за 2016 р. присуджено японському вченому, науковому спеціалісту з клітинної біології Йошинорі Осумі за дослідження механізмів аутофагії у клітині, яку здійснюють лізосоми.



• Науковці Київського національного університету імені Тараса Шевченка під керівництвом професора Т. Б. Желтоножської запропонували варіант доставки ліків у клінічній онкології, створивши міцелярні наноконтейнери.



Яке значення цих досліджень для різних галузей діяльності людини?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке цитоплазма? 2. Назвіть структурні компоненти цитоплазми. 3. Що таке гіалоплазма? 4. Що таке цитоскелет? 5. Що таке органели клітини? 6. Назвіть основні групи органел еукаріотичної клітини.
7 – 9	7. Чому цитоплазма є структурною системою? 8. Яке значення мембранних органел еукаріотичної клітини? 9. Яке значення немембранних органел еукаріотичної клітини?
10 – 12	10. Чому цитоплазма є складною динамічною структурною й функціональною системою клітини?

## § 15. ЯДРО: СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ФУНКЦІЇ

**Основні поняття й ключові терміни:** ЯДРО. Генетична інформація.

**Пригадайте!** Що таке еукаріотична клітина?



### Новини науки

Довжина ДНК становить близько 2 м, а розмір ядра, в якому вона розташована, дорівнює в середньому 16 мкм. Отже, ДНК в ядрі має бути певним чином просторово організована. Але проблема полягає не в щільності укладки, а в можливості зчитування інформації з її витків. Науковці знайшли відповідь на запитання про те, як в ядрі розташовуються нитки ДНК. Виявляється, що всі нитки ДНК утворюють фрактальну глобулу. Саме поняття запозичене з математики, але в сучасній науці застосовується в радіотехніці, інформатиці, біології і навіть в економіці.



### ЗМІСТ

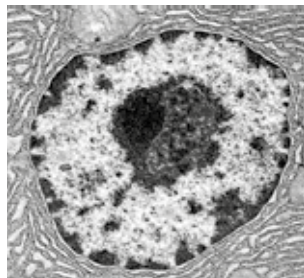
#### Чому ядро відіграє провідну роль у життєдіяльності клітини?

У 1831 р. англійський учений *Роберт Броун*, розглядаючи клітини під світловим мікроскопом, побачив дещо цікаве: кожна рослинна клітина містила круглий і непрозорий елемент. Він назвав його ядром (лат. *nucleus*) (іл. 35). Дізнавшись про спостереження Броуна, німецький фізіолог Т. Шванн почав шукати подібні елементи в тваринних клітинах і знайшов їх (іл. 36). Це було важливим відкриттям, що свідчить про єдність будови усіх еукаріотичних клітин.

Пізніші дослідження, започатковані І. Геммерлінгом у 1930-х роках, довели провідну роль ядра у передачі спадковості. Ядро містить основну частку генетичної інформації про те, якими мають бути форма й будова клітини, як їй жити й розвиватися. Саме в ядрі містяться молекули ДНК, в яких закодована спадкова інформація про структуру білків. Ця інформація переписується на іРНК, яка за допомогою білків-переносників надходить у цитоплазму до рибосом. Повний цикл перенесення РНК з ядра в цитоплазму триває лише близько 200 мс. І вже на цих немембранних органелах синтезуються речовини, від яких залежить формування ознак й властивостей клітини



Іл. 35. Ядро в клітині шкірки цибулі (світловий мікроскоп,  $\times 1\,000$ )



Іл. 36. Електронна мікрофотографія ядра клітини підшлункової залози ( $\times 16\,000$ )

й організму. Ядро регулює й енергетичні перетворення, оскільки в ньому записана інформація про ферменти та органели енергетичного обміну. Ось чому ядро є обов'язковим складником клітин рослин, грибів і тварин. Лише у клітинах деяких типів немає ядра. Це, зокрема, еритроцити ссавців, ситоподібні трубки насінних рослин. І такі клітини нездатні до тривалого життя, самооновлення й самовідтворення.

Кожному типу клітин властиве певне стале співвідношення між об'ємами ядра та цитоплазми (*ядерно-цитоплазматичне співвідношення*). Ядро певного об'єму може забезпечувати процеси біосинтезу білків лише у відповідному об'ємі цитоплазми. Через те у великих клітинах або клітинах з посиленням обміном речовин спостерігається багатоядерність (наприклад, у клітинах інфузорій, грибів, печінки, м'язових волокнах посмугованих м'язів, нейронах нервових вузлів вегетативної нервової системи).

Отже, **ЯДРО** – це неодмінна частина клітини, що відіграє провідну роль у її життєдіяльності, тому що містить генетичну інформацію, для організації перетворень речовин, енергії та інформації.

### Як відбуваються збереження і передача генетичної інформації ядра?

**Генетична інформація** – сукупність відомостей про розвиток, будову і властивості клітини, що передається у спадок. Звідси її інша назва – спадкова інформація. Саму здатність клітин чи організмів передавати цю інформацію наступному поколінню називають *спадковістю*. Більшість живих істот зберігають свою генетичну інформацію в ядрі клітин, ядро має особливі структури – *хромосоми*, а хромосоми побудовані з хроматину, що складається з ДНК і білків. І саме на ДНК генетична інформація клітин записана у вигляді певних послідовностей нуклеотидів і завдяки дії різних механізмів оберігається від шкідливого впливу. ДНК містить відомості про будову всіх білків та РНК клітини, а також про регуляцію їх синтезу.

Передача генетичної інформації від материнської клітини наступному поколінню здійснюється під час її поділу. Поділ клітин – це процес, за якого відбувається розподіл хромосом з наявною в них ДНК між дочірніми клітинами. У клітин виокремлюють два основні типи поділу – мітозу і мейоз. Під час мітозу генетична інформація передається без змін, а під час мейозу – видозмінюється для збільшення мінливості (іл. 37).



Іл. 37. Рівні збереження та передачі генетичної інформації:  
1 – ДНК; 2 – хромосоми; 3 – ядро; 4 – поділ клітин

Отже, збереження й передача генетичної інформації відбуваються за участі ядра.

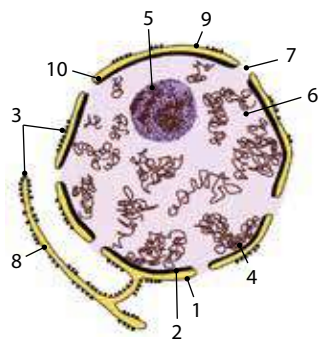
### Які особливості будови ядра у зв'язку з функцією?

Основні функції ядра, що визначають його форму й особливості будови, спрямовані на: 1) *самовідтворення клітин*, що пов'язано із збереженням інформації у ДНК і її передачею дочірнім клітинам під час поділу; 2) *самооновлення клітин* – в ядрі за участі ядерця синтезуються рРНК й відбувається самозбирання субодиниць, які синтезують нові молекули білків; 3) *саморегуляцію клітин* – в ядрі міститься інформація про регуляторні білки, що чинять вплив на активність генів.

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

**Поверхневий апарат** складається з двох мембран, які формують *ядерну оболонку* з міжмембранним простором. У певних місцях внутрішня і зовнішня мембрани за допомогою білків з'єднуються, утворюючи *ядерні пори* для здійснення зв'язку між ядром і цитоплазмою. Із цитоплазми всередину ядра надходять синтезовані в ній речовини за допомогою спеціалізованих білків-імпортинів. Натомість з ядра до цитоплазми транспортуються молекули РНК різних типів. Зовнішня ядерна мембрана має зв'язок із шорсткою ЕПС, яка продовжує транспортування сполук у цитоплазмі. Зсередини ядерна оболонка вкрита *ядерною пластинкою*, що визначає форму ядра й прикріплює хроматин (іл. 38).

**Внутрішнє середовище** ядра містить хроматин, ядерний сік (каріоплазму) та ядерця. **Хроматин** – генетичний матеріал, основу якого становлять ДНК і білки. Хроматин утворює хромосоми, яких немає в прокаріотів. До складу ядра еукаріотичних клітин входить певна кількість хромосом, кожна з яких містить одну лінійну молекулу ДНК. **Ядерний сік** є внутрішнім вмістом ядра, що за складом та властивостями подібний до цитоплазми. **Ядерця** – це щільні структури, які складаються з РНК й білків, хроматину та гранул-попередників субодиниць рибосом. Ядерця формуються на певних ділянках окремих хромосом. У ядерцях утворюються велика та мала субодиниці рибосом, які виходять крізь пори в цитоплазму і з'єднуються для біосинтезу білків. У ядрі може бути одне або декілька ядерця.



Іл. 38. Будова ядра: 1 – зовнішня ядерна мембрана; 2 – внутрішня ядерна мембрана; 3 – рибосоми; 4 – хроматин; 5 – ядерце; 6 – ядерний сік; 7 – ядерна пора; 8 – шорстка ЕПС з рибосомами; 9 – міжмембранний простір; 10 – ядерна пластинка

Отже, будова ядра пристосована до його функцій, що спрямовані на самовідтворення, сомооновлення та саморегуляцію клітин.





## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з таблицею

Заповніть таблицю і сформулюйте висновок про взаємозв'язок будови ядра з його функціями.

#### БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ЯДРА

Назва структури	Будова	Функції
Поверхневий апарат ядра	Ядерна оболонка	
	Ядерні пори з поросомами	
	Ядерна пластинка	
Внутрішнє середовище	Ядерний сік	
	Хроматин	
	Ядерце	

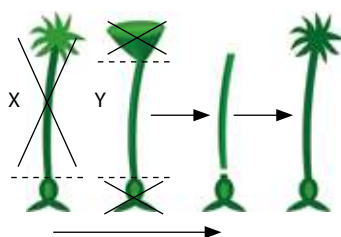
## Біологія + Архітектура

Найяскравішим витвором сучасної архітектури є сінгапурський пішохідний міст Хелікс (*The Helix Bridge*), який вважається одним із найкрасивіших мостів світу, чим приваблює багато туристів. Цей міст у вигляді спірально-подібної молекули ДНК має довжину 280 м і відрізняється надійністю та легкістю. Які особливості організації ДНК забезпечують її міцність і компактне розташування в ядрі?



## СТАВЛЕННЯ

Ацетабулярії – це одноклітинні зелені водорості, які завдяки велетенському ядру, розвинутій регенерації і великим розмірам (до 18 см) є класичним об'єктом цитологічних досліджень. Різні види ацетабулярій різняться передусім формою «шапки». У середземноморської ацетабулярії (*Acetabularia mediterranea*) «шапка» кругла, а в ацетабулярії з Карибського моря (*Acetabularia crenulata*) вона розсічена на лопати. Під час досліду у водорості X видалили верхню та середню частини, у водорості Y – верхню та нижню частини. До нижньої частини водорості X пересадили середню частину водорості Y, в результаті чого створений організм набув вигляду водорості X. Про що свідчать результати досліду? Яке значення цих дослідів для доведення єдності органічного світу?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке ядро? 2. Хто відкрив ядро? 3. Що таке генетична інформація? 4. Як відбувається передача генетичної інформації? 5. Назвіть основні функції ядра. 6. Назвіть основні компоненти будови ядра.
7 – 9	7. Чому ядро відіграє провідну роль у життєдіяльності клітини? 8. Як відбуваються збереження і передача генетичної інформації ядра? 9. Які особливості будови ядра у зв'язку з функцією?
10 – 12	10. Які функції ядра взаємопов'язані з його структурною організацією?

## § 16. РІЗНОМАНІТНІСТЬ КЛІТИН

**Основні поняття й ключові терміни:** Рослинна клітина. Тваринна клітина. Грибна клітина.

**Пригадайте!** Що таке клітина?



### Поміркуйте!

«Кожна клітина має копію повного генетичного коду – настанови з догляду за вашим організмом, – так що вона знає не лише свою роботу, а й всіляку іншу справу в організмі. Вам жодного разу в житті не доведеться нагадувати клітині про те, щоб вона слідувала за вмістом АТФ. Клітина зробить за вас все – і це, і мільйон інших справ. Кожна клітина за своєю природою є чудом...» (Білл Брайсон. Коротка історія майже всього на світі) (*A Short History of Nearly Everything*). Чому кожна клітина є справжнім чудом?



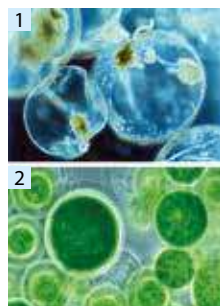
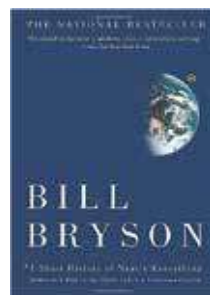
### ЗМІСТ

#### Що визначає різноманітність еукаріотичних клітин?

Спосіб отримання енергії, здатність до активного руху, складність організації еукаріотичних організмів зумовлює величезну різноманітність їхніх клітин, що різняться не лише у представників різних царств органічного світу, а й одного й того самого організму.

Клітини *одноклітинних організмів* існують як самостійні організми і здійснюють усі життєво важливі функції. Одноклітинними еукаріотами є твариноподібні організми, одноклітинні водорості та нижчі гриби. Розміри й форма клітин таких організмів залежать від типу живлення й середовища існування. Наприклад, у багатьох мешканців водного середовища клітини кулясті, оскільки це найпростіша форма, за якої можливі рівномірний розподіл поверхневого натягу клітинних оболонок і найбільша площа клітини для отримання енергії й речовин. Такими є клітини твариноподібної істоти ночесвітки, зеленої водорості хлорели (іл. 39).

*Багатоклітинні організми* (тварини, гриби, рослини) складаються з клітин, що мають подібну загальну будову. Проте форма, розміри і структура клітин залежать від функцій, які вони виконують в організмі. Наприклад, м'язові клітини видовжені, нервові клітини завдяки великій кількості відростків набули зірчастої форми, сперматозоони дрібні, рухливі, яйцеклітини округлої форми тощо.



Іл. 39. Кулясті клітини ночесвітки (1), хлорели (2)



Іл. 40. Різноманітність клітин за функціями в організмі гідри

Виникають такі клітини з початково однорідних клітин у процесі диференціації. Наприклад, у прісноводної гідри різні типи клітин виникають з проміжних (ил. 40), у ссавців – із стовбурових, у вищих рослин – з ініціальних.

Отже, різноманітність еукаріотичних клітин залежить від середовища існування та функцій, що вони виконують.

### Чим визначаються особливості рослинних клітин?

Найхарактернішими рисами рослинних клітин є їхня здатність до фотосинтезу і наявність **пластид** (хлоро-, хромо- і лейкопластів), в яких утворюються та запасуються органічні речовини. А запасують й накопичують рослини переважно полісахарид **крохмаль** (ил. 41).

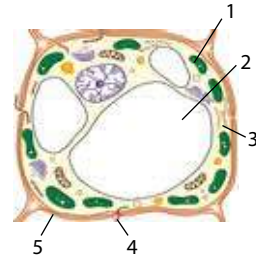
Надійний захист поверхні рослинних клітин забезпечує **клітинна стінка із целюлози**, що утворюється багатьма одиницями комплексу Гольджі. Для надходження речовин із середовища клітинна стінка має пори, крізь які в клітину надходять лише розчинні у воді сполуки. Тому для рослинних клітин характерним є **осмотичне живлення**. Для забезпечення взаємодії між клітинами розвинуті **цитоплазматичні містки** (плазмодесми). У рослинних клітинах є **великі вакуолі**, що беруть участь у здійсненні багатьох функцій: запасанні речовин, накопиченні продуктів виділення, регуляції вмісту води в цитоплазмі тощо.

Таким чином, основними особливостями рослинних клітин є наявність пластид, резервного полісахариду крохмалю, клітинної стінки із целюлози, цитоплазматичних містків та великих вакуолей.

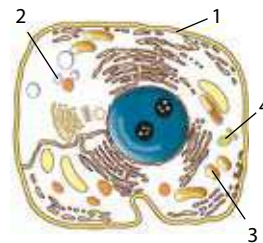
Отже, **рослинна клітина** – це тип клітин, особливості якої визначаються фотоавтотрофним живленням та відсутністю здатності до активного переміщення.

### Які відмінності тваринних клітин від рослинних?

**Тваринна клітина** – це тип клітин, особливості яких формувалися у зв'язку з гетеротрофним живленням та здатністю до активного переміщення. На поверхні цих клітин немає жорсткої клітинної стінки, що забезпечує можливість активного руху й отримання енергії готових поживних речовин (ил. 42). При зустрічі клітини з молекулами органічних речовин її цитоплазматична мембрана здатна вигинатись, занурюючи молекулу, а виступи мембрани, охоплюючи речовину, з'єднуються. Результатом є утворення фагоцитозного пухирця – фагосоми. Надмембранною структурою тваринних клітин є **глікокалікс** (від грец. *glikis* – солодкий і лат. *callus* – товста шкіра), що складається з глікопротеїдів і гліколіпідів. Функції цієї структури полягають у взаємо-



Ил. 41. Ознаки рослинної клітини: 1 – пластиди; 2 – велика вакуоля; 3 – зерна крохмалю; 4 – плазмодесми; 5 – клітинна стінка з целюлози



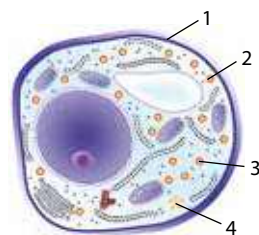
Ил. 42. Особливості тваринної клітини: 1 – глікокалікс; 2 – дрібні вакуолі; 3 – лізосоми; 4 – зерна глікогену

дії клітин між собою та іншими клітинами, сприйнятті подразнень, перенесенні речовин у клітину і з клітини. У зв'язку з гетеротрофним живленням у тваринній клітині **немає пластид**. У цитоплазмі є **дрібні вакуолі**, що за функціями поділяються на травні (наприклад, у губок, кишковопорожнинних), видільні (наприклад, у інфузорій), скоротливі (наприклад, у амеби протей). Для розщеплення складних поживних речовин комплекс Гольджі утворює численні **лізосоми** з різними гідролітичними ферментами. Надлишок білків, жирів чи вуглеводів перетворюється в клітинах тварин на **глікоген**. Цей резервний полісахарид має розгалужену структуру, що забезпечує, в разі необхідності, швидке відщеплення багатьох залишків глюкози для енергетичних потреб.

Отже, основними особливостями тваринної клітини є відсутність пластид, наявність глікокаліксу, дрібних вакуолей, численних лізосом та запасання глікогену.

### Які структурно-функціональні особливості клітини грибів?

**Грибна клітина** – це тип клітин, особливості якої визначаються гетеротрофним живленням та відсутністю здатності до активного переміщення. Відсутність локомоції надає важливого значення такій структурі їхнього поверхневого апарату, як **клітинна стінка з хітину** (іл. 43). Вона здійснює не лише захисну, а й інші важливі функції, зокрема є місцем розташування гідролітичних ферментів для позаклітинного травлення, бере участь в надходженні простих поживних речовин з довкілля, надає форми клітинам тіла тощо. Більшості грибних клітин, як і рослинним, властиве осмотичне живлення. Клітини грибів поглинають розчинні органічні сполуки крізь пори в клітинній стінці без утворення травних вакуолей. А ті **резервні вакуолі**, що спостерігаються у цитоплазмі, виконують запасливу функцію. В цитоплазмі містяться численні **лізосоми** з різними ферментами, завдяки яким гриби можуть зовнішньо перетравлювати найрізноманітнішу органіку, особливо в вологих і теплих умовах. Резервним полісахаридом є **глікоген**.



Іл. 43. Ознаки грибної клітини: 1 – клітинна стінка з хітину; 2 – численні лізосоми; 3 – резервні вакуолі; 4 – зерна глікогену

Отже, особливостями грибних клітин є наявність клітинної стінки з хітину, запасливих вакуолей, лізосом з багатим арсеналом травних ферментів, резервного полісахариду – глікогену.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Лабораторна робота 1

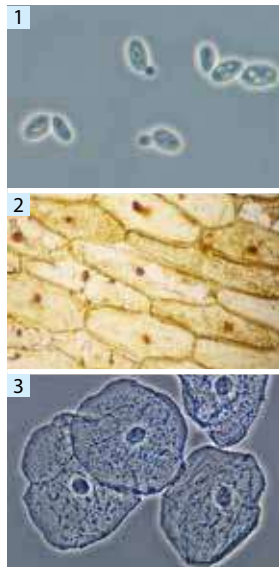
#### ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ РІЗНОМАНІТНОСТІ КЛІТИН

**Мета:** розвиваємо вміння виготовляти мікропрепарати та розглядати їх за допомогою мікроскопа; удосконалюємо уміння порівнювати клітини рослин, тварин і грибів; формуємо уміння виконувати рисунки біологічних об'єктів.

**Обладнання та матеріали:** готові мікропрепарати клітин грибів, рослин й тварин, а також предметні й накривні скельця, вода, піпетки, скляні палички.

### Хід роботи

1. Розгляньте під мікроскопом готовий мікропрепарат клітин грибів (дріжджів чи мукора). Порівняйте побачене з електронною мікрофотографією та замалуйте клітину гриба в робочий зошит. На малюнку позначте клітинну стінку з хітину, ядро, запасливу вакуолю.
2. Виготовте тимчасовий мікропрепарат шкірочки цибулі. Порівняйте побачене з електронною мікрофотографією та замалуйте рослину клітину в робочий зошит. На малюнку позначте клітинну стінку з целюлози, ядро, велику вакуолю й пластиди.
3. Виготовте препарат епітелію ротової порожнини в краплині слини, для чого проведіть скляною паличкою по внутрішній поверхні щоки, перенесіть мазок на предметне скло. Порівняйте побачене з електронною мікрофотографією та замалуйте клітину в робочий зошит. На малюнку позначте цитоплазматичну мембрану, ядро.
4. Зробіть висновки.



### СТАВЛЕННЯ

За допомогою таблиці порівняйте клітини рослин, грибів і тварин. Визначте причини відмінностей між клітинами. Застосуйте знання про будову клітин для доведення єдності органічного світу.

### ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БУДОВИ ЕУКАРІОТИЧНИХ КЛІТИН

Ознака	Клітина рослин	Клітина грибів	Клітина тварин
Клітинна стінка			
Пластиди			
Резервний полісахарид			
Вакуолі			
Лізосоми			













### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Назвіть основні групи еукаріотичних організмів. 2. Що таке рослинна клітина? 3. Назвіть особливості будови рослинних клітин. 4. Що таке тваринна клітина? 5. Назвіть особливості будови тваринних клітин. 6. Що таке грибна клітина?
7 – 9	7. Що визначає різноманітність еукаріотичних клітин? 8. Чим визначаються особливості рослинних клітин? 9. Назвіть відмінності тваринних клітин від рослинних і грибних.
10 – 12	10. Які основні причини подібності та відмінностей між клітинами рослин, тварин і грибів?

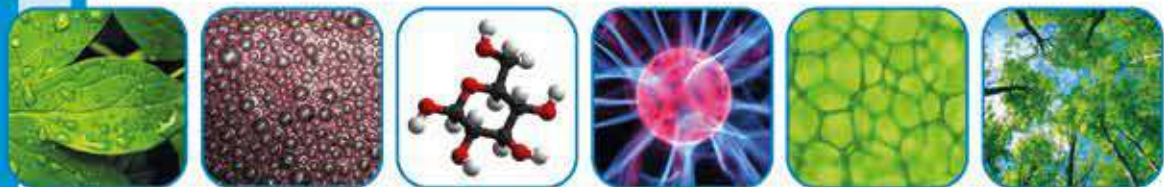
## Узагальнення теми 2. СТРУКТУРА КЛІТИНИ

**КЛІТИНА** – найменша біологічна система, основна структурна й функціональна одиниця живого, здатна до саморегуляції, самооновлення та самовідтворення. Будь-яка клітина є відкритою системою, яку поєднує із середовищем постійний потік енергії, речовин та інформації. Клітина може існувати лише тоді, коли кожний з її структурних компонентів виконує свої функції (табл. 3).

**Таблиця 3. БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ СТРУКТУРНИХ КОМПОНЕНТІВ КЛІТИНИ**

Структури і їхнє зображення	Особливості будови	Функції
Клітинна мембрана 	Частина поверхневого апарату з ліпідів, білків й вуглеводів. Ліпіди визначають властивості мембрани, білки й вуглеводи – функції	Транспортна, метаболічна, захисна, рецепторна, контактна, опорна
Ядро 	Поверхневий апарат (ядерна оболонка з двох ядерних мембран, ядерні пори, ядерна пластинка) Внутрішнє середовище (ядерний сік, ядерце, хроматин)	Зберігає спадкову інформацію; керує процесами життєдіяльності; утворює рибосоми
Пластиди 	Двомембранні напівавтономні рослинні органели клітини. Три види: хлоропласти, хромопласти, лейкопласти	Фотосинтезуюча, забарвлювальна, запаслива
Мітохондрії 	Двомембранні напівавтономні еукаріотичні енергетичні органели клітини	Клітинне дихання. Окиснення органічних сполук. Синтез АТФ
ЕПС 	Складна тривимірна мембранна система, що пронизує усю гіалоплазму; розрізняють гладку і шорстку ЕПС	Синтез білків (шорстка ЕПС). Синтез ліпідів, вуглеводів (гладка ЕПС). Транспортування речовин. Утворення вакуолей
Апарат Гольджі 	Групи цистерн, які розгалужуються на трубочки і систему дрібних міхурців	Накопичення та секреція речовин. Утворення лізосом
Лізо-соми 	Одномембранні міхурці, що містять гідролітичні ферменти (протеази, ліпази, амілази)	Внутрішньоклітинне травлення
Вакуолі 	Відмежовані мембраною ділянки клітини, заповнені рідиною. Типи вакуолей: травні, скоротливі, запасливі, осморегуляторні	Тургорна, запаслива, видільна, забарвлювальна, травна, осморегуляторна
Клітинний центр 	Дві центріолі, стінки яких побудовані з 9 триплетів мікротрубочок. Розташовані в центросфері	Участь у поділі клітин. Організація цитоскелета
Рибосоми 	Сферичні тільця з великої та малої субодиниць. Розташовані в цитоплазмі, на гранулярній ЕПС, у мітохондріях і хлоропластах	Синтез білків
Органели руху (псевдоподії, джгутики й війки)	Вирости цитоплазми, вкриті плазматичною мембраною	Рухова, чутлива, захисна





## Тема 3. ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ

*Життя – це розподіл речовин, енергії та інформації для забезпечення його упорядкованості.*

*К. Свенсон*

### § 17. ОБМІН РЕЧОВИН ТА ЕНЕРГІЇ

**Основні поняття й ключові терміни:** ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ КЛІТИНИ. Мембранне транспортування. МЕТАБОЛІЗМ.

**Пригадайте!** Що таке клітина?



#### Поміркуйте!

«Розглядаючи живий світ на клітинному рівні організації, ми помічаємо його єдність: **єдність складу** – основні макромолекули в усіх живих істот побудовані з одних і тих самих малих молекул, **єдність будови** – кожна клітина містить ядро, занурене у протоплазму, **єдність функцій** – обмін речовин подібний у загальних рисах у всіх клітинах», – так писав лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини (1965), французький мікробіолог **Андре Львов** (1902–1994). Що ж таке життєдіяльність клітини?

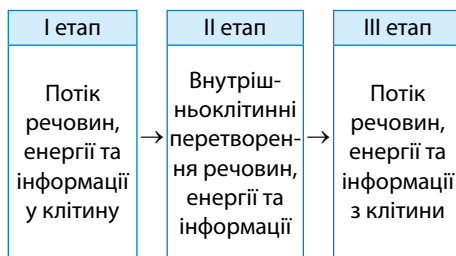


#### ЗМІСТ

**Які процеси визначають життєдіяльність клітин?**

**ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ КЛІТИНИ** – сукупність процесів, що зумовлюють потік речовин, енергії та інформації і забезпечують існування клітини. Одним із визначальних принципів життєдіяльності клітини є її **ВІДКРИТІСТЬ**. Клітина обмінюється із навколишнім середовищем речовинами, енергією та інформацією. В цьому загальному обміні можна виокремити три етапи: потік у клітину, внутрішньоклітинні перетворення й потік із клітини. Всі ці процеси становлять зовнішній обмін клітини.

Потік речовин, енергії та інформації в клітину відбувається завдяки процесам **живлення, дихання, транспортування речовин, травлення й подразливості**. Ці процеси за участі поверхневого апарату забезпечують надходження в клітину поживних речовин, вуглекислого газу, води, кисню, світлової чи хімічної енергії, інформації про чинники середовища тощо.



Іл. 44. Етапи зовнішнього обміну речовин, енергії та інформації



Усередині клітин відбувається другий етап обміну речовин, енергії та інформації – внутрішньоклітинний, або *метаболізм*. Речовини, енергія та інформація, що надійшли в клітину, включаються в хімічні й фізичні перетворення енергетичного й пластичного обміну. В клітині за участі усіх її структур синтезуються й розщеплюються, окиснюються й відновлюються, розчиняються й кристалізуються речовини. Світлова енергія перетворюється у хімічну, хімічна – у механічну, електрична – у хімічну, і всі ці метаморфози супроводжуються втратами теплової енергії. Перебіг усіх процесів забезпечується генетичною інформацією ядра чи нуклеоїду.

На третьому етапі з клітини видаляються кінцеві продукти обміну, тепла енергія, молекули чи енергія, що є інформацією для спілкування з іншими клітинами тощо. Основою цього етапу обміну речовин, енергії та інформації є такі процеси, як *екскреція, секреція, тепловіддача й комунікація клітин*.

Отже, життєдіяльність клітин визначається її життєвими функціями, які зумовлюють потік речовин, енергії та інформації.

### **Як відбувається надходження речовин, енергії та інформації в клітину?**

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

**Пасивне транспортування** відбувається без затрат енергії шляхом простої дифузії, осмосу та полегшеної дифузії. *Проста дифузія* – рух молекул або йонів за градієнтом концентрації, тобто з ділянок з високою концентрацією в ділянки з низькою концентрацією (наприклад, газообмін у легенях і тканинах). *Полегшена дифузія* – дифузія, яка здійснюється за допомогою спеціальних білків-переносників, як правило, в одному напрямку (наприклад, надходження глюкози в еритроцити). Дифузію води крізь напівпроникну мембрану називають *осмосом*. Вода переходить від ділянки з низькою концентрацією солей до ділянки з вищою концентрацією.

**Активне транспортування** речовин крізь мембрану здійснюється проти градієнта їх концентрації із затратаю енергії АТФ через йонні канали або в мембранній упаковці. *Натрій-калієвий насос* – це процес переміщення низькомолекулярних сполук (амінокислот, глюкози) крізь мембрану за рахунок різної концентрації йонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$  всередині клітини і ззовні. В мембранній упаковці речовини транспортуються в клітину (ендоцитоз) або з клітини (екзоцитоз). Розрізняють два види ендоцитозу: фагоцитоз і піноцитоз. *Фагоцитоз* (від грец. *фагос* – пожирати, *цитос* – клітина) – це захоплення і поглинання клітиною великих часточок або цілих клітин. Ендоцитоз рідини та розчинених в ній речовин називається

*піноцитозом* (від грец. *піно* – пити і *клітина*). Шляхом ендоцитозу відбуваються процеси всмоктування речовин епітеліальними клітинами слизової оболонки тонкого кишечника і реасорбції речовин у каналцях нирок. Екзоцитоз – це процес виведення з клітини різноманітних речовин крізь мембрану. Шляхом екзоцитозу вивільняються гормони, жирові краплини, медіатори в синапсах під час збудження та ін.

Отже, упорядкованість й регуляцію потоку речовин, енергії та інформації у клітину та із клітини забезпечує мембранне транспортування.

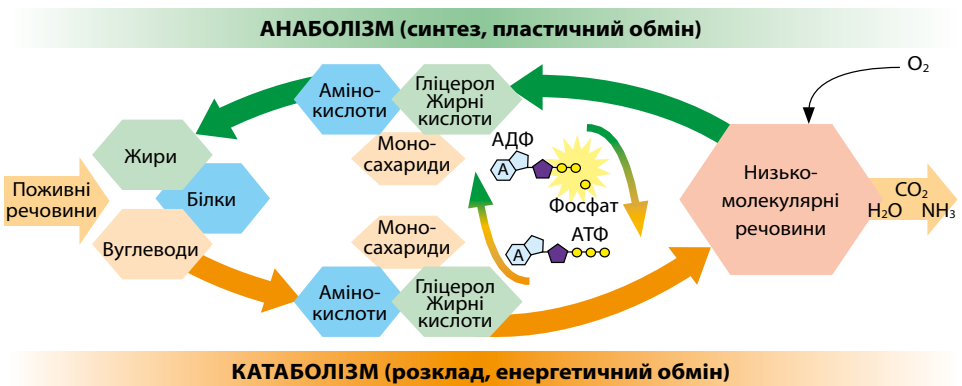
### У чому сутність внутрішньоклітинних перетворень речовин?

**МЕТАБОЛІЗМ** (від грец. *метаболе* – перетворення, зміна) – сукупність процесів, що забезпечують перетворення речовин, енергії та інформації у клітині та її саморегуляцію, самооновлення й самовідтворення. Ці зміни спрямовані на УПОРЯДКОВАНІСТЬ структури й функцій клітини. Значення метаболізму полягає в забезпеченні клітини будівельним й енергетичним матеріалом, тому виокремлюють анаболізм й катаболізм (іл. 45).

**Анаболізм** (пластичний обмін) – сукупність реакцій синтезу складних речовин із простіших, які забезпечують ріст клітин, оновлення їхнього хімічного складу. Під час перебігу цих біохімічних реакцій енергія поглинається, тому ці процеси називають *ендергонічними* (від грец. *ендо* – всередину і *ергон* – енергія). Енергія забезпечує життєдіяльність клітин й утворення хімічних зв'язків між молекулами. Анаболічними процесами клітини є фотосинтез, хемосинтез, біосинтез білків та ін.

**Катаболізм** (енергетичний обмін) – сукупність реакцій розщеплення складних речовин на простіші, які забезпечують клітину енергією для життєдіяльності. Процеси енергетичного обміну супроводжуються звільненням енергії під час розриву хімічних зв'язків, тому ці реакції називають *екзергонічними* (від грец. *екзо* – назовні). Катаболічними процесами клітин є гліколіз, бродіння, клітинне дихання.

У клітинах водночас відбуваються процеси енергетичного і пластичного обміну. Вони пов'язані між собою потоками речовин та енергії й здійснюються на основі спадкової інформації клітини.



Іл. 45. Схема метаболізму клітин

Для біохімічних реакцій метаболізму характерні певні особливості, що відрізняють їх від реакцій неживої природи. Це, в першу чергу, висока швидкість й упорядкованість перебігу завдяки участі ферментів.

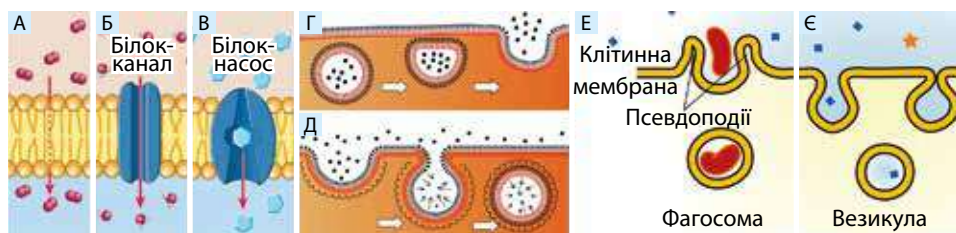
Отже, внутрішньоклітинні перетворення речовин, енергії та інформації є сукупністю анаболічних й катаболічних процесів життєдіяльності клітини.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з ілюстраціями

Розгляньте ілюстрації та зiставте вид транспортування із їхніми назвами. Види мембранного транспортування: 1 – фагоцитоз; 2 – піноцитоз; 3 – екзоцитоз; 4 – ендоцитоз; 5 – проста дифузія; 6 – полегшена дифузія; 7 – йонний насос.



## Біологія + Фізика

Термодинаміка – розділ фізики, який вивчає найзагальніші закономірності енергетичних процесів у системах. Такими закономірностями є перший і другий закони термодинаміки. Чи застосовуються ці закони термодинаміки для характеристики клітин?



## СТАВЛЕННЯ

Порівняйте пластичний й енергетичний обмін у клітині та доведіть їхній взаємозв'язок. Зробіть висновок про схожість процесів обміну речовин у різних організмів.

Ознака	Пластичний обмін	Енергетичний обмін
Як ще називають ці типи метаболізму?		
Які реакції є основою?		
Якими є перетворення речовин?		
Якими є перетворення енергії?		
Які ферменти каталізують реакції?		
Приклади процесів		



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке життєдіяльність клітин? 2. Назвіть етапи зовнішнього обміну речовин, енергії та інформації клітини. 3. Що таке мембранне транспортування? 4. Назвіть типи мембранного транспортування клітини. 5. Що таке метаболізм? 6. Назвіть два типи метаболізму клітини.
7 – 9	7. Які процеси визначають життєдіяльність клітин? 8. Як відбувається надходження речовин, енергії та інформації у клітину? 9. В чому сутність внутрішньоклітинних перетворень речовин, енергії та інформації?
10 – 12	10. У чому полягає взаємозв'язок пластичного й енергетичного обміну в клітині?

## § 18. РОЗЩЕПЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У ЖИВИХ ОРГАНІЗМАХ

Основні поняття й ключові терміни: **КАТАБОЛІЗМ. Гідроліз. Біологічне окиснення.**

**Пригадайте!** Що таке живлення?



### Поміркуйте!

Енергія не виникає ні з чого і нікуди не зникає, вона може тільки переходити з одного виду в інший (закон збереження енергії). А як відбувається взаємоперетворення енергії у клітині?



### ЗМІСТ

#### **Яке значення має розщеплення органічних речовин?**

Сукупність процесів, що здійснюють надходження в клітину необхідних для життєдіяльності речовин, називається **клітинним живленням** (іл. 46). У клітини рослин, ціанобактерій, фото- і хемосинтезуючих бактерій надходять неорганічні сполуки, з яких утворюються прості органічні сполуки, що визначає **автотрофне живлення**. Внаслідок **гетеротрофного живлення** клітини багатьох прокариотів, тварин і грибів отримують прості (амінокислоти, жирні кислоти, моносахариди) або складні (білки, ліпіди й складні вуглеводи) органічні речовини. Є в живій природі ще група організмів, які на світлі живляться за допомогою хлоропластів, а в умовах недостатнього освітлення поглинають крізь пори клітинної стінки низькомолекулярні органічні речовини (наприклад, хламідомонада, діатомові водорості). У них **змішане**, або **міксотрофне, живлення**. Живлення клітин відбувається за участі клітинної мембрани, гіалоплазми, хлоропластів, лізосом.

Розщеплення простих або складних органічних речовин спрямоване на вивільнення хімічної енергії, що може перетворюватися в інші форми. Слід пам'ятати, що в біологічних системах енергія існує в різ-



Іл. 46. Одноклітинні організми з різним типом живлення: 1 – мікрастеріас (автотрофне); 2 – інфузорія трубоч (гетеротрофне); 3 – хламідомонада (міксотрофне)

них формах: хімічній, електричній, механічній, тепловій і світловій, які здатні перетворюватися одна в одну. Так, хімічна енергія сполук, що розщепилися, використовується для біохімічних реакцій синтезу, перетворюється в механічну енергію руху, електричну енергію нервових імпульсів, теплову енергію для підтримання оптимальної для життя температури, світлову енергію біологічного світіння.

Отже, розщеплення органічних речовин забезпечує вивільнення хімічної енергії з поживних речовин, що надходять у клітини завдяки живленню.

### Як відбувається розщеплення органічних сполук у клітинах?

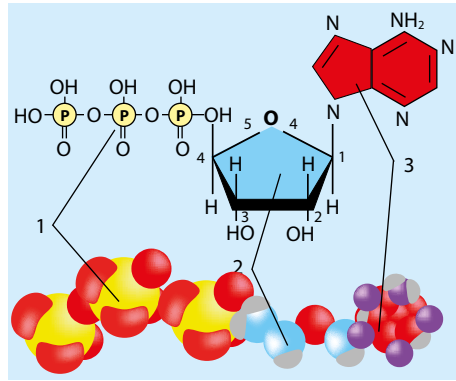
**КАТАБОЛІЗМ** (від грец. *катаболе* – скидання донизу, руйнування) – це енергетичний обмін, або сукупність реакцій розщеплення складних сполук до простіших, що супроводжується виділенням енергії. Розділ біохімії, який займається вивченням перетворення і використання енергії у живих клітинах, називається **біоенергетикою**. Енергетика катаболічних процесів відрізняється з енергетичними реакціями неживої природи.

Першою особливістю є те, що реакції катаболізму відбуваються за участі ферментів, якими є *оксидоредуктази* і *гідролази*. Завдяки їхньому упорядкованому розташуванню на клітинних мембранах чи у відсіках, відокремлених мембранами, реакції катаболізму є високо ефективними. Через це перетворення хімічної енергії в інші форми здійснюється без значних теплових втрат. Так, коефіцієнт корисної дії (ККД) звичайного двигуна становить 20–25%, а мітохондрій – 60–70%.

Другою особливістю катаболізму є те, що вивільнення енергії у реакціях розщеплення відбувається поступово, аж до утворення кінцевих продуктів окиснення – води і вуглекислого газу. Наприклад, під час повного розщеплення 1 моль глюкози виділяється близько 2800 кДж енергії. Вивільнення всієї цієї кількості енергії одразу для клітини означало б миттєву загибель.

Третьою особливістю катаболізму є те, що хімічна енергія, яка вивільняється під час руйнування хімічних зв'язків молекул вуглеводів, ліпідів, білків, акумулюється в молекулах особливої речовини живого – аденозинтрифосфатної кислоти (АТФ) (ил. 47). Акумульована енергія цієї універсальної сполуки є доступною для різних процесів життєдіяльності клітини.

Отже, розщеплення органічних речовин у клітинах відрізняється від хімічних реакцій розкладу і називається КАТАБОЛІЗМОМ.



Ил. 47. Структурна формула і масштабна модель молекули АТФ:

- 1 – залишки ортофосфатної кислоти;
- 2 – моносахарид рибоза; 3 – азотиста (нітратна) основа аденін

## Які основні шляхи розщеплення органічних речовин?

Поживні органічні речовини, що надходять чи утворюються в клітинах, поділяються на малі біомолекули та макромолекули. Їхня молекулярна маса та просторова структура визначають особливості розщеплення.

Макромолекули розщеплюються в клітинах завдяки **гідролізу** (від грец. *гідро* – вода, *лізис* – розщеплення). Це реакції обмінної взаємодії молекул з водою за участі ферментів-гідролаз. Білки за допомогою протеаз розщеплюються до амінокислот, жири за участі ліпаз – до жирних кислот й гліцерину, вуглеводи за допомогою амілаз – до моносахаридів. При цьому виділяється близько 0,8 % енергії, тобто енергетичний ефект цього етапу незначний, і вся енергія розсіюється у вигляді теплоти. Цей шлях розщеплення відбувається в ділянках цитоплазми з високим вмістом води або в травних вакуолях.

Подальше розщеплення малих молекул поживних речовин відбувається шляхом ферментативних окисно-відновних реакцій, а уся їхня сукупність називається **біологічним окисненням**. Це реакції перенесення електронів з однієї молекули на інші, що каталізуються оксидоредуктазами. Більшість процесів окиснення в організмі супроводжується відщепленням Гідрогену від органічних речовин. Основними субстратами біологічного окиснення є вуглеводи та жири, саме їхній катаболізм дає найбільшу кількість хімічної енергії. Біологічне окиснення в клітинах може бути безкисневим і кисневим.

**Безкисневе розщеплення** (анаеробне розщеплення) відбувається в гіалоплазмі й приводить до вивільнення незначної кількості енергії. На цьому етапі органічні сполуки зазнають розщеплення без участі кисню. Відщеплений Гідроген приєднується цілою низкою молекул, внаслідок чого утворюються різноманітні продукти відновлення (наприклад, молочна кислота), які мають значний запас енергії. Безкисневе розщеплення є найпростішою формою утворення енергії в багатьох клітинах. Найважливішими на цьому етапі в клітинах є *гліколіз* (безкисневе розщеплення моносахаридів), *ліполіз* (розщеплення запасних жирів й жирних кислот), *протеоліз* (розщеплення білків й амінокислот), *бродиння* (розщеплення вуглеводів під дією мікроорганізмів або їх ферментів).

Другий, набагато ефективніший шлях розщеплення органічних речовин, – це **кисневе розщеплення** (аеробне розщеплення, клітинне дихання). Воно відбувається в матриксі й на кристах мітохондрій за участі кисню; при цьому вивільняється основна частка енергії (понад 90 %). Під час аеробного розщеплення електрони і протони Гідрогену через низку проміжних сполук передаються на молекулярний кисень з утворенням води. Крім того, виділяється  $\text{CO}_2$ , а при розщепленні нітрогеновмісних сполук (амінокислоти, нуклеотиди) ще й амоніак, який у подальшому підлягає знешкодженню.

Отже, розщеплення органічних речовин у клітині здійснюється завдяки гідролізу й біологічному окисненню, що відбуваються шляхом безкисневого і кисневого розщеплення.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Розпізнайте зображені на ілюстраціях клітини та порівняйте за допомогою таблиці їхні особливості живлення й розщеплення органічних речовин.

1



2



Ознака	Об'єкт 1	Об'єкт 2
Назва		
Тип живлення		
Які речовини надходять у процесі клітинного живлення?		
Який вид мембранного транспорту забезпечує надходження?		
Що з ними відбувається в клітині?		
Які речовини розщеплюються в клітині?		
Де відбувається розщеплення органічних сполук у клітині?		

## Біологія + Хімія

Горіння, за сучасними уявленнями, – складний фізико-хімічний процес на основі екзотермічних окисно-відновних реакцій, що характеризується значною швидкістю перебігу, виділенням великої кількості теплоти й світла, обміном речовин з навколишнім середовищем. Під час горіння, як правило, утворюється полум'я. Горіння може початися спонтанно внаслідок самозаймання або бути спричиненим запалюванням. Горіння виникає, якщо є горюча речовина, окисник і джерело запалювання. А чим біологічне окиснення відрізняється від горіння?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Фізика

Найвідомішими з електричних скатів є представники роду *Torpedo* (від лат. *torpere* – паралізувати). Сила струму, що її генерують скати, різниться залежно від виду. Наприклад, *атлантичний торпедо (Torpedo nobiliana)* може давати розряди в 220 В, але для більшості видів ця цифра менша і становить 5–40 В. Сильні розряди використовують для оглушення жертв, тоді як слабкі – для електроехолокації й визначення об'єктів полювання, для комунікації. Оцініть значення клітинного дихання для забезпечення цих енергетичних потреб.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке клітинне живлення? 2. Які є типи живлення? 3. Що таке катаболізм? 4. Назвіть особливості катаболізму. 5. Назвіть основні шляхи розщеплення органічних сполук. 6. Що таке біологічне окиснення й гідроліз?
7 – 9	7. Яке значення мають живлення й розщеплення органічних сполук для клітин? 8. Як відбувається розщеплення органічних сполук у клітинах? 9. Які основні шляхи розщеплення органічних сполук у клітинах?
10 – 12	10. Як відбувається взаємоперетворення енергії у клітині?

## § 19. КЛІТИННЕ ДИХАННЯ, ЙОГО БІОХІМІЧНІ МЕХАНІЗМИ

**Основні поняття й ключові терміни:** КЛІТИННЕ ДИХАННЯ. АНАЕРОБНЕ ДИХАННЯ. АЕРОБНЕ ДИХАННЯ.

**Пригадайте!** Що таке дихання?



### Вступна вправа

Визначте послідовність процесів травлення в організмі людини після того, як в її роту порожнину потрапив шматочок шоколадно-бананового торта: г) порожнинне травлення у дванадцятипалій кишці білків, жирів й вуглеводів; е<sub>1</sub>) повільне подрібнення їжі та її зволоження; н) розщеплення амілазами слини вуглеводів, що є в торті; е<sub>2</sub>) склеювання їжі у харчові грудочки та їхнє переміщення стравоходом до шлунка; і) остаточне прискінне травлення складних молекул та всмоктування малих молекул у кров та лімфу; р) розщеплення у шлунку бісквітних білків та жирів молока; я) транспортування амінокислот, жирних кислот і глюкози до клітин, що відбувається за допомогою крові й лімфи. Яке слово отримали?



### ЗМІСТ

#### **Яке біологічне значення клітинного дихання?**

Основні поживні речовини для клітин – це амінокислоти, жирні кислоти й глюкоза. Дихання є процесом, за якого ці речовини розщеплюються й вивільняють хімічну енергію. Виокремлюють два основні типи клітинного дихання: анаеробний та аеробний.

**АНАЕРОБНЕ ДИХАННЯ** – сукупність процесів, які здійснюють біологічне окиснення поживних речовин і отримання енергії за відсутності кисню. Характерне для клітин організмів, які живуть в безкисневих умовах (наприклад, молочнокислі бактерії, паразитичні черви, глибоководні безхребетні). У клітинах аеробних організмів цей механізм завжди передує кисневому розщепленню поживних речовин. За анаеробного дихання кінцевим продуктом є органічні молекули молочної кислоти ( $C_3H_6O_3$ ). Під час анаеробного дихання виділяється значно менше енергії, ніж під час аеробного.

**АЕРОБНЕ ДИХАННЯ** – сукупність процесів біологічного окиснення поживних речовин і отримання енергії за участі кисню. Розщеплення органічних речовин відбувається з утворенням кінцевих продуктів окиснення  $H_2O$  і  $CO_2$ . Аеробне дихання характерне для переважної більшості еукаріотичних клітин. Починається гліколізом у цитоплазмі й продовжується в мітохондріях. Аеробне окиснення відбувається з використанням кисню як акцептора (приймача) електронів й протонів Гідрогену з утворенням води. Аеробне дихання –



найдосконаліший спосіб отримання енергії. Його енергетичний ефект приблизно в 20 разів більший, ніж під час анаеробного дихання.

Процеси дихання подібні за багатьма ознаками в клітинах організмів різних царств живої природи. Ознаками подібності є утворення таких універсальних речовин, як піровиноградна кислота й АТФ, використання кисню в ролі акцептора електронів й Гідрогену, розщеплення до кінцевих продуктів  $H_2O$  і  $CO_2$ , використання подібних ферментів тощо.

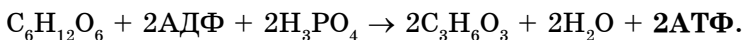
Отже, **ДИХАННЯ КЛІТИНИ** – це сукупність процесів біологічного окиснення поживних речовин з вивільненням хімічної енергії, що акумулюється в АТФ.

### Які процеси є основою анаеробного дихання клітин?

Більшість клітин для вивільнення енергії у процесах дихання передусім використовують глюкозу. Цікаво, що є клітини (наприклад, клітини мозку, скелетних м'язів, зрілі еритроцити), які отримують енергію для життя лише з молекул цього моносахариду.

Чому ж глюкоза є основним джерелом енергії для клітин? Полярні молекули глюкози дуже добре взаємодіють з водою, тому легко й швидко переміщуються в клітині, їхнє транспортування в клітину здійснюється шляхом полегшеної дифузії, що не вимагає затрат енергії. Окрім того, глюкоза може перетворюватися клітинами на резервні вуглеводи: у рослинній клітині – на крохмаль, у клітинах тварин й грибів – на глікоген.

Найдавнішим й універсальним процесом безкисневого розщеплення глюкози є гліколіз (від грец. *солодкий* і *розщеплення*), що відбувається у цитоплазмі клітин. **Гліколіз** – сукупність ферментативних реакцій, які забезпечують безкисневе розщеплення молекул глюкози з утворенням молочної кислоти та АТФ. Гліколіз – це процес, спільний для анаеробного й аеробного дихання. Енергетичний ефект гліколізу – близько 200 кДж (120 кДж – на теплоту, 80 кДж – на АТФ):



Енергія гліколізу становить лише 5–7% потенційної енергії глюкози. Незважаючи на низьку ефективність, гліколіз має велике біологічне значення. Цей процес забезпечує організми енергією в умовах дефіциту кисню. Навіть у хребетних тварин й людини гліколіз слугує ефективним способом отримання енергії під час коротких періодів інтенсивної напруги.

Ще одним механізмом анаеробного перетворення глюкози є бродіння. **Бродіння** – процес розкладу органічних речовин (здебільшого вуглеводів) у безкисневих умовах. Процеси бродіння Луї Пастер назвав «життям без кисню». До бродіння здатні клітини дріжджів, молочнокислих бактерій, мукових грибів та ін. Крім спиртового і молочнокислого бродіння в організмів є ще масляно-, оцтово-, пропіоновокисле, метанове та ін. Кожен тип бродіння характеризується специфічними кінцевими продуктами.

Отже, основними процесами анаеробного дихання в клітинах є гліколіз та бродіння.

## Які основні стадії аеробного дихання клітин?

Процеси життєдіяльності клітин є дуже складними. Але їхнє розуміння є важливим, оскільки саме на клітинному рівні визначаються усі життєві функції організмів. Як ілюстрацію цього твердження розглянемо аеробне дихання клітин.

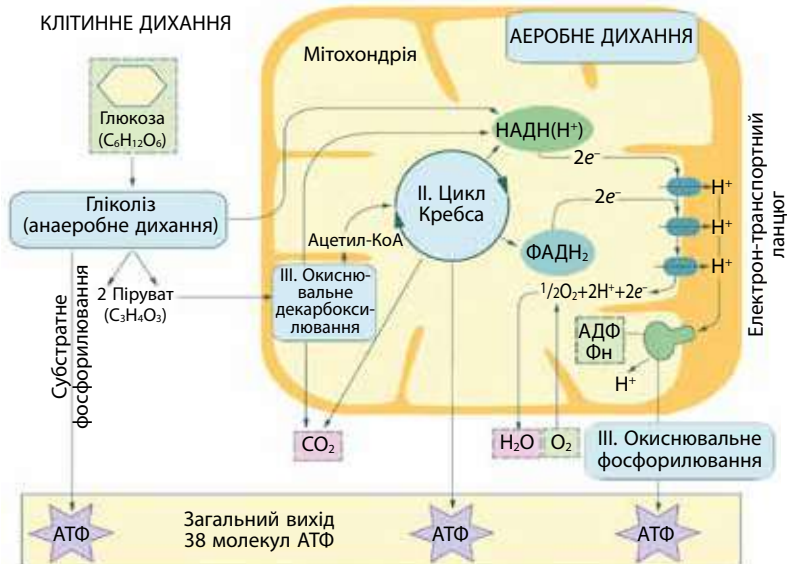
Кисневий етап дихання відбувається в мітохондріях за участі кисню, і при цьому вивільняється основна частина енергії (понад 90 %) з утворенням  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CO}_2$ . Енергетичний ефект такого розщеплення є великим (наприклад, для глюкози – близько 2600 кДж):



На цьому етапі катаболізму науковці виокремлюють три стадії: окиснювальне декарбоксилювання, цикл Кребса (або цикл трикарбонових кислот) і окиснювальне фосфорилування (іл. 48).

- **Перша стадія. Окиснювальне декарбоксилювання** – це перетворення пірвіноградної кислоти (продукт безкисневого розщеплення малих біомолекул) на ацетилкоензим А (ацетил-КоА).
- **Друга стадія. Цикл Кребса** (цикл трикарбонових кислот) – циклічна послідовність ферментативних реакцій у матриксі мітохондрій, у результаті яких ацетил-КоА окиснюється до  $\text{CO}_2$  з вивільненням енергії й утворенням атомів Гідрогену.
- **Третя стадія. Окиснювальне фосфорилування** – це біосинтез АТФ із АДФ й неорганічного ортофосфату за рахунок енергії, що вивільняється й акумулюється за участі ферментів дихального ланцюга. Цей процес відбувається вже на кристах мітохондрій.

Отже, завдяки реакціям кисневого етапу синтезується в цілому 36 моль АТФ. Сумарним енергетичним результатом повного розщеплення глюкози є 2800 кДж енергії (200 кДж + 2600 кДж), з якої в 38 молекулах АТФ акумулюється 55 %, а 45 % – розсіюється



Іл. 48. Клітинне дихання

у вигляді теплоти. Повне рівняння розщеплення глюкози має такий вигляд:



Отже, основну роль у забезпеченні клітин енергією відіграє повне кисневе розщеплення глюкози.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на формування практичних умінь

У процесі катаболізму глюкози в м'язах людини відбулося розщеплення 4 моль глюкози, з яких повного кисневого розщеплення зазнала лише половина. Визначте: а) скільки молочної кислоти (у молях) накопичилось в м'язах; б) скільки всього виділилося енергії; в) скільки АТФ (у молях) утворилося?

*Розв'язання*

Дано:

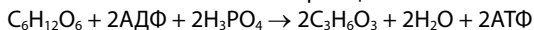
$$v(C_6H_{12}O_6) = 4 \text{ моль}$$

$$m(C_3H_6O_3) - ?$$

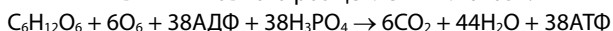
$$E_{\text{заг}} - ?$$

$$E_{\text{АТФ}} - ?$$

Рівняння неповного розщеплення глюкози:



Рівняння повного розщеплення глюкози:



1. Скільки молочної кислоти (у молях) накопичилось у м'язах людини?
2. Яка кількість енергії виділилася при неповному розщепленні 2 моль глюкози і повному розщепленні 2 моль глюкози?
3. Скільки АТФ (у молях) утворилося?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Здоров'я

Розщеплення поживних речовин в організмі відбувається в три етапи. З допомогою таблиці порівняйте ці етапи. Доведіть необхідність знань про дихання клітин для здорового способу життя.

### **ЕТАПИ РОЗЩЕПЛЕННЯ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН НА ПРИКЛАДІ ВУГЛЕВОДІВ**

Ознаки	Підготовчий етап	Безкисневий етап	Кисневий етап
Де відбувається?			
Вихідні продукти			
Кінцеві продукти			
Енергетичний ефект, кДж/моль			
Кількість енергії на теплоту, кДж/моль			
Кількість енергії на АТФ, кДж/моль			



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке дихання клітин? 2. Назвіть основні типи клітинного дихання. 3. Що таке анаеробне дихання? 4. Назвіть основні механізми анаеробного дихання. 5. Що таке аеробне дихання? 6. Назвіть основні процеси аеробного дихання.
7 – 9	7. Яке біологічне значення клітинного дихання? 8. Які процеси є основою анаеробного дихання клітин? 9. Назвіть основні стадії аеробного дихання клітин.
10 – 12	10. Чому кисневе розщеплення органічних сполук виявляється енергетично ефективнішим, ніж безкисневе?

*Звірята й зорі, люди і рослини –  
у всіх одна праматір,  
природа вічна, невичерпна і невтомна,  
хоч час крилатий з вітром лине...*

*Б.-І. Антонич. З зелених думок одного лиса*

## § 20. ФОТОСИНТЕЗ: СВІТЛОВА ТА ТЕМНОВА ФАЗИ

**Основні поняття й ключові терміни:** **ФОТОСИНТЕЗ. Хлорофіл. Світлова фаза. Темнова фаза.**

**Пригадайте!** Що таке пластичний обмін?



### Поміркуйте!

Зелений колір досить часто згадується у віршах поетів. Так, у Богдана-Ігоря Антонича є рядки: «...поезії кипучої і мудрої, мов зелень», «...завія зелені, пожежа зелені», «...рослинних рік підноситься зелена повіль». Зелений колір – це колір оновлення, символ молодості, спокою, колір природи. А чому рослини зелені?

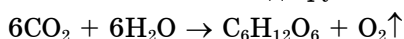


### ЗМІСТ

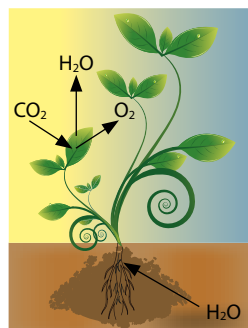
#### **Якими є умови фотосинтезу?**

Фотосинтез (від грец. *фото* – світло, *синтезіс* – поєднання) – надзвичайно складна сукупність процесів пластичного обміну. Науковці виокремлюють три типи фотосинтезу: кисневий (з виділенням молекулярного кисню у рослин й ціанобактерій), безкисневий (за участі бактеріохлорофілів в анаеробних умовах без виділення кисню у фотобактерій) та безхлорофільний (за участі бактеріородопсинів у архей). На глибині 2,4 км виявлено зелені сіркобактерії GSB1, які замість сонячного світла використовують слабкі промені чорних курців. Але, як писав К. Свенсон у монографії, присвяченій клітинам: «Первинним джерелом енергії для живої природи є та частка енергії, яку називають видимим світлом».

Найпоширенішим у живій природі є кисневий фотосинтез, для якого потрібні енергія світла, вуглекислий газ, вода, ферменти та хлорофіл. Світло для фотосинтезу поглинається хлорофілом, вода доставляється в клітини крізь пори клітинної стінки, вуглекислий газ надходить в клітини шляхом дифузії.



Основними фотосинтезуючими пігментами є хлорофіли. **Хлорофіли** (від грец. *хлорос* – зелений і *філон* – листок) – *зелені пігменти рослин, за участі яких відбувається фотосинтез*. Зелений колір хлорофілу є пристосуванням для поглинання синіх променів і частково червоних. А зелені промені відбиваються від тіла рослин, потрапляють на сітківку ока людини, подразнюють колбочки і спричиняють кольорові зорові відчуття. Ось чому рослини зелені!



Окрім хлорофілів у рослин є допоміжні *каротиноїди*, у ціанобактерій та червоних водоростей – *фікобіліни*. Зелені й пурпурні бактерії містять *бактеріохлорофіли*, що поглинають сині, фіолетові і навіть інфрачервоні промені.

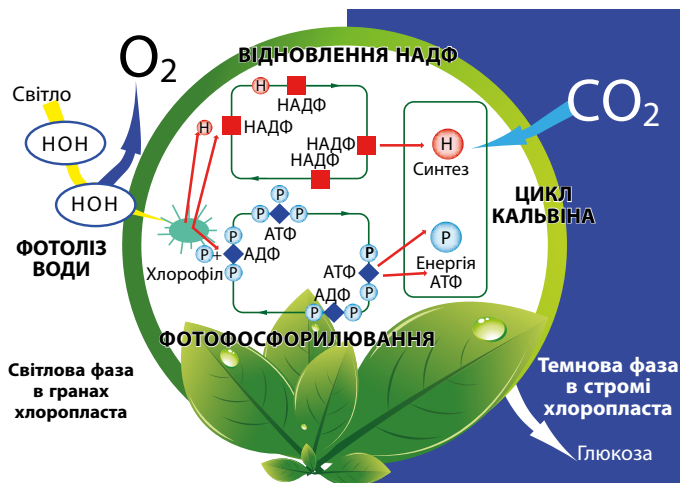
Фотосинтез відбувається у вищих рослин, водоростей, ціанобактерій, деяких архей і одноклітинних твариноподібних, тобто в організмів, відомих як фотоавтотрофи. Фотосинтез у рослин здійснюється в хлоропластах, у ціанобактерій та фотосинтезуючих бактерій – на внутрішніх впинаннях мембран з фотопігментами.

Отже, **ФОТОСИНТЕЗ** – процес утворення в клітинах фотоавтотрофних організмів органічних сполук із неорганічних з використанням світлової енергії та за участі фотосинтезуючих пігментів.

### Які особливості світлової й темної фаз фотосинтезу?

У процесі фотосинтезу виокремлюють дві стадії – світлову і темнову фази (іл. 49).

Світлова фаза фотосинтезу відбувається в гранах хлоропластів за участі світла. Ця стадія розпочинається з моменту поглинання квантів світла молекулою хлорофілу. При цьому електрони атома Магнію в молекулі хлорофілу переходять на вищий енергетичний рівень, нагромаджуючи потенціальну енергію. Значна частина збуджених електронів передає її іншим хімічним сполукам для утворення АТФ та відновлення НАДФ (*нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат*). Ця сполука з такою довгою назвою є універсальним біологічним переносником Гідрогену в клітині. Під дією світла відбувається процес розкладу води – фотоліз. При цьому утворюються електрони ( $e^-$ ), протони ( $H^+$ ) і як побічний продукт молекулярний кисень. Протони Гідрогену  $H^+$ , приєднуючи електрони з високим енергетичним рівнем, перетворюються на атомарний Гідроген, що використовується для відновлення НАДФ<sup>+</sup> до НАДФ · Н. Таким чином, основними процесами світлової фази є: 1) *фотоліз води* (розщеплення води під дією світла з утворенням кисню); 2) *відновлення НАДФ* (приєднання до НАДФ атома Гідрогену); 3) *фотофосфорилування* (утворення АТФ з АДФ).



Іл. 49. Схема фотосинтезу

Отже, **світлова фаза** – сукупність процесів, які забезпечують утворення молекулярного кисню, атомарного водню та АТФ за рахунок світлової енергії.

**Темнова фаза** фотосинтезу відбувається в стромі хлоропластів. Її процеси не залежать від світла і можуть протікати як на світлі, так і в темряві, залежно від потреб клітини в глюкозі. Основою темної фази є циклічні реакції під назвою циклу фіксації вуглекислого газу, або циклу Кальвіна. Цей процес вперше вивчив американський біохімік *Мелвін Кальвін* (1911–1997), лауреат Нобелівської премії з хімії (1961). У темній фазі з вуглекислого газу, Гідрогену від НАДФ та енергії АТФ синтезується глюкоза. Реакції фіксації  $\text{CO}_2$  каталізує рибулособісфосфаткарбоксілаза (*Rubisco*), що є найпоширенішим ферментом на Землі.

Отже, **темнова фаза** – сукупність циклічних реакцій, які завдяки хімічній енергії АТФ забезпечують утворення глюкози з використанням вуглекислого газу, що є джерелом Карбону, та води, що є джерелом Гідрогену.

### У чому полягає планетарна роль фотосинтезу?

Значення фотосинтезу для біосфери важко переоцінити. Саме завдяки цьому процесові світлова енергія Сонця перетворюється фотоавтотрофами в хімічну енергію вуглеводів, які в загальному дають первинну органічну речовину. З неї починаються ланцюги живлення, якими енергія передається гетеротрофним організмам. Рослини слугують кормом травоядним тваринам, які отримують за рахунок цього необхідні поживні речовини. Потім травоядні тварини стають їжею для хижаків, їм також необхідна енергія, без якої життя неможливе.

Тільки незначна частина енергії Сонця вловлюється рослинами й використовується для фотосинтезу. Енергія Сонця в основному йде на випаровування і підтримання температурного режиму земної поверхні. Отже, тільки близько 40–50% енергії Сонця проникає в біосферу, і лише 1–2% сонячної енергії переводиться у синтезовану органічну речовину.

Зелені рослини та ціанобактерії впливають на газовий склад атмосфери. Весь кисень сучасної атмосфери є продуктом фотосинтезу. Формування атмосфери повністю змінило стан земної поверхні, зробило можливим появу аеробного дихання. Надалі в процесі еволюції, після утворення *озонового шару*, живі організми здійснили вихід на суходіл. Крім того, фотосинтез перешкоджає нагромадженню  $\text{CO}_2$ , захищає планету від перегрівання.

Отже, фотосинтез має планетарне значення, забезпечуючи існування живої природи планети Земля.



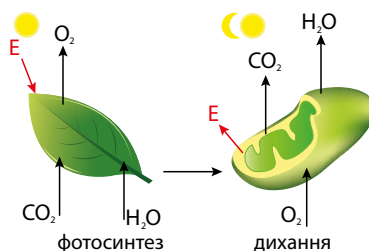
### **ДІЯЛЬНІСТЬ**

#### **Завдання на порівняння**

За допомогою таблиці порівняйте фотосинтез із аеробним диханням та зробіть висновок про взаємозв'язок пластичного й енергетичного обміну в клітинах рослин.

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОСИНТЕЗУ І АЕРОБНОГО ДИХАННЯ

Ознака	Фотосинтез	Аеробне дихання
Тип метаболізму		
Форма запасання енергії		
Використання кисню		
Використання CO <sub>2</sub>		
Використання світла		
Місце проходження		
Як змінюється суха маса?		
В яких клітинах відбувається?		



### Завдання на застосування знань

Розпізнайте і назвіть рівні організації процесу фотосинтезу у рослин. Назвіть пристосування рослинного організму до фотосинтезу на різних рівнях його організації.



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Література

**К. А. Тимірязєв (1843–1920)**, один із найвідоміших дослідників фотосинтезу, є автором рядків: «*Мікроскопічне зелене зерно хлорофілу є фокусом, точкою у світовому просторі, в яку з одного кінця притікає енергія Сонця, а з іншого беруть початок всі прояви життя на Землі. Воно справжній Прометей, який викрав вогонь з неба. Викрадений ним промінь сонця горить і в мерехтливій безодні, і в сліпучій іскрі електрики. Промінь сонця надає руху і маховику гігантської парової машини, і пензлю художника, і перу поета*». Застосуйте свої знання й доведіть твердження про те, що промінь Сонця надає руху перу поета.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке фотосинтез? 2. Що таке хлорофіл? 3. Що таке світлова фаза фотосинтезу? 4. Що таке темнова фаза фотосинтезу? 5. Що таке первинна органічна речовина? 6. Як фотосинтез визначає аеробне дихання організмів?
7 – 9	7. Якими є умови фотосинтезу? 8. Які особливості світлової й темної фаз фотосинтезу? 9. В чому полягає планетарна роль фотосинтезу?
10 – 12	10. В чому подібність і відмінність фотосинтезу і аеробного дихання?

*Клітина – це окремий мікрокосм з чіткими межами, всередині якого відбуваються дивні й неперервні перетворення.*

*К. Свенсон*

## § 21. ХЕМОСИНТЕЗ. ПОТІК РЕЧОВИН, ЕНЕРГІЇ ТА ІНФОРМАЦІЇ З КЛІТИНИ

**Основні поняття й ключові терміни:** ХЕМОСИНТЕЗ. ПЛАСТИЧНИЙ ОБМІН.

**Пригадайте!** Що таке обмін речовин, енергії та інформації?



### Знайомтеся!

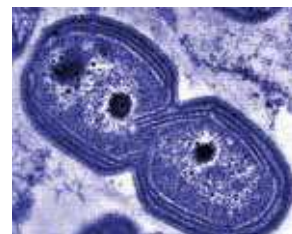
**Сергій Миколайович Виноградський** (1856–1953) – геніальний український мікробіолог, вперше довів, що клітини здатні утворювати органічні речовини не тільки за рахунок світлової енергії, а й за допомогою хімічної енергії окисно-відновних реакцій. Енергія, що утворюється при цьому, використовується для фіксації вуглекислого газу й утворення глюкози. Відкрите ним явище було названо хемосинтезом. 25 травня 2012 р. в м. Городку на Хмельниччині було відкрито пам'ятник знаменитому співвітчизнику.



### ЗМІСТ

#### **Які особливості та значення хемосинтезу?**

**ХЕМОСИНТЕЗ** – процес утворення органічних речовин із неорганічних завдяки енергії, яка вивільняється під час перетворення неорганічних речовин. Цей процес здійснюють хемоавтотрофні бактерії: нітрифікуючі бактерії (окиснюють амоніак до нітритної, а потім до нітратної кислоти), залізобактерії (перетворюють сполуки двовалентного Феруму на сполуки тривалентного Феруму) та сіркобактерії (окиснюють сірководень до сульфатів) (іл. 50). Вивільнена енергія акумулюється в клітинах бактерій у формі АТФ. Хемосинтез відбувається аналогічно темновій фазі фотосинтезу. Особливостями хемосинтезу, які відрізняють його від фотосинтезу, є те, що цей процес: а) здійснюється без участі світла; б) відбувається з використанням кисню, тобто це аеробний процес. Джерелом активного Гідрогену для відновлення НАДФ<sup>+</sup>, як і у фототрофів, є вода.



Іл. 50. Нітрифікуюча бактерія нітросомонас (*Nitrosomonas europaea*)

У планетарному масштабі хемосинтез становить не більш ніж 1% фотосинтезу, проте він має велике значення для біологічного колообігу та геохімічних перетворень. Значення хемотрофів є важливим в природі, оскільки вони забезпечують колообіг речовин (нітрифікуючі бактерії), беруть участь в утворенні гірських порід (сіркобактерії, які утворюють вільну сірку), спричиняють корозію металів (залізобактерії). Хемоавтотрофні організми можуть жити в океанах на великих глибинах, де є отруйний сірководень. Вони окиснюють його і отримують органічні речовини для життєдіяльності. Хемосинтезуючі бакте-



рії, що окиснюють сполуки Феруму, Мангану, поширені й у прісних водоймах. Імовірно, що саме з їх участю упродовж мільйонів років на дні боліт й озер утворилися поклади залізних та манганових руд.

Отже, хемосинтез є важливим для природи процесом пластичного обміну, що здійснюється без світла з використанням кисню.

### Які базові принципи синтетичних процесів у клітинах та організмах?

**ПЛАСТИЧНИЙ ОБМІН, або анаболізм** (від грец. *анаболе* – підйом), – *сукупність процесів синтезу органічних речовин, що відбуваються в живому з використанням енергії*. Основними процесами синтезу, з якими ви ознайомилися, є фотосинтез, хемосинтез, біосинтез білків, біосинтез ДНК і РНК.

Для синтетичних процесів пластичного обміну потрібна енергія, тобто спостерігається його *енергозалежність*. Автотрофні організми здійснюють біосинтез із неорганічних речовин (води і  $\text{CO}_2$ ), використовуючи енергію світла (фотоавтотрофи) або енергію окисно-відновних реакцій (хемоавтотрофи). Гетеротрофні організми здійснюють синтез власних органічних речовин, використовуючи готові поживні речовини як джерело простих органічних сполук та енергії. Тому пластичний обмін взаємопов'язаний із енергетичним обміном, оскільки для синтезу потрібні енергія та прості молекули, що утворюються в реакціях розпаду. Але в будь-якому випадку енергія, що використовується для процесів пластичного обміну, є хімічною енергією АТФ.

Усі живі організми потребують певних речовин та енергії АТФ для *синтезу власних органічних речовин*. Цей принцип є життєво важливим для клітини, оскільки власні органічні молекули не спричиняють імунних реакцій відторгнення, мають певне значення в життєдіяльності, взаємопов'язані з іншими молекулами. Все це зумовлює генетичну визначеність переважної більшості реакцій біосинтезу.

Для процесів пластичного обміну характерна *етапність перебігу*, що пояснюється ускладненням продуктів і використанням безпечної кількості енергії. Так, процеси фотосинтезу здійснюються в світловій й темновій фазах, процесами біосинтезу білків є транскрипція і трансляція.

У процесах пластичного обміну беруть участь майже всі компоненти клітини, але складні анаболічні процеси відбуваються за участі спеціалізованих клітинних структур. Так, фотосинтез у рослин відбувається в хлоропластах, синтез білків – на рибосомах, біосинтез ліпідів – у цистернах гладкої ЕПС. Процеси біосинтезу можуть відбуватися і в цитоплазмі, але лише за певних умов, що забезпечують незалежність перебігу.

Отже, базовими принципами анаболізму є енергозалежність, використання АТФ, спрямованість на синтез власних органічних речовин та етапність проходження.

### Як відбувається виділення та перехід речовин з клітини?

Життєдіяльність клітин супроводжується утворенням найрізноманітніших речовин. Так, по завершенні *дихання* утворюються кінцеві продукти окиснення  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , під час фотоавтотрофного

живлення виділяється молекулярний кисень, для позаклітинного травлення секретуються назовні ферменти. Для пригнічення життєдіяльності інших клітин бактеріальні чи грибні клітини виділяють антибіотики, під час руху клітин посилюється тепловіддача та ін. Хвороботворна бактерія *Helicobacter pylori* використовує систему секреції, щоб уприснути спеціальний білок в епітеліальні клітини шлунка.

Різноманітність способів і речовин, що виділяються клітинами, поєднано у три типи виділення: 1) екскреція речовин; 2) секреція речовин; 3) внутрішньоклітинне виділення.

**Екскреція** (від лат. *excretio* – виділення) – сукупність процесів, спрямованих на виведення невикористаних продуктів обміну речовин й енергії, а також чужорідних і шкідливих для клітини речовин. Ці сполуки можуть виділятися як у незміненому вигляді (наприклад,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), так і після значних перетворень (наприклад, розщеплення гідроген пероксиду, перетворення амоніаку на сечовину). Екскрецію здійснюють органели клітин або органи виділення у багатоклітинних організмів.

**Секреція** (від лат. *secretio* – відокремлення) — процеси утворення та виділення клітиною речовин-секретів. Зокрема клітинами секретуються різноманітні сигнальні молекули, антибіотичні речовини для захисту від патогенів або конкурентів, екзоферменти для травлення, поживні речовини тощо. Клітинна секреція характерна для всіх живих клітин.

Своєрідним способом виділення є **внутрішньоклітинне виділення** та ізоляція переведених у важкорозчинну форму продуктів обміну (наприклад, в уратних клітинах комах відкладається сечова кислота, в хлорогеновних клітинах дощових черв'яків відкладається гуанін чи сечова кислота). Органічні кислоти, які можуть завдати шкоди клітині, здебільшого зв'язуються з катіонами і відкладаються у вигляді кристалічних включень у цитоплазмі.

Перехід речовин з клітин здійснюється шляхом дифузії через клітинні пори, полегшеної дифузії за допомогою білків-переносників, шляхом екзоцитозу. Важливу роль у виділенні відіграють везикули. Це відносно невеликі клітинні органели, відокремлені від цитозоля ліпідною мембраною. Якщо везикула має один шар ліпідів, вона називається одноламелярною, якщо більше – багатоламелярною. Везикула слугує для збереження, транспортування та переробки поживних речовин, продуктів та відходів клітини.

Отже, значення виділення полягає у підтриманні гомеостазу клітини, захисті органел та важливих речовин від шкідливого впливу небезпечних речовин чи клітин, комунікації з іншими клітинами, забезпеченні регуляції функцій.



## **ДІЯЛЬНІСТЬ**

### **Завдання на порівняння**

Порівняйте хемосинтез і фотосинтез та сформулюйте висновок про подібність та відмінності цих процесів пластичного обміну.

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХЕМО- І ФОТОСИНТЕЗУ

Ознака	Фотосинтез	Хемосинтез
Місце в клітині		
Тип живлення		
Джерело енергії		
Вихідні речовини		
Кінцеві речовини		
Наявність хлорофілу		
Джерело Гідрогену		
Джерело Карбону		

### Біологія + Екологія

*Печера Мовіле* – печера на території Румунії, що відома своєю унікальною екосистемою. Життя в печері розвивалось окремо від зовнішнього світу впродовж 5,5 млн років, і його основою є хемосинтез. Ланцюги живлення ґрунтуються на хемосинтезі метано- і сіркобактерій. Цікаво, які екологічні умови печери є сприятливими для хемосинтезу?



Мешканці печери Мовіле



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Екологія

Дослідники з британського Університету Лафборо виявили, що *росичка круглолиста* (*Drosera rotundifolia*) – хижа рослина, яка стає вегетаріанкою внаслідок забруднення навколишнього середовища, спричиненого діяльністю людини. Справа в тому, що збільшення рівня Нітрогену в ґрунті в результаті спалювання вугілля означає, що рослині більше не потрібно ловити комах для отримання найважливіших поживних речовин, необхідних для виживання. А як зміниться пластичний обмін росички в зв'язку із зміною її живлення?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке хемосинтез? 2. Наведіть приклади хемоавтотрофних організмів. 3. Що таке пластичний обмін? 4. Назвіть основні синтетичні процеси клітин й організмів. 5. Що таке екскреція клітин? 6. Що таке секреція клітин?
7 – 9	7. Які особливості хемосинтезу? 8. Які базові принципи синтетичних процесів у клітинах й організмах? 9. Як відбувається потік речовин з клітини?
10 – 12	10. Порівняйте процеси фотосинтезу й хемосинтезу. Що є спільного й відмінного між фото-і хемосинтезом?

## Узагальнення теми 3. ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ

**КЛІТИНА** (від лат. *cellula* – комірка) – елементарна відкрита біологічна система із власним метаболізмом та процесами життєдіяльності, що здійснюються у взаємозв'язку із навколишнім середовищем. Основними принципами життєдіяльності клітини є відкритість, упорядкованість, взаємозв'язок із зовнішнім середовищем, структурно-функціональна цілісність (табл. 4).

Таблиця 4. ОКРЕМІ ПРОЦЕСИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ КЛІТИНИ

Назва	Значення	Участь клітинних структур
<b>I. Надходження речовин, енергії та інформації в клітину</b>		
Живлення	Надходження поживних речовин (автотрофне, гетеротрофне й міксотрофне)	Клітинна мембрана, хлоропласти
Дихання	Надходження O <sub>2</sub> й видалення CO <sub>2</sub> (анаеробне й аеробне дихання)	Клітинна мембрана, гіалоплазма, мітохондрії
Травлення	Розщеплення шляхом гідролізу поживних речовин до малих біомолекул (поза- та внутрішньоклітинне)	Лізосоми, травні вакуолі
Транспортування речовин	Надходження й переміщення в клітині речовин, енергії (пасивне та активне транспортування)	Клітинна мембрана, цитоплазма
Подразливість	Сприйняття впливів середовища (циторецепція)	Рецептори плазматичної мембрани
<b>II. Внутрішньоклітинні перетворення речовин, енергії та інформації, або метаболізм</b>		
Катаболізм	Розщеплення складних речовин на прості з вивільненням енергії (гліколіз, ліполіз, протеоліз, бродіння, кисневе окиснення)	Цитозоль, мітохондрії
Анаболізм	Синтез складних речовин із простих з використанням енергії (фотосинтез, хемосинтез, біосинтез білків, ліпідів)	Рибосоми, ЕПС, комплекс Гольджі
<b>III. Перехід речовин, енергії та інформації з клітини</b>		
Екскреція	Видалення з клітини або ізоляція в клітині надлишкових, чужорідних, невикористаних речовин	Плазматична мембрана, ЕПС, екскреторні міхурці
Секреція	Виділення речовин-секретів для взаємодії із середовищем	Плазматична мембрана, ЕПС, секреторні міхурці
Комунікація	Перехід інформації з клітини для взаємодії із середовищем	Білки плазматичної мембрани, міжклітинні контакти

Життєдіяльність клітин як біологічної системи забезпечується сукупністю взаємопов'язаних упорядкованих у часі й просторі процесів, що здійснюються певними клітинними структурами. Ці процеси життєдіяльності організують неперервний потік речовин, енергії та інформації у клітину, в клітині й з клітини.

## Самоконтроль знань

### Тест-застосування 3

#### ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИН

Перед вами нейрон. Застосуйте свої знання і за допомогою відповідей на тестові завдання дайте характеристику життєдіяльності нервової клітини.



#### I. Завдання з однією правильною відповіддю

1. Який тип живлення у нейрона?  
**A** автотрофне      **Б** гетеротрофне      **В** міксотрофне
2. Які малі біомолекули є основним джерелом енергії для нейрона?  
**A** глюкоза      **Б** жирні кислоти      **В** амінокислоти      **Г** нуклеотиди
3. Як називаються утвори нейронів для комунікації з іншими нервовими клітинами?  
**A** десмосоми      **Б** плазмодесми      **В** синапси      **Г** аксони
4. Який основний шлях розщеплення органічних речовин у нейрона?  
**A** гідроліз глюкози      **В** гліколіз  
**Б** бродіння      **Г** аеробне розщеплення
5. Які структури транспортують сигнали від тіла нейрона до м'язів чи нейронів?  
**A** синапси      **В** дендрити  
**Б** аксони      **Г** мієлінова оболонка
6. У якій формі енергії передаються нервові сигнали по нейронних сітках?  
**A** хімічній      **Б** механічній      **В** електричній      **Г** світловій
7. Що є кінцевими продуктами окиснення глюкози у нейронів?  
**A**  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$       **В** сечова кислота  
**Б**  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$       **Г** піровиноградна кислота
8. Назвіть сполуки, що утворюються нейронами гіпоталамуса.  
**A** антибіотики      **Б** фітогормони      **В** нейрогормони      **Г** гістогормони
9. Яка клітинна структура транспортує речовини всередині нейрона?  
**A** ЕПС      **Б** комплекс Гольджі      **В** цитоскелет      **Г** рибосоми
10. Де в нейронах відбуваються основні катаболічні процеси?  
**A** у пластидах      **В** у цистернах ЕПС  
**Б** на рибосомах      **Г** у мітохондріях

#### II. Завдання на встановлення відповідності

11. Установіть відповідність між процесами життєдіяльності нейронів і клітинними структурами.

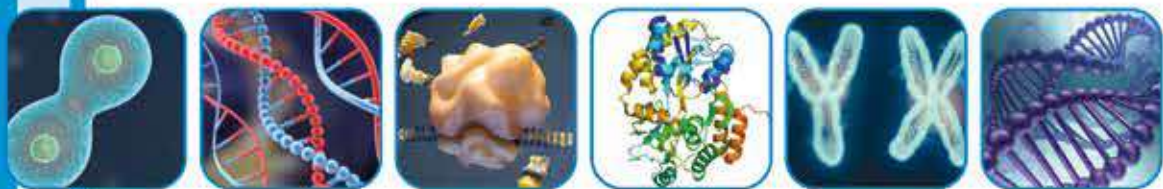
1 аеробне розщеплення	<b>A</b> рибосоми
2 синтез білків	<b>Б</b> плазмалема
3 генерація нервових імпульсів	<b>В</b> гранулярна ЕПС
4 утворення нейросекретів	<b>Г</b> мітохондрії

#### III. Завдання на вибір правильної комбінації відповідей

12. Виберіть ознаки, що характеризують міжнейронний контакт.

<b>A</b> Речовини, що передають сигнал	<b>Б</b> Утвори, що вивільняють речовини	<b>В</b> Утвори, що приймають речовини
1 нейрогормони	1 міхурці-везикули	1 ефектори
2 нейромедіатори	2 мітохондрії	2 рецептори
3 алкалоїди	3 рибосоми	3 нейрофібрили
4 фітонциди	4 тільця Нісля	4 медіатори





## Тема 4. ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

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

*Річард Докінз*

### § 22. ГЕН ТА ЙОГО БУДОВА

**Основні поняття й ключові терміни:** ГЕН. Структурні гени. Регуляторні гени.

**Пригадайте!** Що таке ядро?



#### Новини науки

- Під час досліджень вченими було виявлено гени, які впливають на рівень інтелекту.
- Вчені знайшли групу генів, що дають змогу деяким людям виглядати на 10 років молодше за свій вік.
- Вчені виявили в організмі людини гени, що відповідають за регенерацію органів і тканин.



Що ж таке гени?



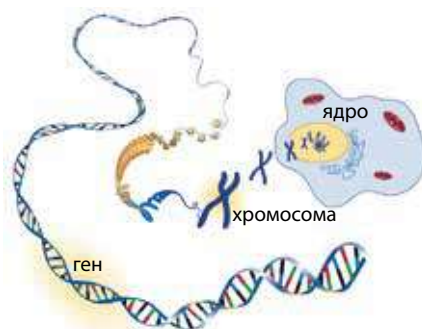
#### ЗМІСТ

#### **Як організована спадкова інформація в клітинах?**

Окрім інформації, яку клітина отримує із середовища, у неї є власна внутрішня спадкова інформація. Клітина її отримала від материнської клітини, і вона закодована у вигляді певної послідовності нуклеотидів у генах (іл. 51).

**ГЕН** (від грец. *генос* – рід, походження) – це ділянка ДНК, що містить інформацію про первинну структуру молекули білка або РНК і визначає можливість розвитку ознаки. Карі очі людини, блакитний колір крові кальмара, товстий стовбур баобаба, отруйність мухомора зеленого – все це визначається властивостями закодованих білків, що синтезуються в клітинах.

Уявлення про ген як про спадковий фактор істотно змінювалися й доповнювалися. У 1865 р. Г. Мендель довів існування спадкових «задатків», які данський генетик **В. Йогансен** в 1909 р. назвав генами.



Іл. 51. Рівні організації спадкової інформації (ядро – хромосома – ген – ДНК)

У першій третині ХХ ст. завдяки генетичним дослідженням дрозодфіл *Т.Х.Морган* установив, що гени лінійно розташовані в хромосомах ядра, вони можуть зазнавати мутацій, і під час передачі від батьків до нащадків відбувається їх перерозподіл – рекомбінація (іл. 52).

На початку 40-х років ХХ ст. дослідження гриба нейроспори (*Neurospora crassa*) дало змогу сформулювати поняття про гени як ділянки ДНК, а відкриття Дж. Уотсоном і Ф. Кріком просторової структури ДНК у 1953 р. розпочало бурхливий розвиток *молекулярної біології гена*. Незабаром було розкрито способи запису генетичної інформації (Р.В. Холлі, Г.Г. Корана, М.В. Ніренберг) і механізми її збереження та реалізації (С. Очоа, А. Корнберг). У подальшому були досліджені особливості організації генетичного матеріалу у прокариотів, еукаріотів і вірусів, клітинних органел – мітохондрій і хлоропластів, механізми контролю діяльності генів (Ф. Жакоб, А. Львов, Ж. Моно), відкрито мобільні генетичні елементи (Б. Мак-Клінток), переривчасту структуру генів (Р. Робертс, Ф. Шарп), розшифровано структуру геномів ряду організмів.

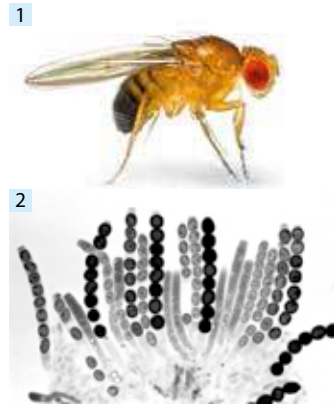
Уже понад 150 років науковці вивчають гени, зроблені наукові відкриття, що пояснюють структуру, властивості, взаємодію генів, але пошуки відповідей на запитання «Що таке ген?» тривають.

Отже, спадкова інформація записана на ДНК у вигляді генів, гени – в хромосомах, хромосоми організовані у ядрі, а ядро завдяки цій генетичній інформації організовує життєдіяльність клітини.

### Які основні положення сучасної теорії гена?

Сучасна теорія гена ґрунтується на засадах нового напрямку, який Дж. Уотсон (1928) назвав *молекулярною біологією гена*. Наукові знання, що сформувалися після багаторічних досліджень основ спадковості, узагальнено у вигляді теорії гена. Основні положення цієї теорії такі.

1. Ген займає певну ділянку (локус) у хромосомі. Хромосоми є матеріальними носіями спадковості.
2. Ген – частина молекули ДНК, яка має певну послідовність нуклеотидів і є функціональною одиницею спадкової інформації. Кількість нуклеотидів, які входять до складу різних генів, є різною.
3. Всередині гена можуть відбуватися *рекомбінації* (перерозподіл генетичного матеріалу) і *мутації* (зміни генетичного матеріалу).
4. Існують *структурні* й *регуляторні гени*. **Структурні гени** кодуєть синтез білків. **Регуляторні гени** контролюють і спрямовують діяльність структурних генів.



Іл. 52. Дрозодфіла чорночерева (1) і нейроспора густа (2) – модельні організми для генетичних досліджень



Іл. 53. Дж. Уотсон – один із авторів відкриття просторової структури ДНК

5. Ген не бере безпосередньої участі в синтезі білка, він є матрицею для утворення посередників – різних молекул РНК, які безпосередньо беруть участь у синтезі.
6. Розташування триплетів із нуклеотидів у структурних генах є відповідним (колінеарним) до амінокислот у поліпептидному ланцюзі, який кодується даним геном.
7. Молекули ДНК здатні до *репарації*, тому не всі пошкодження гена призводять до мутації.
8. *Генотип* складається з окремих генів, але функціонує як єдине ціле. На функцію генів впливають чинники як внутрішнього, так і зовнішнього середовища.

Отже, поняття ген є центральним для молекулярної біології й молекулярної генетики – наук, що дають змогу зрозуміти сутність життя на молекулярному рівні його організації.

### Якими є функції, властивості й різноманітність генів?

Ген як одиниця спадковості забезпечує збереження спадкової інформації, бере участь у реалізації самоподвоєння інформації та регуляції метаболізму в клітині. Ці функції генів визначаються такими їхніми властивостями, як:

- *специфічність* – ген містить спадкову інформацію лише про певний продукт або регулює синтез лише одного конкретного білка;
- *стабільність* – гени здатні зберігати властивий їм порядок розташування нуклеотидів;
- *лабільність* – гени здатні до змін і можуть мутувати;
- *взаємодія генів* – гени здатні впливати один на одного за участі білків, що є продуктами реалізації закодованої у них спадкової інформації;
- *множинна дія генів* – один ген може впливати на розвиток декількох ознак;
- *полімерна дія генів* – декілька генів можуть впливати на формування однієї ознаки.

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*. Розміри регуляторних генів, як правило, незначні – кілька десятків пар нуклеотидів, структурних – сотні й тисячі нуклеотидів. За характером кодуєчої інформації виокремлюють білок-кодувальні гени і РНК-кодувальні гени. За активністю розрізняють конститутивні й неконститутивні гени. *Конститутивні гени* – це гени, що постійно є активними, тому що білки, які ними кодуються, необхідні для постійної клітинної діяльності. *Неконститутивні (адаптивні) гени* – це гени, що стають активними якщо білок, який вони кодують, потрібний клітині.

Отже, **ГЕН** – це цілісна одиниця спадкового матеріалу у вигляді ділянки РНК чи ДНК, розташованого у ядрі (нуклеоїді) чи цитоплазмі, що кодує первинну структуру поліпептидного ланцюга чи молекул рРНК і тРНК або взаємодіє з регуляторним білком.





## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Зіставте запропоновані визначення із поняттями, заповніть табличку відповідей та отримайте назву терміна, яким позначають процес реалізації спадкової інформації.

1	2	3	4	5	6	7	8	9

1	Функціональна одиниця спадкової інформації
2	Матеріальні носії спадкової інформації
3	Малі молекули, що є мономерами нуклеїнових кислот
4	Зміна генетичного матеріалу
5	Механізми виправлення пошкоджень ДНК
6	Перерозподіл генетичного матеріалу
7	Ділянка розташування гена в хромосомі
8	Сукупність генів організму
9	Сукупність реакцій синтезу й розпаду речовин

E <sub>1</sub>	Ген
E <sub>2</sub>	Рекомбінація
I	Генотип
K	Хромосоми
П	Мутація
P	Репарація
C <sub>1</sub>	Нуклеотиди
C <sub>2</sub>	Локус
Я	Метаболізм

### Біологія + Поезія

У поета Ліни Костенко у вірші «Рана ведмедя» є такі рядки:

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



Висловіть свої судження щодо практичного значення знань про гени в різних галузях діяльності людини.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Наука

Уперше штучний ген синтезував індійський молекулярний біолог Х.Г. Корана (1922–2011) у 1970 р. Це був ген аланінової тРНК дріжджів, що складався із 77 нуклеотидів. У перших дослідах він не виявляв функціональної активності. У 1976 р. науковцю вдалося синтезувати ген тирозинової тРНК кишкової палички, який після внесення у бактеріальну клітину функціонував як природний. Яке наукове значення штучного синтезу генів?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке гени? 2. Яка хімічна сполука містить гени? 3. Де містяться гени в клітинах? 4. Назвіть типи генів. 5. Назвіть основні функції генів. 6. Назвіть основні властивості генів.
7 – 9	7. Як організована спадкова інформація в клітинах? 8. Які основні положення сучасної теорії гена? 9. Опишіть функції, властивості й різноманітність генів.
10 – 12	10. Яке наукове й практичне значення мають дослідження генів?

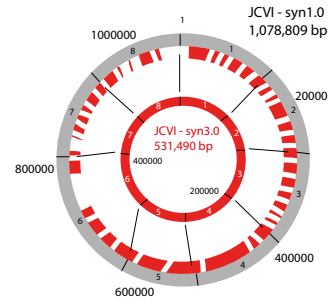
## § 23. ГЕНОМ ПРО- ТА ЕУКАРІОТІВ

Основні поняття й ключові терміни: **ГЕНОМ. Оперон. Екзони. Інтрони.**  
**Пригадайте!** Що таке гени?



### Новини науки

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



### ЗМІСТ

#### Як організований геном організмів?

**ГЕНОМ** – сукупність спадкової інформації у клітинах організму певного виду. Геном поєднує основні компоненти, якими є структурні й регуляторні гени та нефункціональні (некодувальні) послідовності ДНК. Геноми клітинних організмів побудовані з ДНК, і лише окрема група вірусів мають геноми із РНК. Розділ біології, що вивчає геноми, називається *геномікою*.

Спадкова інформація клітин міститься не лише в нуклеоїді та ядрі, а й у структурах цитоплазми. У прокариотів – це плазмиди (малі молекули ДНК в цитоплазмі), в клітинах еукаріотів – мітохондрії й хлоропласти, що мають власні ДНК. Тому в клітинах еукаріотів окрім ядерного геному розрізняють ще мітохондріальний й пластидний геноми.

Розмір геному має тенденцію до збільшення в міру ускладнення організмів. Так, геном кишкової палички налічує 4,6 млн, геном дрозофіли – 130 млн, а геном людини – 3,2 млрд пар нуклеотидів. Зростання розмірів геному супроводжується збільшенням кількості генів. Так, в кишкової палички структурних генів близько 1 тисячі, у дрозофіли – до 10 тисяч, а в людини – 20–25 тисяч. Проте факти вказують на те, що розмір геному не завжди відповідає еволюційній складності організму. Так, найбільший геном виявлено в рослині вороняче око (*Paris japonica*). У ньому 149 млрд пар нуклеотидів (іл. 54). До цього відкриття найбільшим геномом вважався геном дводишної риби протоптеруса (*Protopterus aethiopicus*) – 130 млрд пар нуклеотидів.



Іл. 54. Вороняче око – рослина з найбільшим геномом

Крім того, встановлено, що геном складається з послідовностей нуклеотидів, що різняться своєю унікальністю. Розрізняють унікальні (представлені в геномі в єдиному екземплярі або в кількох копіях) та повторювані (трапляються сотні й тисячі разів, а так звані сателітні ДНК – до 10 млн разів) послідовності.

Дослідження різних клітин й організмів показало, що більшу частину геному становить надлишкова, або нефункціональна, ДНК, що не містить інформації про синтез білків. Так, у кишкової палички частка такої ДНК становить 15–20 %, у дрізофіли – 90–95 %, а в людини – аж 95–98 %. Яке ж значення цієї ДНК у геномі? Виявилось, що вона виконує важливу регуляторну функцію: має послідовності нуклеотидів для організації початку синтезу РНК, захисту кінцевих ділянок хромосом, правильного розподілу хромосом під час поділу клітин тощо.

Отже, геном утворений функціональними й нефункціональними послідовностями ДНК і РНК, які здійснюють структурну й регуляторну функції.

### Які особливості організації генів прокариотів?

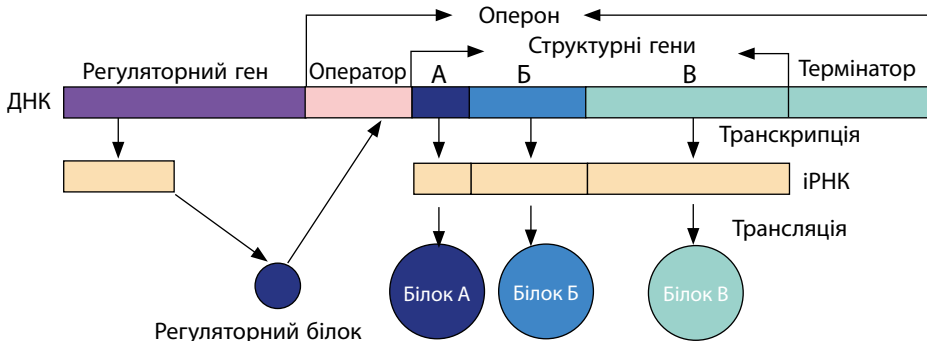
У прокариотів генетичний матеріал має оперонну організацію. Концепцію оперона запропонували в 1961 р. французькі вчені **Франсуа Жакоб** і **Жак Моно**, за що отримали Нобелівську премію (1965 р.).



Іл. 55. Жак Моно (ліворуч) та Франсуа Жакоб

**Оперон** (від лат. *operor* – працюю) – функціональна одиниця організації геному прокариотів. До складу оперона входять один або декілька **структурних генів**.

Ці гени відповідають за синтез білків, залучених до одного ланцюжка біохімічних перетворень (іл. 56). Так, лактозний оперон кишкової палички містить спадкову інформацію про три білки, що беруть участь у поглинанні та розщепленні лактози. Структурні гени прокариотів не мають мозаїчної структури, тобто в їхньому складі немає розподілу на кодувальні (екзони) й некодувальні (інтрони) ділянки.



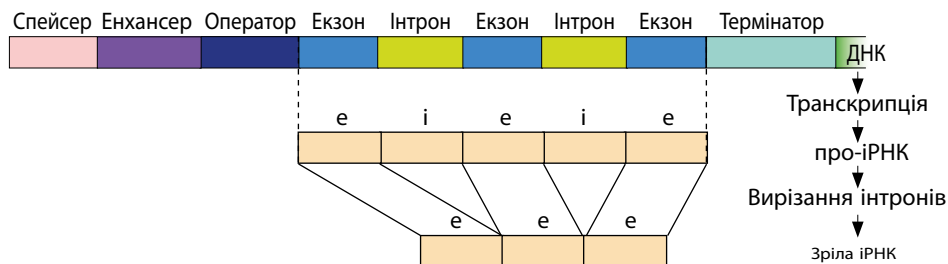
Іл. 56. Організація лактозного оперона в кишкової палички

Крім структурних генів оперони мають *регуляторні ділянки* (оператор, термінатор), за рахунок яких забезпечується активність оперона як цілісної системи. На роботу оперона впливає самостійний *регуляторний ген* (не плутати з регуляторними ділянками), що синтезує відповідний регуляторний білок і не обов'язково розташовується поруч з опероном. З появою в навколишньому середовищі лактози її молекули зв'язують цей регуляторний білок, перешкоджаючи його приєднанню до оператора. Структурні гени переходять до активного стану й продукують одну молекулу іРНК для синтезу трьох білків. Таким чином, оперонна організація геному прокаріотів забезпечує упорядковану й регульовану активність генів залежно від умов середовища та діяльності інших генів.

Отже, для генів прокаріотів властива оперонна організація та відсутність мозаїчної будови.

### Які відмінності організації генів еукаріотів?

Гени еукаріотів мають складнішу будову (іл. 57). По-перше, в структурній частині генів є ділянки, що кодують спадкову інформацію – **екзони** (від англ. *expression* – вираження), і ділянки, що їй не кодують – **інтрони** (від англ. *intervening sequence* – проміжна послідовність). Кількість і розташування інтронів специфічні для кожного гена. Така будова структурних генів еукаріотів називається мозаїчною. Науковці вважають, це може бути механізмом, який обмежує мутаційний процес. При цьому інтрони виконують функцію «пасток» мутацій.



іл. 57. Організація геному еукаріотів

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

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

Отже, гени еукаріотів відрізняються більшими розмірами, наявністю мозаїчної структури та ускладненням регуляторних генів і елементів.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

Застосуйте свої знання і визначте ознаки, за якими порівнюють геноми кишкової палички та людини. Зробіть висновок про взаємозв'язок організації геному із рівнем складності організмів.



### ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНОМІВ ПРО- ТА ЕУКАРІОТІВ

Ознака	Геном прокариотів (на прикладі кишкової палички)	Геном еукаріотів (на прикладі людини розумної)
	У вигляді нуклеоїда та плазмід	В ядрі та мітохондріях
	Як правило, одна, має вигляд кільця	46, кожна з яких має вигляд лінійної структури й утворює одну хромосому
	Близько 1 000	20 – 25 000
	4,6 млн пар нуклеотидів	3,2 млрд пар нуклеотидів
	15 – 20 %	95 – 98 %
	Оперонна організація, відсутність мозаїчності структурних генів	Відсутність оперонної організації, мозаїчна будова структурних генів, ускладнення регуляторних генів, збільшення спейсерів

### Практична справа

Молекула про-іРНК складається з 1800 нуклеотидів, з яких на інтрони припадає 600 нуклеотидів. Визначте довжину і молекулярну масу зрілої іРНК.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Наука

Проект «Геном людини» (англ. *Human Genome Project*) – міжнародний проект наукових досліджень для визначення послідовностей ДНК, розташування генів людини в хромосомах та їх функцій. Проект розпочався в 1990 р. і лише у 2006 р. геном був розкодований практично повністю, хоча й нині ще здійснюють додатковий аналіз деяких його ділянок. Оцініть практичне й наукове значення проекту «Геном людини» та назвіть галузі застосування цих знань.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке геном? 2. Які функції геному? 3. Що таке оперон? 4. Назвіть особливості організації генів прокариотів. 5. Що таке екзони та інтрони? 6. Назвіть особливості генів еукаріотів.
7 – 9	7. Як організований геном організмів? 8. Які особливості організації генів прокариотів? 9. Які відмінності організації генів еукаріотів?
10 – 12	10. В чому полягає визначна роль геному клітини?

У кожній хромосомі є сотні ознак, закодованих лінійними рядами генів, подібно до дорогоцінних перлин у дивному намисті життя.

Від автора

## § 24. ХРОМОСОМИ, ЇХНІ ФУНКЦІЇ ТА БУДОВА

Основні поняття й ключові терміни: **ХРОМОСОМИ. Каріотип.**

**Пригадайте!** Що таке хроматин?



### Знайомтеся!

Досить часто запорукою наукового відкриття є поєднання якостей науковця з удалим вибором об'єкта дослідження. Перед вами автори відкриття ролі хромосом у спадковості.

**Томас Хант Морган** (1866–1945) – видатний біолог, один із засновників сучасної генетики, лауреат Нобелівської премії у галузі фізіології та медицини (1933).

**Дрозофіла чорночерева** (*Drosophila melanogaster*) (тривалість життя при +25 °С – близько 14 днів) – комаха ряду Двокрилі, яка є незамінним модельним об'єктом генетичних досліджень. У неї всього 4 пари хромосом ( $2n=8$ ).



### ЗМІСТ

#### Яка роль хромосом у спадковості?

**ХРОМОСОМИ** (від грец. *хроматос* – забарвлений, *сома* – тільце) – структури клітин еукаріотів, що забезпечують збереження, розподіл та передачу спадкової інформації. Частіше за інших першовідкривачем хромосом називають німецького анатома В. Флеммінга (1843–1905). Саме він застосував анілінові барвники для обробки ядерних структур. Термін «хромосоми» в 1888 р. ввів у науковий обіг Г. Вальдеєр (1836–1921). Ці дослідження започаткували **цитогенетеку** – розділ, що вивчає роль хромосом у спадковості.

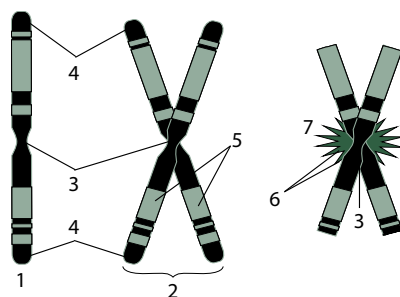
Хромосоми формуються з ядерного матеріалу хроматину перед поділом клітин. У їхньому складі основна частка припадає на ДНК та ядерні білки. Нуклеотиди ДНК кодують спадкову інформацію, а ядерні білки-гістони організують компактне просторове розташування молекул ДНК для зберігання цієї інформації. Перед поділом клітини однохроматидні хромосоми подвоюються, ущільнюються й стають двохроматидними. Відбуваються ці процеси для розподілу й передачі спадкової інформації наступному поколінню клітин.

Кількість хромосом у клітинах еукаріотів різних видів є різною і не залежить від рівня організації, а також не завжди вказує на філогенетичну спорідненість (табл. 5).

**Таблиця 5. КІЛЬКІСТЬ ХРОМОСОМ У ДЕЯКИХ ВИДІВ ЕУКАРІОТІВ**

Організм	Кількість
Малярійний плазмодій	2
Дрозофіла чорночерева	8
Муха кімнатна	12
Пирій	14
Помідори	24
Людина розумна	46
Шимпанзе	48
Рак річковий	118
Амеба протей	500
Радіолярія	1600

Основні функції хромосом взаємопов'язані з будовою. Для збереження, розподілу та передачі спадкової інформації в хромосомах наявні такі елементи будови, як сайти початку реплікації, центромери і теломери. *Сайти початку реплікації* – послідовність нуклеотидів, що визначає початок самоподвоєння молекули ДНК. *Центромера* – частина хромосоми, що поділяє її на два плеча. На ній розташовуються білки-кінетохори, до яких під час розподілу генетичного матеріалу прикріплюються нитки веретена поділу. *Теломери* – ділянки на кінцях лінійних хромосом, що перешкоджають їх з'єднанню між собою та відновленню за допомогою ферменту теломерази втрачених після поділу ділянок (іл. 58).



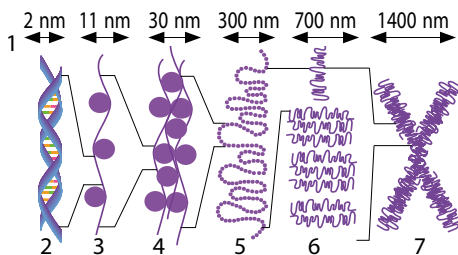
Іл. 58. Будова хромосоми: 1 – однохроматидна хромосома; 2 – двохроматидна хромосома; 3 – центромера; 4 – теломери; 5 – сестринські хроматиди; 6 – нитки веретена поділу; 7 – кінетохори

Отже, хромосоми є матеріальними носіями спадковості усіх еукаріотичних організмів, і їхні функції тісно взаємопов'язані з хімічним складом та будовою.

### Як відбуваються спіралізація та конденсація хромосом?

У кожній хромосомі міститься лише одна молекула ДНК, яка досягає декількох сантиметрів. Так, у людини довжина ДНК найбільшої хромосоми – близько 7 см, а загальна довжина всіх 46 молекул ДНК в одному ядрі клітини людини становить близько 2 м. Яким чином хромосоми поміщаються в мікроскопічному ядрі, розміром 5 мкм? Це досягається за рахунок **спіралізації** та **конденсації** (від лат. *condensatio* – ущільнення) хромосом, що забезпечує багаторівневу організацію хроматину (іл. 59). Можливості такої організації вражають. Так, у людини довжина розкрученої ДНК найменшої хромосоми становить близько 14 000 мкм, а її довжина після ущільнення – лише 2 мкм. Які ж є рівні організації хромосом?

Подвійна спіраль молекули ДНК на *нуклеосомному рівні* організації накручується на ядерні частинки-нуклеосоми, що складаються з 8–10 білкових молекул. Хроматин набуває вигляду намиста перлин (глобули білка діаметром 11 нм) на нитці (спіраль ДНК), а рівень ущільнення – 6–7 разів. *Нуклеомерний рівень* виникає завдяки *спіралізації* й формуванню нуклеомерної фібрили діаметром 30 нм із кроком спіралі в 6–8 нуклеосом. Рівень ущільнення нитки ДНК досягає 40 разів. *Хромомерний рівень* пов'язаний вже не із спіралізацією, а з утворенням поперечних петель вздовж хромо-



Іл. 59. Рівні організації хромосом: 1, 2, 3 – нуклеосомний; 4 – нуклеомерний; 5 – хромомерний; 6 – хроматидний; 7 – хромосомний

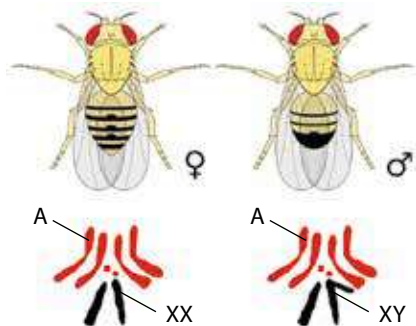
соми під час *конденсації*. Загальний рівень ущільнення досягає вже 1 000 разів, а діаметр такої структури – близько 300 нм. *Хроматидний рівень* виникає у зв'язку з подальшим укладанням структури нижчого рівня ієрархії та утворенням хроматиди діаметром 700 нм. *Хромосомний рівень* характерний для метафазної хромосоми, що має діаметр 1 400 нм.

Отже, організація хромосом має багаторівневий ієрархічний порядок, завдяки якому рівень загального ущільнення досягає 7 000 – 10 000 разів.

### Які особливості організації набору хромосом?

**Каріотип** – сукупність ознак хромосомного набору (кількість хромосом, форма, розміри). Кожному видові організмів властивий певний каріотип (іл. 60). Основними правилами організації каріотипу, є:

- *правило специфічності* – особливості каріотипу особин виду залежать від кількості, розмірів та форми хромосом;
- *правило стабільності* – кожний вид еукаріотичних організмів має певну і постійну кількість хромосом (наприклад, у дрозофіли – 8 хромосом, у людини – 46);
- *правило парності* – в диплоїдному наборі ( $2n$ ) кожна хромосома має собі пару, подібну за розмірами та формою. Такі хромосоми називаються **гомологічними**;
- *правило індивідуальності* – кожна пара гомологічних хромосом має свої особливості. Так, при порівнянні хромосомних наборів чоловічих та жіночих особин одного виду спостерігається відмінність в одній парі хромосом. Ця пара отримала назву **статевих хромосом**. Решта пар гомологічних пар хромосом, однакових в обох статей, мають загальну назву **аутосоми**;
- *правило наступності (неперервності)* – завдяки здатності хромосом до подвоєння під час поділу клітини у наступних поколіннях клітин одного виду зберігається не лише стале число хромосом, а й їхні індивідуальні особливості.



Іл. 60. Каріотип дрозофіли чорночеревої (самка –  $6A+XX$ , самець –  $6A+XY$ , де A – аутосоми, X, Y – статеві хромосоми)

Хромосомний набір буває *диплоїдним*, *гаплоїдним*, *поліплоїдним*. *Гаплоїдний набір* – це половинний набір, у якому всі хромосоми відрізняються одна від одної будовою (його умовно позначають  $1n$ ). *Диплоїдний набір* – це парний набір, у якому кожна хромосома має пару хромосому, подібну за будовою та розмірами ( $2n$ ). *Поліплоїдний набір* – це набір хромосом, кратний гаплоїдному ( $3n$ ,  $4n$ ,  $5n$  тощо).

Отже, клітини кожного виду еукаріотів мають свій особливий набір хромосом – каріотип.



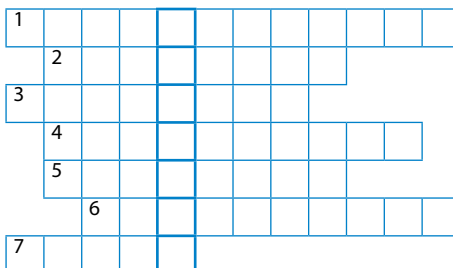


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Кросворд «Хромосоми»

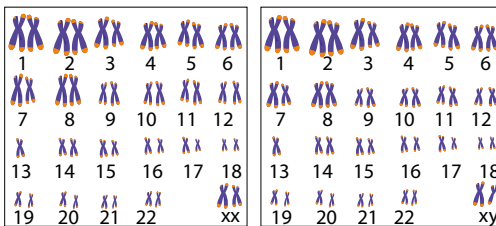
Отримайте у виділених клітинках назву білкових сполук, що беруть активну участь у конденсації хромосом на перших її етапах.

1. Наука про особливості хромосом.
2. Хромосомний набір.
3. Хромосоми набору, подібні в особин протилежної статі.
4. Первинна перетяжка хромосом.
5. Кінцеві ділянки хромосом.
6. Білки центромер, до яких прикріплюються нитки веретена поділу.
7. Органічні сполуки, що беруть участь в утворенні хромосом.



### Завдання на застосування знань

Розгляньте ілюстрацію каріотипу людини, вкажіть особливості його організації (кількість, форма, розміри, відмінності за статтю). Зробіть скорочений запис каріотипів жінки та чоловіка.



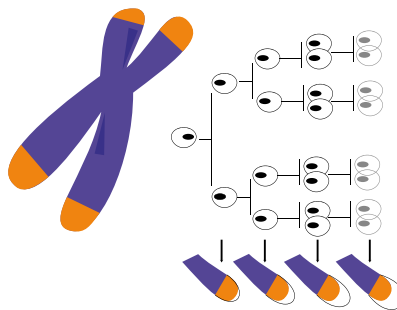
Каріотип людини: а – жінки; б – чоловіка



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Наука

Американські науковці *Е.Блекберн*, *К.Грейдер* і *Д.Шостак* з'ясували, яким чином хромосоми зберігають свою цілісність під час поділу клітини. Причина цього – в кінцях хромосом, відомих, як теломери. За ці дослідження науковці стали лауреатами Нобелівської премії 2009 р. у галузі фізіології та медицини. Яке значення для людини мають ці та інші знання організації хромосом та каріотипу?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке хромосоми? 2. Назвіть функції хромосом. 3. Що таке конденсація хромосом? 4. Назвіть рівні організації хромосом. 5. Що таке каріотип? 6. Назвіть правила організації каріотипу.
7 – 9	7. Яка роль хромосом у спадковості? 8. Як відбувається конденсація хромосом? 9. Які особливості організації набору хромосом?
10 – 12	10. Яке значення для людини мають знання організації хромосом та каріотипу?

За збереження спадкової інформації відповідає ДНК,  
а РНК – лише посередник у реалізації цієї інформації.

Дитяча енциклопедія

## § 25. ТРАНСКРИПЦІЯ. ОСНОВНІ ТИПИ РНК

Основні поняття й ключові терміни: **Експресія генів. ТРАНСКРИПЦІЯ. іРНК. тРНК. рРНК.**

**Пригадайте!** Що таке РНК і ДНК?



### **Поміркуйте!**

Експресії (від лат. *expressio* – вираження) бувають різними. За створення нових *поетичних експресій* в американській пісенній традиції лауреатом Нобелівської премії з літератури у 2016 р. став Боб Ділан. Всесвітньо відома картина «Синій кінь» прославила *художню експресію* німецького живописця Ф.Марка. *Літературна експресія* властива творам таких відомих українських письменників, як В. Стефаник, О. Турянський, М. Хвильовий. А що таке експресія в молекулярній біології?



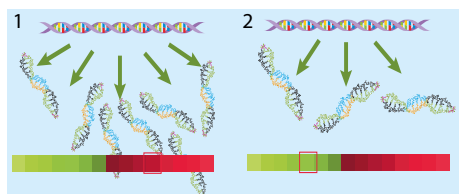
Франц Марк.  
Синій кінь. 1911



### **ЗМІСТ**

#### **Які особливості вирізняють біологічну експресію генів?**

**Експресія генів** – процеси використання спадкової інформації генів для синтезу функціональних продуктів – молекул РНК та 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. На цих органелах у процесі трансляції синтезуються білки. 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.



Іл. 61. Експресія генів у молодій (1)  
і старій (2) клітинах

Процес експресії генів властивий усім неклітинним формам життя та клітинним організмам, але першим для реалізації генетичної інформації потрібна клітина хазяїна. Реалізація спадкової інформації потребує великих затрат енергії АТФ, задіює велику кількість ферментів та структур клітини.

Експресія генів активно регулюється і є основою росту й розвитку клітин та їхньої адаптації до умов навколишнього середовища. На реалізацію спадкової інформації впливають як внутрішні (гормони, фактори росту), так і зовнішні (температура, випромінювання, антибіотики) (іл. 61). Так, гальмівну дію на синтез РНК чинить аманітин –

отруйна речовина із блідої поганки, що діє на РНК-полімеразу і блокує синтез іРНК (іл. 62).

Основою експресії генів є **реакції матричного синтезу** – це реакції синтезу нових молекул відповідно до плану, закладеного в структурі молекул, що вже існують. Матричний синтез є специфічною особливістю живого і забезпечує дуже швидко утворення необхідних продуктів.



Іл. 62. Бліда поганка – отруйний гриб, що містить аманітин

Отже, експресія генів є реалізацією спадкової інформації клітин з утворенням РНК й білків, що відбувається з різною швидкістю в різних клітинах під впливом внутрішніх та зовнішніх умов середовища.

### Як відбувається транскрипція?

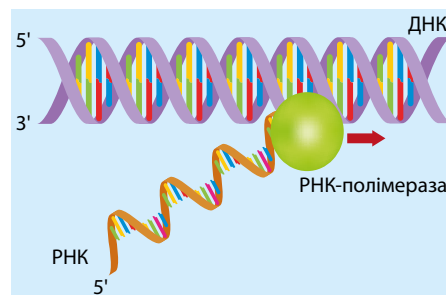
**ТРАНСКРИПЦІЯ** (від лат. *transcriptio* – переписування) – передача інформації про первинну структуру білка з молекули ДНК на іРНК, що відбувається на основі принципу комплементарності. Транскрипція каталізується ферментами РНК-полімеразами і здійснюється в ядрі, а в прокаріотичних клітинах – у нуклеоїді.

За відкриття механізму синтезу РНК іспанський біохімік С. Очоа разом А. Корнбергом отримали Нобелівську премію з фізіології та медицини (1959).

Рівень транскрипції генів чітко регулюється за допомогою спеціальних білків (фактори транскрипції) та малих молекул РНК (явище РНК-інтерференції). Ці впливи мають велике значення для адаптації організмів до змін умов середовища, процесів розвитку, клітинного циклу та комунікації клітин.

Зазвичай процес транскрипції поділяється на 3 стадії. На початковій стадії транскрипції відбувається розплитання ДНК і зв'язування РНК-полімерази з промоторною послідовністю гена, що є сигналом для початку транскрипції. Наступною є стадія, під час якої нарощується ланцюг РНК, тобто відбувається послідовне приєднання рибонуклеотидів на основі принципу комплементарності. Кінцевою стадією транскрипції є стадія завершення зчитування інформації з ДНК на РНК при досягненні термінаційної послідовності гена. Результатом є утворення первинної РНК (проРНК) (іл. 63).

Після транскрипції в клітинах еукаріотів відбувається дозрівання проРНК (процесинг). У результаті процесингу проРНК перетворюється на зрілу інформаційну РНК (іРНК), яка експортується з ядра до цитоплазми.



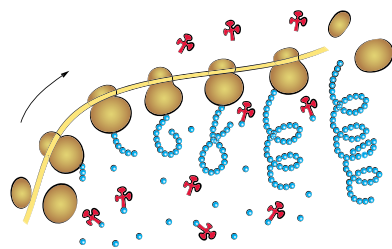
Іл. 63. Напрямок транскрипції

Отже, транскрипція – це процес синтезу РНК з використанням ДНК як матриці, що відбувається в усіх живих клітинах.

### Чим і чому різняться різні типи РНК між собою?

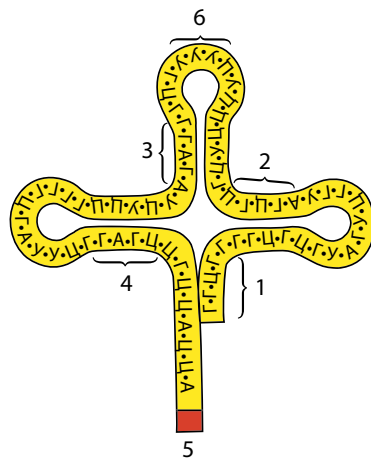
У процесі транскрипції утворюються основні типи РНК – іРНК, тРНК, рРНК.

**Інформаційна** (або *матрична*) РНК (*іРНК*, або *мРНК*) може міститися в цитоплазмі, ядрі, мітохондріях, хлоропластах, утворювати з рибосомами комплекс – *полісому*. Вміст іРНК у клітині – близько 5%. Кількість нуклеотидів коливається від 300 до 30 000, що залежить від складності гена. Основні функції іРНК – перенесення генетичної інформації від ДНК до рибосом та безпосередня участь у синтезі білкових молекул (іл. 64).



Іл. 64. Схема будови полісоми (комплекс іРНК з рибосомами для швидкого синтезу багатьох молекул одного виду білка)

**Транспортні РНК** (*тРНК*) становлять близько 15% усієї РНК клітини. Ці молекули містяться в цитоплазмі, мітохондріях і хлоропластах, складаються з 70–90 рибонуклеотидів. Основна функція тРНК – перенесення амінокислот до рибосом, на яких відбувається синтез білкових молекул. Кожен вид тРНК є високо специфічним, тобто переносить тільки конкретну амінокислоту. Транспортна РНК має *вторинну структуру*, що підтримується водневими зв'язками і формою нагадує листок конюшини. Біля верхівки «листка» містяться три нуклеотиди, які відповідають певній амінокислоті за генетичним кодом. Вони називаються *антикодоном*. А з протилежного боку, біля основи молекули тРНК, є ділянка, до якої приєднується амінокислота (іл. 65).



Іл. 65. Будова молекули тРНК:  
1–4 – ділянки з'єднання комплементарних рибонуклеотидів;  
5 – ділянка приєднання амінокислоти;  
6 – антикодон

А з протилежного боку, біля основи молекули тРНК, є ділянка, до якої приєднується амінокислота (іл. 65).

**Рибосомні РНК** (*рРНК*) входять до складу рибосом про- та еукаріотичних клітин. Молекули рРНК становлять до 80% усієї РНК клітини, містять 3–5 тисяч нуклеотидів і разом з білками забезпечують певне розташування іРНК і тРНК під час синтезу білкової молекули.

Отже, різні типи РНК різняться будовою, кількістю нуклеотидів, вмістом тому, що виконують різні функції.



#### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на застосування знань

Застосуйте знання та за допомогою таблиці схарактеризуйте процес транскрипції.

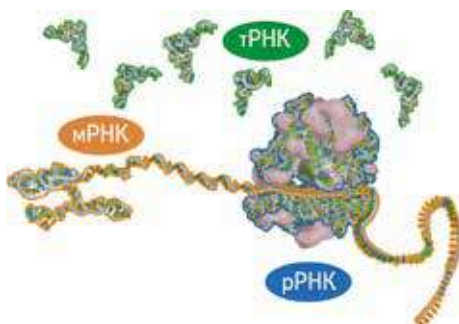
## ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАНСКРИПЦІЇ У КЛІТИНАХ ЕУКАРІОТІВ

Ознака	Характеристика
1. Де відбувається?	
2. Вихідні речовини	
3. Енергія, що використовується	
4. Фермент, що каталізує	
5. Основні стадії	
6. Речовини, що здійснюють регуляцію	
7. Результат	
8. Якими є післятранскрипційні зміни?	
9. Як здійснюється експорт РНК у цитоплазму?	

### Самостійна робота з таблицею

Розгляньте ілюстрацію типів РНК. За допомогою таблиці й підручника порівняйте типи РНК і сформулюйте висновок.

Ознака	іРНК	тРНК	рРНК
Функція			
Вміст у клітині			
Розміри			



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Наука

У 2006 р. *Е. Файр* та *К. Мелло* отримали Нобелівську премію з фізіології та медицини «за відкриття РНК-інтерференції – пригнічення експресії генів дволанцюговою РНК». Ці вчені показали, що введення коротких РНК у клітини нематоди *Caenorhabditis elegans* пригнічувало реалізацію спадкової інформації гена. Оцініть значення знань транскрипції та РНК-інтерференції для медицини й біотехнології.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке експресія генів? 2. Що є результатом експресії генів? 3. Що таке транскрипція? 4. Яке значення транскрипції? 5. Назвіть основні типи РНК. 6. Які функції іРНК, тРНК й рРНК у клітині?
7 – 9	7. Які особливості вирізняють біологічну експресію генів? 8. Як відбувається транскрипція? 9. Чим і чому різняться різні типи РНК між собою?
10 – 12	10. Яке значення мають процеси регуляції транскрипції для клітини?

## § 26. ГЕНЕТИЧНИЙ КОД. БІОСИНТЕЗ БІЛКА

### Основні поняття й ключові терміни: **ГЕНЕТИЧНИЙ КОД. БІОСИНТЕЗ БІЛКА. Трансляція.**

**Пригадайте!** Що таке ДНК, РНК і білки? Що таке транскрипція?



#### **Поміркуйте!**

Код (від лат. *codex* – звіт законів) – система умовних знаків для передачі, обробки та збереження інформації. Наприклад, у інтернаціональному телеграфному коді кожній літері чи цифрі відповідає певна комбінація тривалості імпульсів струму, а на письмі – крапок й тире. На сьогодні в суспільстві використовуються штрих-код, двійковий код, QR-код, PLU-код та ін. А що і як шифрується за допомогою генетичного коду?



#### **ЗМІСТ**

#### **Які особливості генетичного коду?**

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

Основними властивостями генетичного коду є:

- **триплетність** – кожна амінокислота кодується послідовністю з 3 нуклеотидів – триплетом;
- **однозначність, або специфічність**, – кожний триплет кодує лише одну певну амінокислоту;
- **надмірність, або виродженість**, – одну амінокислоту можуть кодувати кілька різних триплетів (наприклад, лейцин кодується 6 триплетами), що підвищує надійність генетичного коду;
- **безперервність** – межі між триплетами не позначено, триплети йдуть один за одним. Проте слід мати на увазі, що між генами існують ділянки, які не несуть генетичної інформації (спейсери), і лише відокремлюють одні гени від інших. Окрім того, на початку гена розташовується старт-кодон (у ДНК – триплет ТАЦ, у РНК – АУГ), у кінці генів – один із трьох стоп-кодонів (у ДНК – АТТ, АТЦ, АЦТ, у РНК – УАА, УАГ, УГА). **Старт-кодон** – це триплет, що кодує амінокислоту метіонін (Мет\*) і розпочинає утворення білка в процесі трансляції. **Стоп-кодони** (нонсенс-кодони) – це кодони, що сигналізують про завершення трансляції поліпептидного ланцюга;

Властивості генетичного коду
1. Триплетність
2. Однозначність
3. Надмірність
4. Безперервність
5. Колінеарність
6. Універсальність

- **колінеарність** – лінійній послідовності нуклеотидів відповідає лінійна послідовність амінокислот;
- **універсальність** – генетичний код єдиний для всіх організмів, які існують на Землі.

Отже, генетичний код є системою нуклеотидів для збереження інформації про амінокислоти білків чи рибонуклеотиди РНК.

### Як відбувається біосинтез білків у живій клітині?

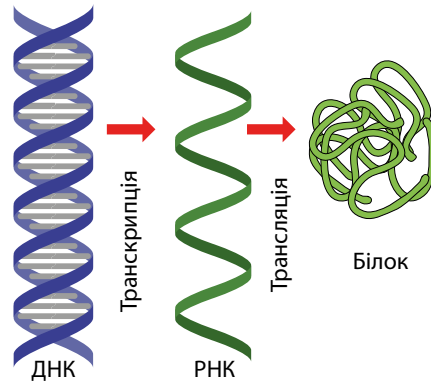
**БІОСИНТЕЗ БІЛКІВ** – сукупність процесів утворення молекул білків з амінокислот на основі інформації генів ДНК. Біосинтез білків є дуже складним процесом, потребує значних затрат енергії і відбувається за участі багатьох ферментів. Основними етапами біосинтезу білків є транскрипція й трансляція (іл. 66).

**Транскрипція** – переписування інформації про первинну структуру білка з молекули ДНК на молекулу попередника іРНК (про-іРНК), що здійснюється в цитоплазмі (у прокаріотів) або в ядрі (в еукаріотів). Під час утворення про-іРНК одночасно відбувається її дозрівання (**процесинг іРНК**). Воно полягає в наданні РНК стабільності, захисті від ферментів, можливості переміщення з ядра та участі у трансляції. Зріла іРНК крізь ядерні пори надходить у цитоплазму (**експорт іРНК**).

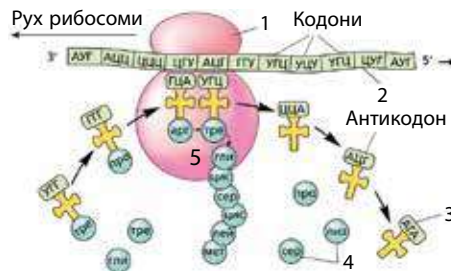
**Трансляція** (лат. *translatio* – перенесення) – сукупність процесів перетворення спадкової інформації іРНК у білок первинної структури (іл. 67). Трансляція відбувається на рибосомах. З однією молекулою іРНК можуть водночас зв'язуватися кілька рибосом з утворенням полірибосом (полісоми).

Необхідні для біосинтезу білків амінокислоти доставляються до рибосом молекулами тРНК. Процес поєднання тРНК з активованими амінокислотами називається **активацією амінокислот**. Багато амінокислот кодується декількома триплетами, тому кількість видів тРНК дорівнює 61.

Трансляція починається із взаємодії субодиниць рибосом з іРНК та першою тРНК, антикодон якої відповідає старт-кодону іРНК – АУГ. Цей кодон визначає для рибосоми початок зчитування інформації з іРНК. Коли перша тРНК зв'язується з іРНК, рибосома робить крок, і в її функціональному центрі опиняються два триплети. На одному з них



Іл. 66. Загальна схема біосинтезу білка



Іл. 67. Схема трансляції молекули білка:  
1 – рибосома; 2 – іРНК; 3 – тРНК;  
4 – амінокислоти

відбувається розпізнавання наступної тРНК, а на іншому – звільнення амінокислоти від попередньої тРНК та її приєднання до ланцюга майбутньої молекули білка. Далі рибосома пересувається по іРНК рівно на один триплет, що забезпечує нарощування поліпептидного ланцюга. Це переміщення відбувається доти, поки рибосома не наштовхнеться на один із стоп-кодонів у іРНК, що сигналізує про завершення трансляції.

Після відділення від рибосом починається дозрівання білків. До них приєднуються різні хімічні групи, відщеплюються невеликі фрагменти, вони набувають вторинної, третинної структур та ін. Ці перебудови відбуваються в цитоплазмі, гранулярній ЕПС, комплексі Гольджі й змінюють функціональну активність білків.

Отже, основними етапами біосинтезу білків є транскрипція й трансляція.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Практична робота № 2 РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ВПРАВ ІЗ ТРАНСКРИПЦІЇ ТА ТРАНСЛЯЦІЇ

**Мета:** формуємо уміння розв'язувати елементарні вправи з молекулярної біології.

#### Що потрібно пам'ятати для розв'язування вправ

- Довжина нуклеотиду – 0,34 нм
- Відносна молекулярна маса нуклеотиду – 345 а. о. м.
- Відносна молекулярна маса амінокислоти – 100 а. о. м.

**Вправа 1.** За допомогою таблиці генетичного коду РНК визначте: а) амінокислоту, яка кодується триплетом ААА; б) триплети, які кодують амінокислоту лейцин (ЛЕЙ).

**Вправа 2.** Один з ланцюгів фрагмента ДНК має таку послідовність нуклеотидів: АГТ АЦЦ ГАТ ЦЦТ ЦГА ТТТ АЦГ. Визначте послідовність нуклеотидів іРНК.

**Вправа 3.** Визначте амінокислотний склад білка, який кодується іРНК такого складу: ЦЦГ ЦАЦ ЦУА ЦГУ.

**Вправа 4.** Фрагмент ланцюга іРНК складається з послідовно розташованих кодонів: АУГ УУГ УУЦ УГГ УАА. Які антикодони матимуть тРНК і з якими амінокислотами вони зв'язані?

**Таблиця генетичного коду РНК**  
(у дужках – код ДНК)

Перша основа	Друга основа				Третя основа
	У(А)	Ц(Г)	А(Т)	Г(Ц)	
У(А)	Фен	Сер	Тир	Цис	У(А)
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц(Г)
	Лей	Сер	Стоп	Стоп	А(Т)
	Лей	Сер	Стоп	Три	Г(Ц)
Ц(Г)	Лей	Про	Гіс	Арг	У(А)
	Лей	Про	Гіс	Арг	Ц(Г)
	Лей	Про	Глн	Арг	А(Т)
	Лей	Про	Глн	Арг	Г(Ц)
А(Т)	Іле	Тре	Асн	Сер	У(А)
	Іле	Тре	Асн	Сер	Ц(Г)
	Іле	Тре	Ліз	Арг	А(Т)
	Мет*	Тре	Ліз	Арг	Г(Ц)
Г(Ц)	Вал	Ала	Асп	Глі	У(А)
	Вал	Ала	Асп	Глі	Ц(Г)
	Вал	Ала	Глу	Глі	А(Т)
	Вал	Ала	Глу	Глі	Г(Ц)

#### Вправи для самостійного розв'язування

**Вправа 5\*.** Відносна молекулярна маса білка – 50 000. Визначте довжину і масу гена, що кодує цей білок.



**Вправа 6\*.** Молекулярна маса одного з ланцюгів ДНК – 119025 а.о.м. Визначте кількість мономерів білка та його відносну молекулярну масу.

**Вправа 7\*.** Молекула про-іРНК складається з 900 нуклеотидів, причому на інтронні ділянки припадає 300 нуклеотидів. Яку кількість амінокислотних залишків містить білок?

**Вправа 8\*.** Визначте молекулярну масу і довжину гена, якщо в ньому закодовано білок з молекулярною масою 28 000 а.о.м.

### **Біологія + Англійська мова**

Перекладіть текст і визначте сутність поняття «біоінформатика».

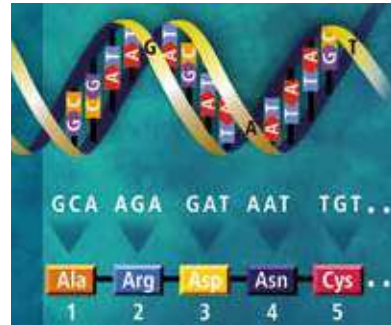
*«Bioinformatics is a field that develops methods and software tools for understanding biological data. As an interdisciplinary field of science, bioinformatics combines computer science, statistics, mathematics, and engineering to analyze and interpret biological data. Common uses of bioinformatics include the identification of candidate genes and nucleotides. Often, such identification is made with the aim of better understanding the genetic basis of disease, unique adaptations, desirable properties, or differences between populations. In a less formal way, bioinformatics also tries to understand the organisational principles within nucleic acid and protein sequences. It also plays a role in the analysis of gene and protein expression and regulation. Bioinformatics tools aid in the comparison of genetic and genomic data and more generally in the understanding of evolutionary aspects of molecular biology».*



### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія + Наука**

Генетичний код розшифровано у 60-х роках ХХ ст., за що **Г.Корана**, **Р.Холлі** та **М.Ніренберг** отримали Нобелівську премію з фізіології й медицини 1968 р. Оцініть значення цього відкриття для різних галузей діяльності людини.



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке генетичний код? 2. Назвіть основні властивості генетичного коду. 3. Що таке транскрипція іРНК? 4. Де відбувається транскрипція? 5. Що таке трансляція? 6. Де відбувається трансляція?
7 – 9	7. Які особливості генетичного коду? 8. Як відбувається транскрипція в живій клітині? 9. Як відбувається трансляція в клітині?
10 – 12	10. Яке значення генетичного коду в біосинтезі білків?

## § 27. ПОДВОЄННЯ ДНК. РЕПАРАЦІЯ ПОШКОДЖЕНЬ ДНК

Основні поняття й ключові терміни: РЕПЛІКАЦІЯ ДНК. РЕПАРАЦІЯ ДНК.



### Поміркуйте!

25 квітня в різних країнах світу відзначають незвичайне свято – Міжнародний день ДНК. Ця дата обрана в пам'ять про те, що цього дня 1953 р. в журналі *Nature* Джеймс Уотсон і Френсіс Крік спільно з Морісом Вілкінсом і Розалінд Франклін опублікували результати дослідження структури молекули ДНК. Які властивості ДНК є основою такої шани?



### ЗМІСТ

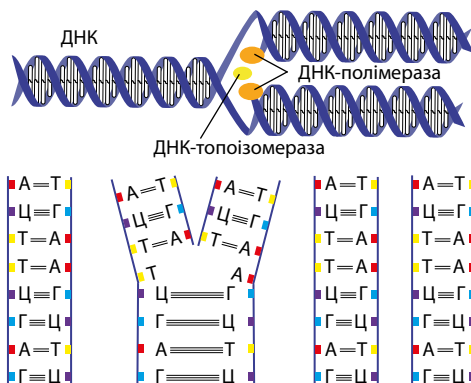
#### Як відбувається самоподвоєння ДНК?

Однією з унікальних й неповторних властивостей молекул ДНК є їхня здатність до самоподвоєння (реплікації). З однієї материнської ДНК утворюється дві дочірні молекули ДНК. Цей процес відбувається в ядрі (або нуклеоїді) клітин перед їхнім поділом і забезпечує передачу генетичної інформації з покоління в покоління.

Механізм реплікації в організмів різних класів дещо різниться, проте його основа однакова для всіх. Головними принципами реплікації є:

- **комплементарність** – до нуклеотидів кожного материнського ланцюга приєднуються вільні нуклеотиди на основі  $A = T$ , а  $G = C$ ;
- **напівконсервативність** – кожна з двох дочірніх молекул ДНК одержує один ланцюг від материнської молекули, а другий – синтезується з нуклеотидів;
- **антипаралельність** – на одному ланцюзі синтез здійснюється в одному напрямку, а на іншому – в протилежному.

Реплікація – складний багатоетапний процес, в якому беруть участь багато ферментів (іл. 68). Процес починається з того, що певні ферменти розкручують спіральну молекулу ДНК, після чого до неї приєднуються білки, які не дають молекулі знову згорнутись. Інші ферменти розщеплюють ДНК на два окремі ланцюги з утворенням реплікаційної вилки. Далі до кожного з материнських ланцюгів приєднуються ДНК-полімерази, що



Іл. 68. Схема реплікації молекули ДНК

каталізують утворення нових дочірніх ланцюгів. Ці ферменти здатні також виправляти можливі помилки реплікації та перевіряти комплементарність. Синтез нових ланцюгів відбувається асиметрично, тобто один з них синтезується безперервно, інший ланцюг будується в протилежному напрямку і короткими фрагментами. Після завершення реплікації з однієї молекули ДНК утворюються дві ідентичні, які скручуються у подвійну спіраль.

Отже, **РЕПЛІКАЦІЯ ДНК** (від лат. *replicatio* – повторення) – процес самоподвоєння ДНК, що забезпечує копіювання спадкової інформації і передачу її з покоління в покоління.

### Яке значення репарації ДНК?

**РЕПАРАЦІЯ ДНК** – сукупність процесів, за допомогою яких клітина знаходить і виправляє пошкодження молекул ДНК. Процес репарації ДНК можливий тому, що генетична інформація ДНК існує у двох копіях – по одній в кожному з двох ланцюгів ДНК. Через це випадкове пошкодження в одному з ланцюгів може бути видалене, і ушкоджена ділянка ланцюга буде відновлена за рахунок інформації іншого ланцюга.

Пошкодження ДНК у клітинах можуть виникати під дією різних чинників. Деякі з них є зовнішніми: ультрафіолетові та радіоактивні промені, температура, хімічні сполуки та ін. Але більш суттєвою є дія внутрішніх чинників. Це, по-перше, метаболізм клітини, в ході якого виникають вільні радикали, гідроген пероксид, вільний кисень тощо. По-друге, вода, що постійно гідролізує ДНК. І нарешті, помилки ферментів ДНК-полімераз (іл. 70).

Існує декілька видів репарації. Найпростіший із них – це *світлова репарація*, що здійснюється ферментом (ДНК-фотоліазою) і відновлює пошкоджені зв'язки між нуклеотидами.

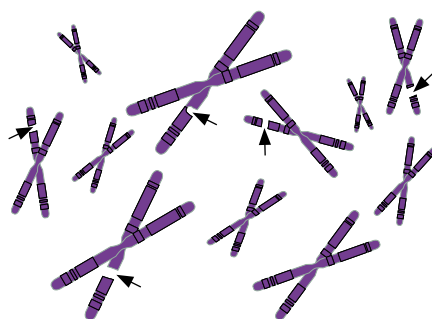
Основним видом репарації є *вирізальна репарація*, яка запускає процес видалення пошкоджених одноланцюгових ділянок ДНК з 10–30 нуклеотидів і відновлення нормальної структури молекули. У випадку сильного пошкодження ДНК (утворення дволанцюжкових розривів, великих одноланцюжкових провалів, міжланцюжкового зшивання) відбувається *рекомбінаційна репарація*, за якої фрагмент ДНК видаляється, і в цьому місці синтезується новий фрагмент.

Механізми репарації контролюються генами. Так, у кишкової палички за виправлення пошкоджень відповідають близько 50 генів. Чим складнішою є клітина, тим більша кількість



Іл. 69. Лауреати Нобелівської премії з хімії (2015) за відкриття репарації: 1 – Т. Ліндаль; 2 – П. Модріч; 3 – А. Санджар

структурних й регуляторних генів беруть участь у репарації. Пошкодження цих генів можуть спричинити мутації, провокувати загибель клітин або призводити до їхнього злоякісного переродження. Науковці вважають, що порушення репарації на рівні організму призводить до дефектів розвитку, старіння й канцерогенезу (80–90% усіх ракових захворювань пов'язані з порушенням репарації). Ефективність репарації ДНК залежить від багатьох чинників, зокрема типу клітини, її віку та оточення.



Іл. 70. Пошкоджені хромосоми

Отже, репарація ДНК спрямована на підтримання генетичної стабільності клітин.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на застосування знань

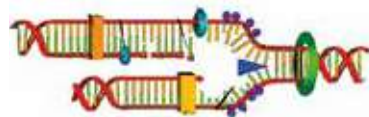
За допомогою таблиці й ілюстрацій порівняйте транскрипцію й реплікацію в клітинах еукаріотів. Зробіть висновок про подібність та відмінності між ними.

Ознака	Транскрипція	Реплікація
Місце проходження		
Що є матрицею для процесів?		
Які молекули утворюються в результаті?		
З яких молекул-мономерів утворюються?		
Які ферменти каталізують?		
Значення для клітин		

#### Розв'язування вправ

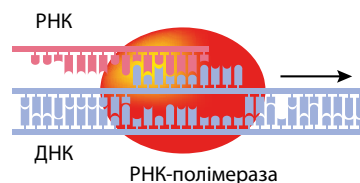
1. Виберіть послідовність нітрогеновмісних основ, яка має утворитися в процесі *реплікації* молекули ДНК на основі ланцюга – АЦТ ТТГ ГАТ ГАТ ТТТ АЦТ ГТГ:

- а) ТГА ААЦ ЦТА ААА ТГА ЦАЦ;
- б) ТАА ТАА ТАА ТАА ААА ААА ТАГ;
- в) ТАЦ АЦГ ЦТЦ АТГ ГТА ЦЦТ ТГЦ;
- г) ТТТ ТТТ ТАТ АЦА ЦАЦ ЦГЦ ТАА;
- д) ТГА ТЦГ ГГГ ЦЦГ ЦТА ААА.



2. Виберіть послідовність нітрогеновмісних основ іРНК, яка утвориться внаслідок процесу *транскрипції* з молекули ДНК такої будови – АТГ ТГЦ ГАГ ТАЦ ЦАТ ГГА АЦГ:

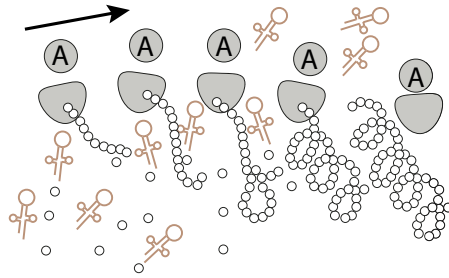
- а) УАЦ АЦГ ЦУЦ АУГ ГУА ЦЦУ УГЦ;
- б) УУУ УУУ УАУ АЦА ЦАЦ ЦГЦ УАА;
- в) УГА УЦГ ГГГ ЦЦГ ЦУА ААА УГА;



- г) УГА ААЦ ЦУА ЦУА ААА УГА ЦАЦ;  
 д) УАА УАА УАА УАА УАА ААА ААА УАГ.

3. За допомогою таблиці генетичного коду (с. 112) визначте амінокислотний склад пептиду, що утворюється внаслідок *трансляції* на основі фрагмента іРНК такого нуклеотидного складу –

- УУУ ЦЦА ГГУ АГЦ;  
 а) Фен-Про-Глі-Сер;  
 б) Сер-Ала-Цис-Вал;  
 в) Фен-Трп-Тре;  
 г) Тир-Про;  
 д) Вал-Вал-Глу-Глі.



### **Біологія + Інформація**

Інформаційний сигнал SOS (англ. Save our Souls) сповіщає про біду в системі радіозв'язку, в медицині розробляється SOS-система охорони здоров'я.



У клітинах організмів існує *SOS-система*, яку відкрив у 1975 р. М. Радман. Ця система вмикається, якщо пошкоджені ДНК стає забагато, що загрожує життю клітини. SOS-система активує групи генів, що зумовлюють захисну клітинну відповідь на ці пошкодження. Які клітинні процеси формують захисну клітинну відповідь?



### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія + Здоров'я**

Під час метаболізму в клітинах постійно утворюються й знешкоджуються вільні радикали і гідроген пероксид. Накопичення цих сполук призводить до окиснювального стресу й окиснення ліпідів, білків, ДНК, що є причиною багатьох захворювань та старіння. Шкідливий дії вільних радикалів й гідроген пероксиду протидіють антиоксиданти. Які сполуки належать до антиоксидантів і в яких харчових продуктах їхній вміст є найбільшим? Оцініть свій харчовий раціон на вміст цих сполук.



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке реплікація? 2. Назвіть основні принципи реплікації. 3. Наведіть приклади ферментів реплікації. 4. Що таке репарація ДНК? 5. Назвіть чинники, що спричиняють пошкодження ДНК. 6. Які є види репарації?
7 – 9	7. Як відбувається процес самоподвоєння ДНК? 8. Яке значення має репарація ДНК? 9. Які наслідки порушення репарації в організмі?
10 – 12	10. Що спільного й відмінного між транскрипцією і реплікацією?

## § 28. ПОДІЛ КЛІТИН. КЛІТИННИЙ ЦИКЛ. МІТОЗ

**Основні поняття й ключові терміни:** ПОДІЛ КЛІТИН. КЛІТИННИЙ ЦИКЛ. Інтерфаза. МІТОЗ.

**Пригадайте!** Що таке клітинна теорія?



### Поміркуйте!

«Щосекунди в нашому тілі сотні мільйонів маленьких балерин сходяться й розходяться, розташовуються в ряд й розбігаються в різні сторони, немов танцюристи на балі, які виконують складні на старовинного танцю. Цей танець – найдавніший на Землі. Це танець життя», – так описував це явище американський генетик Г.Д. Меллер (1890–1967). Про який танець йдеться?

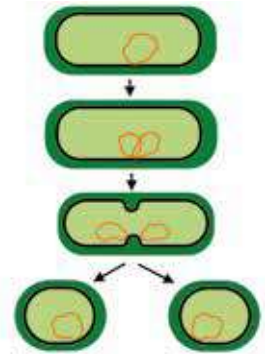


### ЗМІСТ

#### Яке значення поділу клітин?

Спадкова інформація від одного покоління клітин передається наступному поколінню клітин за допомогою хромосом. Ці структури перед поділом клітин подвоюються й розподіляються між новими клітинами. Цей упорядкований розподіл і є «танцем життя».

**ПОДІЛ КЛІТИН** – сукупність процесів, унаслідок яких спадкова інформація клітини передається наступному поколінню клітин. Поділ прокаріотичних клітин простіший, оскільки нуклеоїд містить лише одну кільцеву молекулу ДНК. Ця «бактеріальна хромосома» перед поділом самоподвоюється. Під час цього процесу ущільнення «хромосоми» не відбувається. Потім обидві молекули ДНК прикріплюються до плазматичної мембрани і розподіляються. Далі відбуваються процеси поділу цитоплазми й утворення з однієї материнської двох дочірніх клітин (іл. 71). Таке самовідтворення клітин називається **бінарним поділом**, що відбувається дуже швидко. Наприклад, за сприятливих умов кишкова паличка ділиться через кожні 20–30 хв. Поділ навпіл, або бінарний поділ, забезпечує нестатеве розмноження прокаріотів (архей та еубактерій).



Іл. 71. Бінарний поділ прокаріотичної клітини

Поділ еукаріотичних клітин ускладнений тим, що вони мають ядро з парним (диплоїдним) набором хромосом. Основними типами поділу еукаріотичних клітин є поділ шляхом мітозу й мейозу. **Мітоз** (від грец. *mitos* – нитка) – поділ, за якого з однієї материнської клітини утворюються дві дочірні клітини з таким самим набором хромосом. Цей тип поділу є основою росту, регенерації, нестатевого розмноження

еукаріотів (рослин, грибів й тварин). **Мейоз** – поділ, за якого з однієї материнської клітини утворюються дочірні клітини з половинним (гаплоїдним) набором хромосом і видозміненою спадковою інформацією. Завдяки такому поділу виникають гамети, які забезпечують статеве розмноження багатьох еукаріотів.

Отже, значення поділу клітин полягає в подвоєнні та передачі спадкової інформації наступному поколінню клітин і забезпеченні спадкоємності життя.

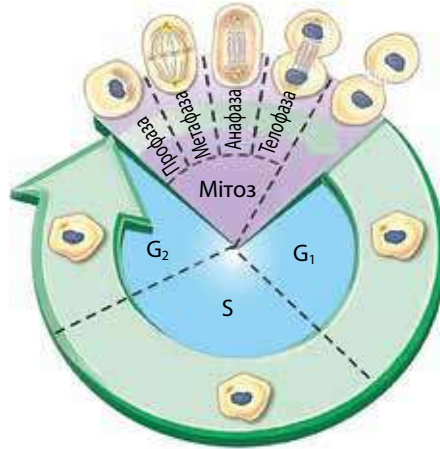
### Від чого залежить тривалість клітинного циклу?

**КЛІТИННИЙ ЦИКЛ** – це період існування еукаріотичної клітини від одного поділу до іншого. Тривалість цього періоду є різною в різних клітин (наприклад, для лейкоцитів людини – 4–5 діб, для клітин кишкового епітелію – 8–10 год). Є клітини, що не здатні до поділу, і їхній клітинний цикл збігається з тривалістю їхнього життя (наприклад, нейрони, еритроцити людини, які живуть 100–120 днів). Тривалість клітинного циклу залежить від внутрішніх (наприклад, інтенсивність метаболізму, тип клітин тощо) та зовнішніх (наприклад, температура, поживні речовини, наявність кисню) чинників (іл. 72).

Основними етапами клітинного циклу є інтерфаза і мітоз.

Процеси, що відбуваються протягом клітинного циклу, є послідовними, і їхнє здійснення у зворотному напрямку неможливе. Важливою рисою всіх еукаріотів є те, що перебіг різних фаз клітинного циклу підлягає регуляції. Хромосомні мутації можуть спричинити збої клітинного циклу. Подібні хромосомні порушення характерні для ракових клітин. Існує два основні класи регуляторних молекул, що спрямовують клітинний цикл. Це цикліни і циклінзалежні ферменти кінази. За відкриття цих центральних молекул регуляції клітинного циклу **Л. Гартвелл**, **Т. Хант** і **П. Нерс** отримали Нобелівську премію в галузі фізіології і медицини (2001).

Для більшості клітин багатоклітинних організмів кількість клітинних циклів обмежена. Вони запрограмовані на певну кількість поділів, після яких гинуть. Найвірогіднішою гіпотезою, що пояснює цей факт, вважається теломерна гіпотеза,



Іл. 72. Схема клітинного циклу



Іл. 73. Лауреати Нобелівської премії з фізіології і медицини:  
1 – Л. Гартвелл;  
2 – Т. Хант; 3 – П. Нерс

згідно з якою термін життя клітини залежить від довжини кінцевих ділянок хромосом – теломер.

Отже, тривалість клітинного циклу є різною в різних клітин і залежить від типу клітин та внутрішніх й зовнішніх чинників, що впливають на клітину упродовж її життя.

### Як відбувається мітотичний поділ клітин?

Клітинний цикл складається з інтерфази і мітозу.

**Інтерфаза** (лат. *inter* – між, *phasis* – поява) – *період між поділами клітини*. Тривалість інтерфази зазвичай становить до 90 % часу всього клітинного циклу. Саме тоді відбуваються ріст клітин, подвоєння молекул ДНК (реплікація), синтез органічних сполук, розмноження мітохондрій, накопичення енергії АТФ. Основною ознакою інтерфазних клітин є неущільнений (деконденсований) стан хроматину. Інтерфаза складається з трьох етапів: передсинтетичного ( $G_1$ -фаза), синтетичного (S-фаза) і постсинтетичного ( $G_2$ -фаза). Після інтерфази настає мітоз.



Іл. 74. Мітоз еукаріотичної клітини

Мітотичний поділ рослинних клітин був відкритий у 1874 р. І. Д. Чистяковим, а у тваринних клітинах його описали в 1878 р. В. Флемінг та П. І. Перемежко (іл. 74). Мітоз умовно поділяють на 4 фази: профазу, метафазу, анафазу і телофазу (табл. 6).

Таблиця 6. ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ МІТОЗУ

Назва фази	Основні процеси
<b>Профаза</b> – конденсація хромосом	1. Конденсація (ущільнення) двохроматидних хромосом. 2. Розходження центріолей до полюсів. 3. Зникнення ядерця. 4. Розпад ядерної оболонки. 5. Формування веретена поділу
<b>Метафаза</b> – розташування хромосом на екваторі клітини	Прикріплення коротких ниток веретена поділу до центромер і розташування двохроматидних хромосом на екваторі клітини в один ряд
<b>Анафаза</b> – розходження хромосом	Скорочення ниток веретена поділу і поділ центромер та розходження однохроматидних хромосом до полюсів
<b>Телофаза</b> – деконденсація хромосом («профаза навпаки»)	1. Деконденсація однохроматидних хромосом. 2. Розташування центріолей біля ядра. 3. Формування ядерця. 4. Утворення ядерної оболонки. 5. Руйнування веретена поділу

Біологічне значення мітозу: 1) забезпечує точний розподіл спадкового матеріалу між двома дочірніми клітинами; 2) забезпечує сталість каріотипу під час нестатевого розмноження; 3) лежить в основі нестатевого розмноження, регенерації, росту організмів.

Отже, **МІТОЗ** – це поділ еукаріотичних клітин, внаслідок якого утворюються дві дочірні клітини з таким самим набором хромосом, що й в материнській клітині.





## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Лабораторне дослідження. ФАЗИ МІТОЗУ

**Мета:** формуємо уміння розпізнавати фази мітозу за особливостями процесів.

**Обладнання й матеріали:** мікроскопи, мікропрепарати клітин кореня цибулі; ілюстрації клітин кореня у різних фазах мітозу.

#### Хід роботи

1. Знайдіть клітини на стадії інтерфази. Замалюйте клітину, зробіть підписи до малюнка.
2. Знайдіть клітини на стадії профази. Замалюйте клітину, зробіть підписи до малюнка.
3. Знайдіть клітини на стадії метафази. Замалюйте клітину, зробіть підписи до малюнка.
4. Знайдіть клітини на стадії анафази. Замалюйте клітину, зробіть підписи до малюнка.
5. Знайдіть клітини на стадії телофази. Замалюйте клітину, зробіть підписи до малюнка.
6. Підсумок роботи.

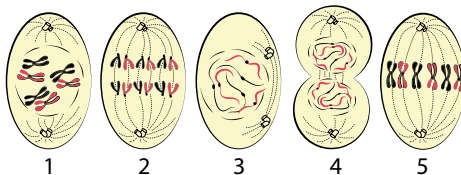


#### Завдання на застосування знань

**Завдання 1.** Розпізнайте та назвіть зображені на ілюстрації фази клітинного циклу.

**Завдання 2.** Заповніть у робочому зошиті таблицю «Характеристика мітозу».

**Завдання 3.** Згрупуйте визначені ознаки і дайте власне формулювання мітозу.



#### ХАРАКТЕРИСТИКА МІТОЗУ

Ознака	Характеристика
1. Для яких клітин властивий?	
2. Кількість поділів	
3. Кількість клітин, утворених з материнської	
4. Набір хромосом у клітинах перед поділом	
5. Набір хромосом у клітинах після поділу	
6. Стан спадкової інформації у клітинах після поділу	



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке поділ клітин? 2. Назвіть основні типи поділу про- та еукаріотичних клітин. 3. Що таке клітинний цикл? 4. Назвіть основні періоди клітинного циклу. 5. Що таке мітоз? 6. Назвіть основні фази мітозу.
7 – 9	7. Яке значення поділу клітин? 8. Від чого залежить тривалість клітинного циклу? 9. Як відбувається мітотичний поділ клітин?
10 – 12	10. Чому клітинний цикл поділяють на етапи?

## § 29. МЕЙОЗ. РЕКОМБІНАЦІЯ ДНК

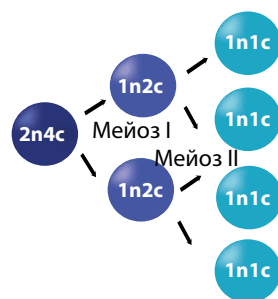
Основні поняття й ключові терміни: **МЕЙОЗ. РЕКОМБІНАЦІЯ ДНК.**

Пригадайте! Що таке поділ клітин?



### Новини науки

«Науковий інтерес до мейозу значно зріс, коли виявилось, що одні й ті самі ферменти можуть брати участь в реплікації ДНК, обміні її окремих ділянок та репарації. Нині деякі біологи розвивають оригінальну гіпотезу про те, що в процесі мейозу відбувається перевірка ланцюгів ДНК і відновлення пошкоджень. При цьому спостерігається повне “омолодження” клітин, що беруть участь у статевому розмноженні». Що ж таке мейоз?

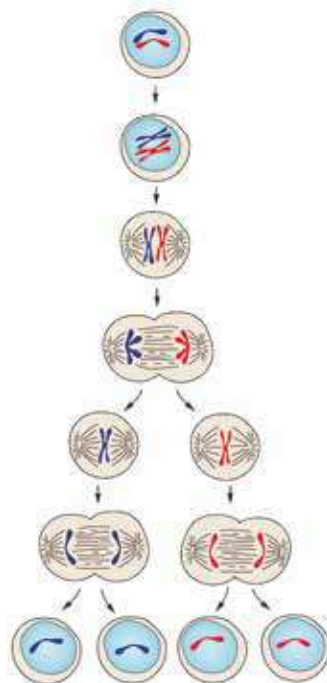


### ЗМІСТ

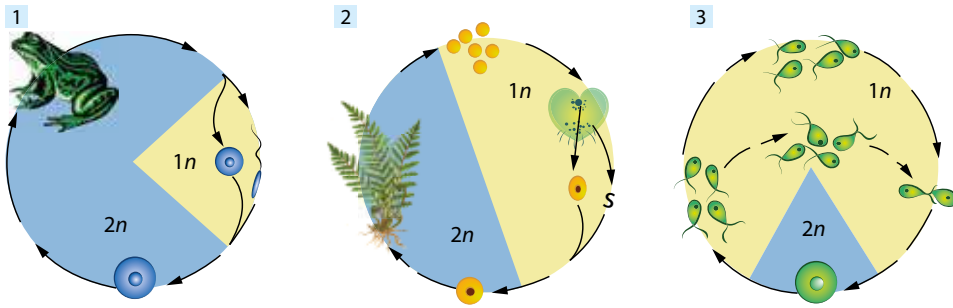
#### Яке біологічне значення мейозу?

Мейоз був уперше описаний у морських їжаків німецьким біологом **О. Гертвігом** (1849–1922) у 1876 р. **А. Вайсману** (1834–1914) належить пояснення біологічного значення мейозу. А один із засновників цитогенетики **С. Дарлінгтон** (1903–1981) розробив теорію, що пояснює механізм поєднання хромосом у мейозі (1932). Вивченням мейозу займається **цитогенетика**.

**МЕЙОЗ** (від грец. *мейозіс* – зменшення) – це поділ еукаріотичних клітин, внаслідок якого утворюються дочірні клітини з удвічі меншим набором хромосом (іл. 75). Мейоз є одним із найважливіших біологічних процесів. Його значення полягає в підтримці в поколіннях стабільності хромосомних наборів та у створенні нових поєднань батьківських й материнських генів, що сприяє мінливості. Згідно із сучасними дослідженнями під час мейозу відбувається й репарація ДНК за участі гомологічної рекомбінації. Мейоз є основою розмноження. У тварин унаслідок мейозу утворюються статеві клітини – гамети (гаметний мейоз), у вищих рослин – спори для безстатевого розмноження (споровий мейоз), а у грибів й нижчих рослин – клітини міцелію чи талому, що формуються із зиготи (зиготний мейоз) (іл. 76). Із гаплоїдної спори проростає статеве покоління вищих рослин



Іл. 75. Схема мейозу



Іл. 76. Типи мейозу: 1 – гаметний; 2 – споривий; 3 – зиготний

(гаметофіт), яке продукує гамети. У тварин статеві клітини, що утворилися, зливаються з утворенням зиготи, в якій після запліднення відновлюється диплоїдний набір хромосом. Якби в процесі мейозу число хромосом не зменшувалось, то в кожному наступному поколінні під час злиття яйцеклітини і сперматозоона кількість хромосом збільшувалася б удвічі. А у грибів й водоростей із диплоїдної зиготи утворюються гаплоїдні клітини грибниці й талому, що згодом утворюють гамети чи спори.

Отже, біологічне значення мейозу полягає в: 1) забезпеченні зміни спадкового матеріалу; 2) підтримці сталості каріотипу при статевому розмноженні; 3) утворенні гамет для статевого розмноження тварин; 4) формуванні спор для нестатевого розмноження вищих рослин; 5) відновленні пошкоджень ДНК.

### Які відмінності мейозу від мітозу?

Мейоз у процесі еволюції виник на основі мітозу, але має ряд принципових відмінностей:

- відбувається у два послідовні етапи – мейоз I та мейоз II, кожний з яких складається з 4 фаз: профазі, метафазі, анафазі і телофазі;
- на першому етапі відбувається розподіл гомологічних двохроматидних хромосом на дві клітини з утворенням у них гаплоїдних наборів хромосом, тому цей поділ називають *редукційним* (від лат. *reductio* – повернення);
- стан спадкової інформації після першого поділу вже змінений завдяки *рекомбінації ДНК*;
- на другому етапі розходяться хроматиди гомологічних хромосом, і він здійснюється за мітотичним типом;
- загальним результатом мейозу є утворення з однієї материнської клітини чотирьох дочірніх клітин з гаплоїдним набором однохроматидних хромосом (табл. 7).

Таблиця 7. ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ МЕЙОЗУ

Назва фази	Основні процеси
I етап – РЕДУКЦІЙНИЙ ПОДІЛ, або МЕЙОЗ I	
<b>Профаза I</b>	Фаза конденсації двохроматидних хромосом. Особливістю є <i>кон'югація</i> (злиття ділянок гомологічних хромосом) і <i>кросинговер</i> (обмін ділянками між гомологічними хромосомами), що забезпечують <b>рекомбінацію ДНК</b>

Назва фази	Основні процеси
<b>Метафаза I</b>	Розташування двохроматидних хромосом на екваторі клітини в два ряди у вигляді тетрад (комплексів і двох двохроматидних хромосом)
<b>Анафаза I</b>	Розходження двохроматидних хромосом до полюсів клітин
<b>Телофаза I</b>	Деконденсація двохроматидних хромосом і формування двох клітин або лише ядер з гаплоїдним набором хромосом
II етап – ЕКВАЦІЙНИЙ, або МЕЙОЗ II (інтерфази між поділами мейозу немає, оскільки реплікації ДНК не відбувається)	
<b>Профаза II</b>	Конденсація двохроматидних хромосом
<b>Метафаза II</b>	Розташування двохроматидних хромосом на екваторі клітини
<b>Анафаза II</b>	Розходження однохроматидних хромосом до полюсів клітин
<b>Телофаза II</b>	Деконденсація однохроматидних хромосом

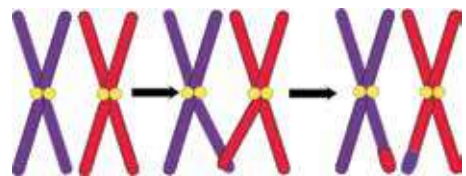
Отже, мейоз відбувається у два етапи з утворенням гаплоїдних клітин з видозміненою спадковою інформацією.

### Як змінюється спадкова інформація в мейозі?

Генетична стабільність є дуже важливою для життєдіяльності організмів у сталих умовах. Для існування видів упродовж тривалих історичних проміжків часу життєво необхідною є генетична мінливість, що забезпечує пристосованість до змінних умов навколишнього середовища. Для забезпечення мінливості організмів найзагадковіша із молекул живого – ДНК – має ще одну дивовижну властивість, а саме здатність до перебудов.

**РЕКОМБІНАЦІЯ ДНК** (генетична рекомбінація) – це перерозподіл генетичної інформації ДНК, що приводить до виникнення нових комбінацій генів. Під час рекомбінації ланцюжок ДНК розривається, а потім його фрагменти об'єднуються в іншому порядку. Цей процес є універсальним і спостерігається в про- і еукаріотичних клітинах. Серед процесів рекомбінації ДНК у живих організмів найчастіше виокремлюють гомологічну та негомологічну рекомбінації.

**Гомологічна рекомбінація** – це процес обміну нуклеотидними послідовностями між гомологічними хромосомами чи ланцюгами ДНК. Цей тип рекомбінації використовується клітинами для виправлення пошкоджень ДНК, створення нових комбінацій генів під час мейозу тощо. Найвідомішим прикладом гомологічної рекомбінації ДНК є обмін ділянками між парними хромосомами – кросинговер (іл. 77).



Іл. 77. Рекомбінація ДНК під час кросинговеру

Цей процес відбувається в мейозі після кон'югації – поєднання гомологічних хромосом на стадії профазі I.

**Негомологічна рекомбінація** – це процес обміну нуклеотидними послідовностями між негомологічними хромосомами або ланцюгами ДНК. Прикладом такої рекомбінації є випадкове вбудовування вірусних чи бактеріальних фрагментів ДНК у ДНК клітини-хазяїна.

Отже, механізми генетичної рекомбінації у мейозі забезпечують можливість переміщення із хромосоми в хромосому фрагментів ДНК, що підвищує комбінативну мінливість організмів.



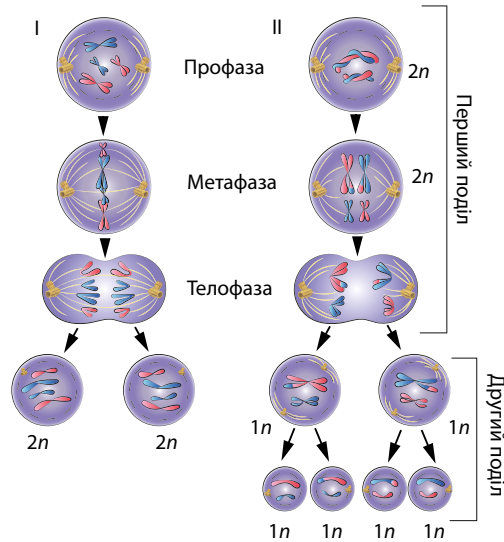
## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

Порівняйте у робочому зошиті мітоз і мейоз за планом та зробіть висновок про причини відмінностей.

#### План порівняння

1. Кількість поділів.
2. Кількість утворених клітин з однієї.
3. Набір хромосом перед поділом у клітинах.
4. Набір хромосом у дочірніх клітинах.
5. Стан спадкової інформації у клітинах.
6. Біологічне значення.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Декоративні рослини

Папороть *нефролепіс піднесений* (*Nephrolepis exaltata*) вважається красивою, витривалою й корисною декоративною рослиною, яка очищає повітря в приміщенні від формальдегідів, толуолу і ксилолу. Це є однією з причин розміщення цієї папороті в офісах, школах, дитячих садочках. На цьому конкретному прикладі оцініть значення мейозу в житті рослин.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке мейоз? 2. Які клітини утворюються після мейозу? 3. Який результат першого поділу мейозу? 4. Який результат другого поділу мейозу? 5. Що таке рекомбінація ДНК? 6. Оцініть значення рекомбінації ДНК.
7 – 9	7. Яке значення мейозу? 8. Назвіть відмінності мейозу від мітозу. 9. Як змінюється спадкова інформація в мейозі?
10 – 12	10. Які причини подібності й відмінностей між мітозом і мейозом?

## § 30. СТАТЕВІ КЛІТИНИ ТА ЗАПЛІДНЕННЯ

Основні поняття й ключові терміни: **СТАТЕВІ КЛІТИНИ. Яйцеклітина. Сперматозоон. Гаметогенез. ЗАПЛІДНЕННЯ**

**Пригадайте!** Що таке мейоз?



### Поміркуйте!

Статеве розмноження – це відтворення багатоклітинними організмами собі подібних за допомогою гамет. Переваги цього способу розмноження над нестатевим пов'язані з тим, що нащадки є генетично різноманітними. Це істотно підвищує стійкість виду до мінливих умов середовища. А яку роль у цьому відіграють статеві клітини?

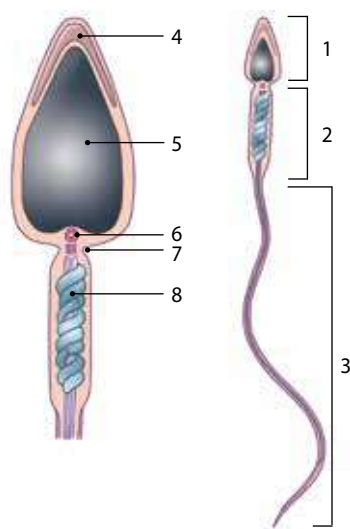


### ЗМІСТ

#### Що визначає особливості статевих клітин?

**СТАТЕВІ КЛІТИНИ**, або **гамети**, – це клітини з гаплоїдним набором хромосом, які виконують функцію передачі спадкової інформації від особин батьківського покоління нащадкам під час статевого розмноження. Ці клітини утворюються в процесі мейозу і по його завершенні мають половинний набір хромосом та змінену генетичну інформацію. Можливості рекомбінації ДНК, що відіграють основну роль у зміні спадкового матеріалу, вражають. Немає двох абсолютно подібних чоловічих чи жіночих гамет, що утворюються батьківськими організмами. А якщо до цього джерела спадкової мінливості додати ще незалежне розходження гомологічних хромосом, випадковість запліднення, постійний мутагенний вплив середовища, то ми зрозуміємо, чому немає, не було і не буде двох абсолютно подібних організмів одного виду.

Чоловічі гамети називаються **сперматозоонами**. Це здебільшого рухливі клітини, які мають видовжену форму. Рух відбувається за допомогою одного чи декількох джгутиків або псевдоніжок (наприклад, у ракоподібних). Важливе значення при цьому має реотаксис – здатність рухатися проти течії. У частини рослин, тварин й грибів сперматозоони джгутиків не мають, тому їх називають сперміями.



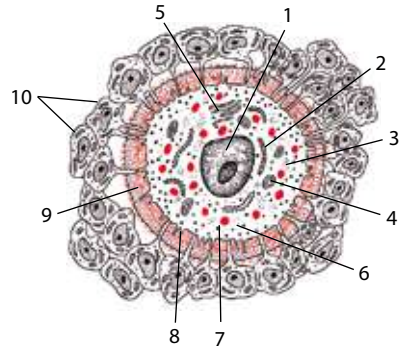
Іл. 78. Будова сперматозоона:

- 1 – головка; 2 – проміжна частина;
- 3 – хвостова частина; 4 – акросома; 5 – ядро; 6 – клітинний центр;
- 7 – шийка; 8 – мітохондрія

Сперматозоони, як правило, мікроскопічні. Довжина гамет у більшості організмів – від 10 до 800 мкм, у деяких ракоподібних може досягати 8000 мкм. Але найбільшими є сперматозоони дрозофіл, у яких довжина досягає 5,8 см, що у 20 разів перевищує довжину тіла самих комах.

Типові сперматозоони мають головку, проміжну й хвостову частини (іл. 78). Головка гамет містить ядро з гаплоїдним набором хромосом, тоненький шар цитоплазми й акросому з ферментами. У шийці міститься центріоля, яка організовує рухи хвоста чоловічих гамет. Проміжна частина містить велику спіральну мітохондрію, що синтезує АТФ для рухів клітини. Хвіст, або джгутик, чоловічих гамет містить для руху мікротрубочки з тубуліну. Усі сперматозоони мають негативний заряд, що перешкоджає їх склеюванню.

**Яйцеклітини** – жіночі статеві клітини (іл. 79). Це здебільшого нерухливі, кулясті чи овальні клітини, що мають значно більші розміри, ніж соматичні клітини і сперматозоони. Так, діаметр яйцеклітини ссавців – 100–200 мкм, у оселедцевої акули сягає 22 см. Типові яйцеклітини мають поверхневий апарат, цитоплазму й ядро. Первинна (вітелінова) оболонка складається з глікопротеїдів, які допомагають сперматозоону потрапити до яйцеклітини та виконують бар'єрну функцію, забезпечуючи потрапляння сперматозоона лише відповідного виду. Під нею розташована плазматична мембрана, а далі кортикальний шар з гранулами. Коли сперматозоон потрапляє до яйцеклітини, речовини кортикальних гранул секретуються шляхом екзоцитозу на поверхню мембрани, змінюють стан первинної оболонки та роблять яйцеклітину непроникною для інших сперматозоонів. Цитоплазма яйцеклітини називається овоплазмою і містить велику кількість поживних речовин (жовток), захисних сполук, багато мітохондрій, рибосом, розвинуту ЕПС. Ядро має гаплоїдний набір хромосом.



Іл. 79. Яйцеклітина ссавця: 1 – ядро; 2 – ЕПС; 3 – овоплазма; 4 – мітохондрія, 5 – комплекс Гольджі; 6 – лізосоми; 7 – кортикальні гранули; 8 – плазматична мембрана; 9 – вітелінова оболонка; 10 – фолікулярна оболонка

Отже, особливості будови, хімічного складу та процесів життєдіяльності гамет сприяють їхній функції, тобто передачі генетичної інформації від батьків до потомства.

### Як утворюються гамети?

**Гаметогенез** – процес утворення і дозрівання статевих клітин, який відбувається в статевих залозах. Розвиток гамет у багатоклітинних тварин відбувається в статевих залозах – гонадах, у рослин і грибів – у гаметангіях. Основні стадії гаметогенезу такі.

**I. Стадія розмноження** – клітини-попередники (овогонії й сперматогонії) розмножуються шляхом мітозу, і їхня кількість збільшується.

II. **Стадія росту** – утворені овогонії й сперматогонії ростуть і стають сперматоцитами і овоцитами I порядку.

III. **Стадія дозрівання** – овоцити й сперматоцити діляться шляхом мейозу. Після першого поділу мейозу утворюються сперматоцити й овоцити II порядку, а після другого поділу мейозу – сперматиди та овотиди.

Наявність стадій розмноження, росту й дозрівання є ознакою подібності сперматогенезу й овогенезу. Але, незважаючи на помітну подібність цих процесів, кожен з них має свої особливості.

**Сперматогенез** – процес утворення й дозрівання чоловічих гамет. Особливостями сперматогенезу є: 1) на стадії дозрівання з одного сперматоцита I порядку утворюються 4 однакові гаплоїдні клітини-сперматиди; 2) на стадії формування, що характерна лише для сперматогенезу, сперматиди змінюються: з кулястих клітин формуються видовжені сперматозоони, що мають головку, шийку й хвіст.

**Овогенез** – процес утворення й дозрівання жіночих гамет.

Особливостями овогенезу є: 1) відбувається в три стадії: розмноження, ріст й дозрівання; 2) на стадії дозрівання з одного овоцита I порядку утворюються 4 неоднакові гаплоїдні клітини: одна велика яйцеклітина і три дрібні полярні тільця. Дозрівання яйцеклітини завершується вже після запліднення, а полярні тільця зникають (іл. 80).

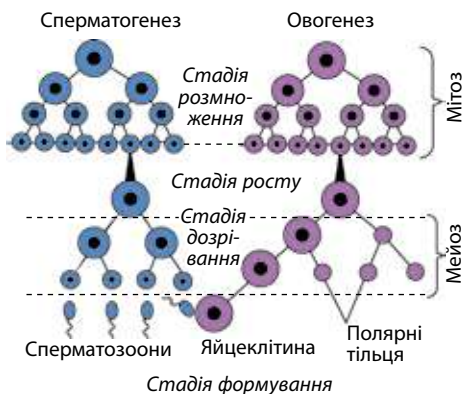
Розбіжності у формуванні сперматозоонів і яйцеклітин пояснюються їх функціями: сперматозоони забезпечують внесення в яйцеклітину гаплоїдного набору хромосом, а яйцеклітина крім своєї половини генетичного матеріалу містить запас поживних речовин, необхідних для розвитку зародка.

Отже, спермато- та овогенез мають ознаки подібності, що пояснюється спільним походженням вихідних клітин-попередників, та відмінності, що зумовлені функціями зрілих клітин.

### Яке значення запліднення?

**ЗАПЛІДНЕННЯ** – процес злиття чоловічої та жіночої статевих клітин з утворенням зиготи, яка дає початок новому організму. Тільки в 1875 р. було доведено, що основою процесу запліднення є злиття ядер однієї жіночої і однієї чоловічої статевих клітин, і тим самим об'єднання їхніх хромосом. Внаслідок об'єднання гаплоїдних наборів хромосом відновлюється їх диплоїдне число.

Існують два способи запліднення: зовнішнє і внутрішнє. Майже всі водні хребетні тварини (риби, земноводні тощо) відкладають ікру (яйцеклітини) і сперму у воду, де і відбувається запліднення. Виняток становлять живородні риби, деякі земноводні, крокодили, водні ссавці, яким властиве внутрішнє запліднення.



Іл. 80. Схема спермато- та овогенезу



Форма запліднення	
<b>Зовнішнє запліднення</b> (злиття гамет відбувається поза організмом у воді)	<b>Внутрішнє запліднення</b> (гамети зливаються в організмі, без участі води)
У тварин (ракоподібні, кісткові риби, земноводні)	У тварин (плоскі й круглі черви, павукоподібні, комахи, плазуни, птахи, ссавці)
У рослин (водорості, вищі спорові рослини)	У рослин (голо- й покритонасінні)

Біологічне значення запліднення полягає в тому, що: 1) відновлюється хромосомний набір, притаманний даному виду; 2) спостерігається збільшення спадкового різноманіття, оскільки нащадки поєднують у собі ознаки як материнського, так і батьківського організмів.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

За допомогою таблиці порівняйте чоловічі та жіночі гамети і поясніть причини подібності й відмінностей.

### ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯЙЦЕКЛІТИН І СПЕРМАТОЗООНІВ

Особливості	Яйцеклітини	Сперматозоони
Набір хромосом		
Особливості будови		
Де утворюються?		
Розміри		
Форма		
Поживні речовини		
Здатність до руху		
Функції		



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Модельні організми

Лілія лісова (*Lilium martagon*) – багаторічна рослина родини Лілійні. Це єдиний вид лілій, який росте в Україні в дикорослому стані, занесений до Червоної книги України. Лілія лісова зображена на емблемі ботанічного саду ім. О. В. Фоміна. Ця рослина була об'єктом для відкриття **С. Г. Навашиним** (1857–1930) у 1898 р. подвійного запліднення у покритонасінних рослин. Схарактеризуйте особливості та оцініть значення гаметогенезу й запліднення для квіткових рослин.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке статеві клітини? 2. Назвіть типи гамет. 3. Що таке гаметогенез? 4. Назвіть стадії гаметогенезу. 5. Що таке запліднення? 6. Назвіть типи запліднення.
7 – 9	7. Що визначає особливості статевих клітин? 8. Як утворюються гамети? 9. Як відбувається запліднення гамет?
10 – 12	10. Які причини подібності й відмінностей яйцеклітини й сперматозоонів?

*Розвиток одноклітинної зиготи у багатоклітинний організм, чи то людської істоти, чи то дуба, відбувається в результаті процесів росту й диференціації.*

*К. Свенсон*

## § 31. ЗАКОНОМІРНОСТІ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ

**Основні поняття й ключові терміни:** **ОНТОГЕНЕЗ. Ріст. Диференціація.**

**Пригадайте!** Що таке розвиток?



### **Вправа**

Середня маса новонародженого становить 3 200 г, а маса дорослої людини – в середньому 64 кг. У скільки разів і завдяки чому відбувається збільшення маси новонародженого під час онтогенезу людини?



### **ЗМІСТ**

**Які основні закономірності онтогенезу?**

**ОНТОГЕНЕЗ** (від грец. *онтос* – те, що існує; *генезіс* – походження) – це індивідуальний розвиток особини від її зародження до смерті. Термін «онтогенез» ввів у науку німецький природодослідник **Е.Геккель** ще в 1866 р. Дослідженнями онтогенезу займається **біологія розвитку**. Основними завданнями цієї відносно молодшої науки, що виникла упродовж останніх сорока років ХХ ст., є вивчення закономірностей реалізації генетичної інформації організмів упродовж життя, пізнання механізмів росту й диференціації клітин, формування тканин й органів та процесів регуляції функцій, регенерації, старіння та ін.



Іл. 81. Ернест Геккель (1834–1919)

Особливості онтогенезу різних організмів залежать від рівня організації, особливостей життєдіяльності, походження тощо. Так, у багатоклітинних тварин в процесі утворення зародка виникають зародкові листки (ектодерма, ентодерма та мезодерма), з яких формуються тканини (епітеліальна, сполучна, м'язова і нервова), і органи, притаманні дорослим особинам. А у вищих рослин зародок має зародкові органи (зародковий корінець, стебельце й брунечку), що формуються із зародкової твірної тканини.

Незважаючи на суттєві відмінності, онтогенез різних організмів має й загальні спільні закономірності.

1. **Запрограмованість онтогенезу.** Програма індивідуального розвитку – це закодована в генах спадкова інформація, що реалізується у взаємодії з чинниками середовища.

2. **Нерівномірність процесів онтогенезу.** Процеси онтогенезу (ріст, диференціація, розмноження, регенерація, старіння) здійснюються з різною інтенсивністю в різні періоди й стадії розвитку особин. Наприклад, швидкість росту вища на початку онтогенезу, з віком спостерігається зниження адаптаційних можливостей та життєздатності організму.

3. **Незворотність онтогенезу.** Під час реалізації генетичної програми повернення до попередніх стадій онтогенезу неможливе. Хоча науковці описали вид медузи турітопсіс (*Turritopsis dohrnii*), яка унікальна тим, що демонструє певну форму безсмертя. Це єдиний відомий екземпляр серед тварин, який здатний після досягнення статевої зрілості повністю повертатись до статевонезрілої колоніальної стадії розвитку.

4. **Періодичність онтогенезу.** Основними періодами онтогенезу організмів є *ембріональний* (зародковий) та *постембріональний* (післязародковий).

Пізнання закономірностей, причин і чинників онтогенезу є науковою основою для пошуку засобів впливу на розвиток рослин, тварин і людини, що має важливе значення для сільського господарства, біотехнології, екології, медицини.

Отже, онтогенез – це індивідуальний, запрограмований, нерівномірний, періодичний розвиток організмів.

### **Які процеси є основою індивідуального розвитку організмів?**

Онтогенез – одне із найдивовижніших біологічних явищ, що відбувається завдяки росту й диференціації.

**Ріст** – процес, що забезпечує збільшення маси, розмірів, об'єму клітин завдяки переважанню процесів анаболізму. У одноклітинних організмів ріст здійснюється в інтерфазі й пов'язаний зі збільшенням клітини. Онтогенез багатоклітинних організмів окрім росту клітин супроводжується збільшенням ще й їх кількості. Ріст буває обмеженим і необмеженим. *Обмеженим є ріст* особини до певних розмірів, зазвичай за настання статевої зрілості (наприклад, більшість членистоногих, круглі черви, птахи, ссавці). У разі *необмеженого росту* особини збільшуються впродовж усього життя (наприклад, у вищих рослин, грибів, кільчастих червів, моллюсків, риб, плазунів). Залежно від будови покривів тіла, особливостей розвитку та умов довкілля ріст буває безперервним або періодичним. За *безперервного росту* особина поступово збільшується, доки не досягає певних розмірів або не вмирає. *Періодичний ріст* відбувається, коли періоди збільшення розмірів чергуються з періодами припинення росту (наприклад, круглі черви і членистоногі ростуть лише під час линяння). Тип росту особин кожного виду визначається спадково і залежить від регуляційних механізмів організму, дії факторів довкілля тощо.

**Диференціація** – процес виникнення відмінностей у будові та функціях клітин, тканин та органів під час онтогенезу. Іншими словами – це утворення різних клітин з початково однорідних клітин. Генетичний матеріал клітин при цьому залишається незмінним. Відбувається переважно в ембріогенезі, а також в постембріогенезі завдяки *стовбуровим клітинам* у тварин та *ініціальним клітинам* у вищих рослин. Для упорядкованості росту й диференціації різних клітин у багатоклітинному організмі мають місце процеси інтеграції. **Інтеграція клітин** – це процес поєднання клітин у постійні чи тимчасові клітинні комплекси для виконання

певних функцій. У такій системі першочергову роль відіграють міжклітинні контакти. Завдяки інтеграції проявляються властивості біологічних систем, що є ефектом взаємодії клітин.

В індивідуальному розвитку організмів мають місце й інші важливі процеси, як-то міграції клітин, сортування й склеювання (адгезія) клітин, процес запрограмованої загибелі клітин (апоптоз), регенерація та ін.

Отже, основними процесами онтогенезу організму є ріст та диференціація клітин.

### Як відбувається регуляція онтогенезу?

Індивідуальний розвиток організмів здійснюється шляхом вибіркової діяльності певних генів у відповідному місці й у відповідний час. Центральною гіпотезою біології розвитку є *гіпотеза диференціальної активності генів* (або *диференціальної експресії генів*), яка полягає у тому, що диференціація клітин відбувається без змін генотипу. Всі клітини мають певний набір генів, властивий організму, але експресія цих генів регулюється таким чином, що різні клітини синтезують різні білки, які й визначають особливості клітин. Основними механізмами, які зумовлюють вибіркочову роботу генів, у результаті чого виникають відмінності між клітинами, є регуляція на рівнях: а) транскрипції; б) дозрівання РНК; в) трансляції; г) післятрансляційної модифікації білків.

Також відомо, що на різних етапах онтогенезу активність генів залежить як від внутрішніх, так і від зовнішніх чинників. На початкових етапах розвитку між клітинами, що утворюються із зиготи, виникають відмінності в складі цитоплазми, пов'язані з різною кількістю жовткових включень та органел. Вважається, що цей *цитоплазматичний розподіл* (сегрегація) і є вихідним чинником, що активує в клітинах різні гени.

На пізніших етапах ембріонального розвитку вступає в дію *ембріональна індукція*. Це взаємодія між частинами зародка, завдяки чому одна із них визначає напрям розвитку сусідньої (іл. 82). Ембріональна індукція здійснюється в разі безпосереднього контакту клітин між собою. За відкриття організуючих ефектів у ембріональному розвитку німецький ембріолог *Х.Шпеман* (1869–1941) отримав Нобелівську премію з фізіології та медицини (1935). Пізніше було встановлено, що ці взаємовпливи здійснюються за участі спеціальних білкових речовин-індукторів, які надходять в ядро і змінюють активність генів.

На всіх етапах розвитку організмів велике значення має регуляція онтогенезу за допомогою *гормонів*. Так, значна кількість змін у пуголовка під час непрямого розвитку відбувається під дією тироксину – гормону щитоподібної залози. У тварин регуляція розвитку є значно складнішою, оскільки окрім гормональної здійснюється ще й *нервова регуляція*.



Іл. 82. Взаємодія частин зародка, який розвивається

Крім того, на всіх етапах онтогенезу значний вплив на розвиток організмів мають *чинники зовнішнього середовища* (наприклад, зміни температури, їжа, надходження кисню тощо).

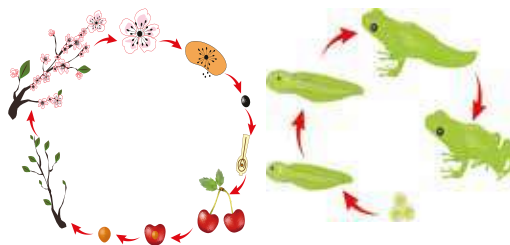
Отже, реалізація спадкової інформації генотипу під час індивідуального розвитку відбувається завдяки диференціальній активності генів, яка зазнає впливу внутрішніх та зовнішніх чинників.



## **ДІЯЛЬНІСТЬ**

### **Завдання на порівняння**

Перед вами на ілюстраціях онтогенез вишні і жаби. За допомогою таблиці порівняйте на конкретних прикладах онтогенез рослин і тварин та зробіть висновок про причини подібності й відмінностей.



Ознака	Онтогенез рослин	Онтогенез тварин
Коли починається онтогенез?		
Коли завершується онтогенез?		
Де відбувається ембріогенез?		
З чого формуються тканини і органи зародка?		
Коли починається постембріогенез?		
Які основні процеси онтогенезу?		



## **СТАВЛЕННЯ**

### **Біологія + Наука**

*Олександр Ковалевський* (1840 – 1901) – український природодослідник, якого цікавили порівняльна анатомія та ембріологія, фізіологія та гістологія тварин. Один із засновників Севастопольської біологічної станції, на базі якої було створено Інститут біології південних морів ім. О. Ковалевського НАН України. Сформулював вчення про зародкові листки і встановив загальні закономірності розвитку хребетних і безхребетних тварин. Про що свідчать ці спільні закономірності онтогенезу тварин?



## **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке онтогенез? 2. Яка наука вивчає онтогенез організмів? 3. Назвіть основні процеси онтогенезу? 4. Що таке ріст? 5. Що таке диференціація клітин? 6. Що таке інтеграція клітин?
7 – 9	7. Які основні закономірності онтогенезу? 8. Які процеси є основою індивідуального розвитку організмів? 9. У чому суть гіпотези диференціальної активності генів?
10 – 12	10. Які основні завдання та досягнення біології розвитку?

*Ріст і розвиток організму визначаються інформацією,  
що міститься в його ДНК.*

*Н. Грін, У. Стаут, Д. Тейлор. Біологія*

## § 32. ПЕРІОДИ ОНТОГЕНЕЗУ В БАГАТОКЛІТИННИХ ОРГАНІЗМІВ

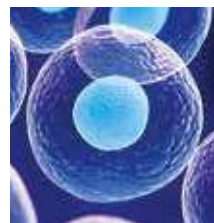
**Основні поняття й ключові терміни:** ЕМБРІОГЕНЕЗ. ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ. Стовбурові клітини.

**Пригадайте!** Що таке онтогенез, ріст і диференціація?



### Поміркуйте!

«Доросла людина складається з мільйонів мільйонів клітин. Їх в десять разів більше, ніж зір у нашій Галактиці чи піщинок на невеликому пляжі. Існують сотні типів клітин, і при цьому клітини кожного конкретного типу з'являються і поновлюються в потрібній кількості й у потрібний час. Вся ця складна конструкція розвивається із однієї заплідненої яйцеклітини» (Д. Дейвіс. Онтогенез). Яким чином із окремої зиготи виникають різні за будовою й функціями клітини? Як відбувається розвиток організму із зиготи?



### ЗМІСТ

#### **Які стадії ембріонального розвитку?**

**ЕМБРІОГЕНЕЗ** (від грец. *ембріо* – зародок і *генезіс* – походження) – це період онтогенезу від зиготи до народження. Перебіг ембріогенезу в різних організмів відбувається по-різному, але можна виокремити подібні особливості. Так, загальними процесами ембріогенезу рослин і тварин є мітотичні поділи зиготи, диференціація клітин, утворення тканин (гістогенез) й органів (органогенез) та ін. Всі ці процеси здійснюються під контролем генів. За відкриття, що стосуються генетичного контролю на ранніх стадіях ембріогенезу, Е. Льюїс, К. Ньюслейн-Фольгард та Е. Вішаус були удостоєні Нобелівської премії з фізіології та медицини (1995).

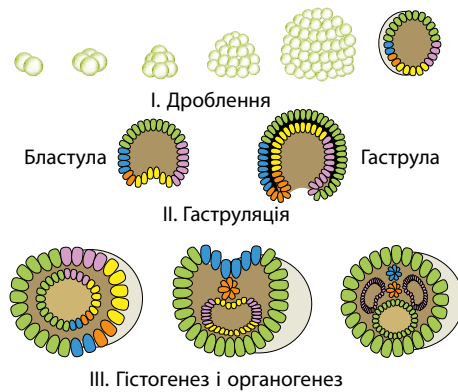
Особливості ембріогенезу рослин і тварин розглянемо на прикладі покритонасінних та хордових.

**Ембріогенез рослин** має такі етапи: 1) утворення із зиготи зародкової твірної тканини; 2) утворення зародкових органів – корінця й пагінця; 3) формування насінини. Реалізація спадкової інформації зиготи на початкових етапах відбувається в маточці квітки. Результатом ембріогенезу у квіткових рослин є насінина, що містить зародок та запас поживних речовин. Утворення постійних тканин та органів рослини відбуватиметься вже після проростання.

**Ембріогенез тварин** відбувається в яйці або всередині материнського організму і складається з етапів дроблення, гастрюляції та органогенезу.

**Дроблення** – ряд послідовних мітотичних поділів зиготи, що закінчуються утворенням одношарової стадії – **бластули**. Основним клітинним механізмом розвитку на цьому етапі є *поділ клітин*, що відбувається дуже швидко. Кількість клітин-бластомерів збільшується внаслідок мітозу, але росту немає.

**Гастрюляція** – це процес формування дво- або тришарового зародка – *гастрюли*. Ріст клітин під час гастрюляції не відбувається. Основними проявами поведінки клітин є *переміщення (міграція) клітин*, завдяки чому утворюються *зародкові листки*: зовнішній шар – *ектодерма*, внутрішній – *ентодерма* та середній – *мезодерма*. На етапі гастрюляції суттєву роль відіграють *взаємодії клітин*, що забезпечує узгоджене формування окремих частин організму.



Іл. 83. Етапи ембріогенезу тварин

**Гістогенез** й **органогенез** – *утворення тканин та органів* – здійснюються завдяки *мітозу, росту, міграціям й диференціації клітин*. У зародка тварин із зародкових листків формуються епітеліальні, сполучні, м'язові та нервова тканини, які утворюють органи (іл. 83).

Перед народженням зародок має органи, притаманні дорослому організмові, здатність до самостійного живлення і активного переміщення.

Отже, основними стадіями ембріогенезу є дроблення, гастрюляція, гістогенез та органогенез.

### Чим зумовлені особливості постембріогенезу організмів?

**ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ** (від лат. *post* – після і грец. *ембріо* – зародок) – це *післязародковий період, що триває від народження до загибелі*. У постембріогенезі організми починають *самостійний спосіб життя*, посилюється вплив чинників середовища. Через те ускладнюються життєві функції організму, активуються системи захисту, регуляції функцій, з'являються нові органи тощо. Основними проявами клітинної активності постембріогенезу є поділ, ріст, старіння, загибель клітин, регенерація тканин й органів. У постембріогенезі в більшості організмів відбуваються статеве дозрівання, розмноження, а потім старіння і смерть.

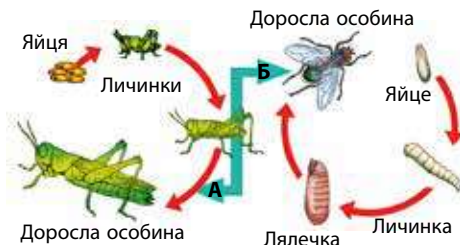
**Постембріогенез рослин** (на прикладі покритонасінних) має такі етапи: *етап проростка* (від проростання до формування перших зелених листків), *етап молодості* (від появи перших зелених листків до цвітіння), *етап зрілості* (від першого цвітіння до втрати здатності до розмноження насінням), *етап старіння* (від закінчення останнього плодоношення до загибелі) і *смерть*. Утворення рослинних тканин та органів відбувається після проростання насінини. У постембріогенезі рослин беруть участь *ініціальні клітини* твірних тканин, які постійно діляться. Першим із зародкового корінця формується корінь рослини, а потім пагін.

**Постембріогенез тварин** (на прикладі хордових) має такі етапи: *нестатевозрілий етап* (від народження до статевого дозрівання), *етап статевого дозрівання* (період появи здатності до статевого розмно-

ження), *етап статевої зрілості* (збігається зі здатністю до статевого розмноження), *етап старіння* (від втрати здатності до статевого розмноження і до загибелі) і *смерть*. Тканини й органи народженого організму закладено в ембріогенезі, а в постембріогенезі вони ростуть і поновлюються. Відновлення пошкоджень та заміна клітин відбуваються завдяки регенерації й *стовбуровим клітинам*.

За особливостями перетворень постембріогенез тварин може бути прямим і непрямим. **Прямий розвиток** – це розвиток, за якого щойно народжена тварина загалом нагадує дорослу (ссавці, плазуни, птахи, хрящові риби, павуки). Біологічне значення полягає в тому, що зменшується вразливість народженої тварини в середовищі життя. **Непрямий розвиток** – це розвиток, за якого утворюється личинка, яка перетворюється на дорослу особину безпосередньо або через перетворення (іл. 84). Біологічне значення непрямого розвитку полягає в здійсненні таких функцій: а) живильної; б) раціонального використання ресурсів; в) розселення; г) зараження хазяїв. Різновидами непрямого розвитку є:

- *непрямий розвиток з повним перетворенням* – це розвиток личинки, що супроводжується перебудовою всіх її органів (твердо-, луско-, дво-, перетинчастокрилі, блохи, кісткові риби, амфібії);
- *непрямий розвиток з неповним перетворенням* – це розвиток личинки, в якій перетворення зачіпають окремі органи (прямокрилі, таргани, клопи).



Іл. 84. Непрямий розвиток:  
А – з неповним перетворенням;  
Б – з повним перетворенням

Отже, особливості постембріогенезу зумовлюють початок самостійного життя та необхідність розмноження.

### Яке значення стовбурових клітин у постембріональному розвитку?

Стовбурові клітини є в усіх багатоклітинних організмів. Для цих клітин властивий поділ, за якого одна дочірня клітина залишається стовбуровою, а інша – стає клітиною-попередником для інших типів клітин. Існують дві категорії стовбурових клітин: *ембріональні стовбурові клітини*, що походять безпосередньо від бластомерів, та *стовбурові клітини дорослого організму*, що містяться у зрілих тканинах. У зародків ембріональні стовбурові клітини диференціюються в ембріональні тканини. Стовбурові клітини дорослого організму діють як репаративна система, підтримуючи потрібну кількість спеціалізованих клітин. Стовбурові клітини подібні до бригади швидкої медичної допомоги, яка може долати великі відстані до ушкодженого місця. Вони мають здатність не лише переміщуватися, а й знаходити та усувати пошкодження різних органів і тканин. За здатністю до диференціації стовбурові клітини поділяють на тотипотентні, плюрипотентні та уніпотентні. **Тотипотентні клітини** здатні давати початок усім тканинам



тіла і цілому організму, **плюрипотентні** – можуть диференціюватися у будь-який із типів клітин дорослого організму, але новий організм з них утворитися вже не може, а **уніпотентні** здатні розвиватися в клітині лише одного типу. Тотипотентними є лише зигота та бластомери до стадії морули включно (стадія дроблення з 32 бластомерів).



Іл. 85. Диференціація стовбурових клітин

Отже, **стовбурові клітини** – неспеціалізовані клітини, здатні до необмеженого поділу, що дають початок новим клітинам.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на порівняння

За допомогою таблиці «Порівняльна характеристика періодів та етапів онтогенезу рослин і тварин» порівняйте в робочих зошитах послідовність періодів та етапів онтогенезу рослин і тварин. Визначте подібність і відмінності.

Онтогенез рослин	Онтогенез тварин
ЕМБРІОНАЛЬНИЙ ПЕРІОД (ЕМБРІОГЕНЕЗ)	
1.	1.
2.	2.
3.	3.
ПОСТЕМБРІОНАЛЬНИЙ ПЕРІОД (ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ)	
1.	1.
2.	2.
3.	3.
4.	4.
5.	5.



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Екологія

**Бронзівка волохата**, або оленка волохата (*Tropinota hirta*), – комаха ряду Твердокрилі, яка є шкідником багатьох сільськогосподарських рослин. В останні роки спостерігається нашествя цього жука, який на стадії імаго поїдає квіти яблунь, груш, вишні та багатьох інших садових культур, завдаючи великих збитків. Які ж особливості розвитку цієї комахи і на яких стадіях онтогенезу заходи боротьби із шкідником будуть найефективнішими?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке ембріогенез? 2. Назвіть загальні процеси ембріогенезу рослин і тварин. 3. Що таке постембріогенез? 4. Назвіть етапи постембріогенезу рослин. 5. Назвіть етапи постембріогенезу тварин. 6. Що таке стовбурові клітини?
7 – 9	7. Які стадії ембріогенезу? 8. Чим зумовлені особливості постембріогенезу організмів? 9. Яке значення стовбурових клітин у постембріогенезі?
10 – 12	10. Які причини відмінностей ембріогенезу й постембріогенезу рослин і тварин?

## Узагальнення теми 4. ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

### СПАДКОВА (ГЕНЕТИЧНА) ІНФОРМАЦІЯ –

*сукупність відомостей про склад, будову білків і РНК і пов'язані з ними функції, що закладені в генах і закодовані в послідовності нуклеотидів молекул ДНК або РНК.*

Ця інформація передається потомству під час розмноження та статевих процесів (кон'югації, трансдукції, трансформації), реалізується в процесі індивідуального розвитку особини та проявляється у вигляді певних ознак і властивостей організму (табл. 8).

**Таблиця 8. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕМИ**

Поняття	Сутність
<b>ГЕН</b>	Ділянка ДНК, що містить інформацію про первинну структуру молекули білка або РНК і визначає можливість розвитку ознаки
ГЕНОМ	Сукупність спадкової інформації у клітинах організму певного виду, записаної на ДНК
<b>ХРОМОСОМИ</b>	Структури клітин еукаріотів, що забезпечують збереження, розподіл та передачу спадкової інформації
<b>ЕКСПРЕСІЯ ГЕНІВ</b>	Використання спадкової інформації генів для синтезу функціональних продуктів – молекул РНК та білків
<b>ТРАНСКРИПЦІЯ</b>	Передача інформації про первинну структуру білка з молекули ДНК на іРНК
ГЕНЕТИЧНИЙ КОД	Збереження спадкової інформації про амінокислоти білків у молекулах ДНК у вигляді послідовностей нуклеотидів
<b>ТРАНСЛЯЦІЯ</b>	Сукупність процесів, що здійснюють перетворення спадкової інформації іРНК у білок первинної структури
<b>РЕПЛІКАЦІЯ</b>	Самоподвоєння ДНК, що забезпечує точне копіювання спадкової інформації і передачу її з покоління в покоління
<b>РЕПАРАЦІЯ ДНК</b>	Сукупність процесів, за допомогою яких клітина знаходить і виправляє пошкодження молекул ДНК
ПОДІЛ КЛІТИН	Сукупність процесів, завдяки яким спадкова інформація клітини передається наступному поколінню клітин
КЛІТИННИЙ ЦИКЛ	Період існування клітини від одного поділу до іншого або до загибелі клітини
<b>МИТОЗ</b>	Поділ еукаріотичної клітини з утворенням двох клітин з таким самим набором хромосом, як у материнської клітини
<b>МЕЙОЗ</b>	Поділ еукаріотичних клітин, внаслідок якого утворюються дочірні клітини з удвічі меншим набором хромосом
РЕКОМБІНАЦІЯ ДНК	Перерозподіл генетичної інформації ДНК, що призводить до виникнення нових комбінацій генів
СТАТЕВІ КЛІТИНИ	Клітини з гаплоїдним набором хромосом для передачі спадкової інформації під час статевого розмноження
ЗАПЛІДНЕННЯ	Процес злиття чоловічої та жіночої статевих клітин з утворенням зиготи, яка дає початок новому організму
<b>ОНТОГЕНЕЗ</b>	Індивідуальний розвиток особини від її зародження до смерті, що відбувається відповідно до певних закономірностей
<b>ЕМБРІОГЕНЕЗ</b>	Період онтогенезу від зиготи до народження
<b>ПОСТЕМБРІОГЕНЕЗ</b>	Період онтогенезу, що триває від народження до загибелі

## Самоконтроль знань

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



### Тест-конструювання 4.

#### ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

- Де в клітинах павука зберігається спадкова інформація про будову, життєдіяльність й поведінку?  
Р в гені                      С в ядрі                      Т у хромосомі                      У у тРНК
- Який процес забезпечує копіювання спадкової інформації павука для її передачі наступному поколінню?  
Г репарація                      Д рекомбінація                      Е реплікація                      Є регенерація
- В якому наборі хромосом спадкова інформація передається наступному поколінню?  
К у гаплоїдному                      Л у диплоїдному                      М у триплоїдному                      Н у поліплоїдному
- Який процес забезпечує поєднання спадкової інформації самця і самки павука?  
А трансляція                      Б транскрипція                      В запліднення                      Г експресія
- Які структури визначають відмінність ознак самця від самки у павука?  
А гомологічні хромосоми                      Б геном                      Д аутосоми                      Е статеві хромосоми
- Які клітини здійснюють передачу спадкової інформації наступному поколінню?  
М нестатеві диплоїдні                      Н статеві гаплоїдні  
О нестатеві гаплоїдні                      П статеві диплоїдні
- Передні великі очі павуків містять фоторецептори із зоровими пігментами. Як називається процес утворення цих білків?  
У трансляція                      Ф транскрипція                      Х експресія                      Ц запліднення
- Павуки-павичі відомі своїми шлюбними танцями. Назвіть період і етап онтогенезу, коли спостерігаються ці прояви статевої поведінки.  
А ембріогенез; органогенез                      Б ембріогенез; гастрюляція  
В постембріогенез; етап статевої зрілості                      Г постембріогенез; етап дозрівання
- Павутина павуків-павичів, яку вони використовують для коконів, утворена з білка фіброїну. Як інформація про цю сполуку закодована в павуків?  
А у вигляді послідовності нуклеотидів ДНК  
Б у вигляді послідовності нуклеотидів РНК  
В у вигляді послідовності амінокислот  
Г у вигляді послідовності жирних кислот
- Павуки-павичі ведуть бродячий спосіб життя і постійно зазнають впливу чинників середовища. Як називається процес виправлення пошкоджень їхньої ДНК?  
Н репарація                      О рекомбінація                      П реплікація                      Р регенерація
- Як називається процес видозміни спадкової інформації, що є основою такої різноманітності?  
М репарація                      Н рекомбінація                      О реплікація                      П регенерація
- Самці павуків-павичів досягають розмірів всього до 5 мм. А який процес забезпечує їхній ріст?  
А брунькування                      Б мейоз                      В бінарний поділ                      Я мітоз

Правильні відповіді дадуть змогу отримати назву методу визначення послідовності нуклеотидів у ланцюзі ДНК.

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



## Тема 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК

*Генетика – це не лише основа біології, а й філософія життя взагалі.*

*Т. Бужівська*

### § 33. ГЕНЕТИКА. МЕТОДИ ГЕНЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Основні поняття й ключові терміни:** **ГЕНЕТИКА. Гібридологічний метод.**

**Пригадайте!** Що таке гени?



#### **Знайомтеся!**

**Грегор Йоганн Мендель** (1822–1884) – австрійський природодослідник, католицький священик. У звичайному садку провів досліди, що стали основою генетики. Результати досліджень Мендель опублікував у науковій праці «Експерименти із рослинними гібридами» у 1866 р., у якій ознайомив світ із законами спадковості.



#### **ЗМІСТ**

#### **Які завдання сучасної генетики?**

**ГЕНЕТИКА** (від грец. *генетіс* – походження) – наука про *закономірності спадковості та мінливості організмів*. Датою народження генетики вважається 1900 р., коли ботаніки – голландський – Хуго де Фріз (1845–1935), німецький – Карл Корренс (1864–1933) та австрійський – Еріх Чермак (1871–1962), незалежно один від одного, підтвердили закономірності спадковості, встановлені Г. Менделем.

Генетика як наука виникла внаслідок практичних потреб. Під час розведення домашніх тварин і культурних рослин здавна використовували схрещування організмів. На генетичних законах ґрунтується селекція тварин, рослин і мікроорганізмів. Велике значення має генетика для медицини, ветеринарії, спорту, криміналістики, фармацевтики та ін.

Завдання сучасної генетики пов'язані з її основними розділами:

- вивчення генетичних основ селекції для виведення нових порід тварин, сортів рослин та штамів мікроорганізмів (*селекційна генетика*);
- вивчення спадкових захворювань людини і тварин для їхньої профілактики і лікування (*медична генетика*);
- вивчення впливу радіації на спадковість і мінливість організмів для запобігання шкідливим мутаціям (*радіаційна генетика*);
- вивчення генетичної структури і динаміки популяцій для з'ясування закономірностей еволюції організмів (*популяційна генетика*);
- вивчення молекулярних основ спадковості для розвитку генетичної інженерії (*молекулярна генетика*);

- вивчення особливостей спадковості та мінливості у популяціях людей (*генетика людини*).

Окрім названих розділів виникли й розвиваються *імуногенетика, онтогенетика, психогенетика, фармакогенетика, екогенетика, цитогенетика* та ін.

Отже, сучасна генетика стрімко розвивається й характеризується проникненням майже в усі галузі людської діяльності, що зумовлено потребами суспільства.

### У чому суть основних методів генетичних досліджень?

Найдавнішим із методів генетики є гібридологічний метод, запропонований Г. Менделем. **Гібридологічний метод** – схрещування організмів та оцінювання прояву ознак у гібридів. Нащадків, одержаних від такого схрещування, називають гібридами (від лат. *hibrida* – помісь).

За найдавніших часів використовується вивчення родоводів. **Генеалогічний метод** – вивчення родоводів організмів для визначення характеру успадкування ознак. За його допомогою встановлюють генотип особин і визначають ймовірність прояву станів ознаки в нащадків.

За допомогою світлового мікроскопа проводять дослідження спадковості на клітинному рівні. **Цитогенетичні методи** – методи дослідження особливостей каріотипу організмів. Вивчення каріотипу дає змогу виявляти мутації, пов'язані зі зміною кількості хромосом і структури окремих із них.

**Біохімічні методи** використовують для вивчення спадкових захворювань, пов'язаних з обміном речовин. За їхньою допомогою виявляють спадкові порушення (наприклад, цукровий діабет, фенілкетонурію), зумовлені генними мутаціями.

**Близнюковий метод** застосовують для вивчення ролі середовища і генотипу у формуванні фенотипу особин. Особливе значення мають дослідження монозиготних (одноййцевих) близнят, які мають однакові генотипи.

**Популяційно-статистичний метод** – вивчення закономірностей спадковості й мінливості на рівні популяцій. Цей метод дає можливість вивчати частоти зустрічальності алелей й генотипів у популяціях організмів.

**Методи генетичної інженерії** – це особлива група методів, за допомогою яких вивчають переміщення, перебудову, сполучення генів і зміну спадковості. До цієї групи належать методи генної інженерії (наприклад, метод штучного синтезу генів поза організмом), методи клітинної інженерії (наприклад, метод гібридизації соматичних клітин) та ін.

У сучасній генетиці використовуються найрізноманітніші методи, але основним залишається гібридологічний метод.

### Які основні поняття генетики?

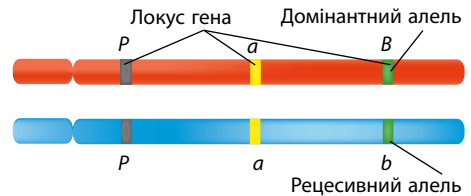
Предметом генетичних досліджень є спадковість та мінливість. **Спадковість** – здатність живих організмів передавати генетичну



Іл. 86. Монозиготні близнята

інформацію про свої ознаки й особливості індивідуального розвитку нащадкам. Матеріальними носіями спадковості є хромосоми, до складу яких входить ДНК. **Мінливість** – здатність живих організмів набувати нових ознак і їхніх станів у процесі індивідуального розвитку. Забезпечує пристосованість організмів до умов середовища та появу ознак.

Одиницями спадковості є гени. Пригадаємо, що *ген* є ділянкою молекули нуклеїнової кислоти, що кодує інформацію про білок чи РНК та визначає ознаки організмів. Прикладами спадкових ознак, які визначаються генами, є колір очей, форма плодів та ін. Кожний ген розташований у певній хромосомі, де займає визначене місце – локус (від лат. *locus* – ділянка). Кожна соматична клітина містить диплоїдний набір гомологічних хромосом, що мають у своїх локусах різні форми одного гена. **Алелі** (від грец. *алелон* – взаємний), або **алельні гени**, – стани гена, що визначають прояви ознаки і розташовані в однакових ділянках гомологічних хромосом (іл. 87). Алелі одного гена визначають різні прояви ознаки (наприклад, карий або блакитний колір очей, круглу або грушоподібну форму плодів у томатів). Одна з гомологічних хромосом несе алель від материнського організму, а друга – від батьківського. Алельні гени можуть бути **домінантними** (алелі, які в присутності іншого завжди проявляються у формі стану ознаки) і **рецесивними** (алелі, які пригнічуються в присутності домінантних і не проявляються станом ознаки).



Іл. 87. Алельні гени

В обох гомологічних хромосомах можуть перебувати однакові або різні алельні гени. **Гомозигота** – це клітина тіла або особина, гомологічні хромосоми якої містять однакові алелі певного гена. Гомозиготна особина в потомстві не дає розщеплення й утворює один сорт гамет. **Гетерозигота** – це клітина тіла або особина, гомологічні хромосоми якої містять різні алелі певного гена. Гетерозиготна особина в потомстві дає розщеплення й утворює різні сорти гамет.

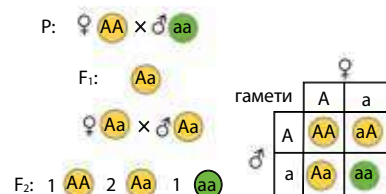
**Генотип** – сукупність усіх генів організму, які одержані від батьків. Це спадкова програма організму, яка є цілісною й взаємодіючою системою генів. Генотип у взаємодії із середовищем визначає фенотип. **Фенотип** – сукупність ознак і властивостей організму, які є результатом взаємодії генотипу з умовами зовнішнього середовища. Організми, які мають однаковий генотип, можуть відрізнятися один від одного за фенотипом.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Самостійна робота з ілюстрацією

Символ – умовний знак, який позначає іншу сутність. Знаком може бути зображення, слово, число, що замінює інше поняття. За допомогою додаткової літератури визначте сутність символів генетики.

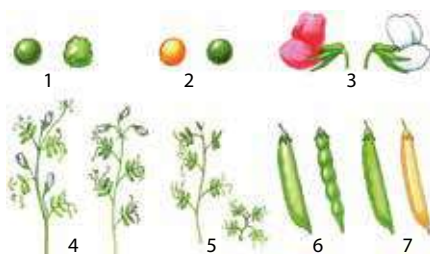


P – .....  
 x – .....  
 ♀ – .....  
 ♂ – .....  
 F – .....  
 G – .....

X, Y – .....  
 A, B, C ... – .....  
 a, b, c ... – .....  
 AA, AABB ... – .....  
 Aa, AaBb ... – .....  
 aa, aabb ... – .....

## Біологія + Модельні організми

Г. Мендель вивчав у гороху посівного (*Pisum sativum*) успадкування таких ознак, як: 1 – поверхня насіння; 2 – забарвлення насіння; 3 – забарвлення квіток; 4 – розташування квіток на пагоні; 5 – довжина стебла; 6 – форма бобів; 7 – забарвлення бобів. А які особливості гороху посівного зробили його вдалим об'єктом генетичних досліджень?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Наука

Зіставте прізвища науковців з визначними подіями в розвитку генетики, заповніть таблицю відповідей і отримайте назву методів, спрямованих на внесення змін до генотипу людини з метою лікування захворювань. Які нові завдання постають перед генетикою у XXI ст.?

#### КОРОТКИЙ ІСТОРИЧНИЙ НАРИС РОЗВИТКУ ГЕНЕТИКИ

Прізвище	Відкриття
1 Г. Мендель (1865)	<b>A</b> Відкриття мутацій під дією рентген-променів
2 Х. де Фріз, К. Корренс, Е. Чермак (1900)	<b>Г</b> Основні закономірності спадковості
3 У. Бетсон (1906)	<b>Е<sub>1</sub></b> Передвідкриті закони спадковості Г. Менделя
4 Г. Харді, В. Вайнберг (1908)	<b>Е<sub>2</sub></b> Закон гомологічних рядів спадковості
5 В. Л. Йогансен (1909)	<b>І</b> Структура ДНК та її значення в спадковості
6 М. І. Вавилов (1921)	<b>Н</b> Введення терміну «генетика»
7 Т. Морган (Нобелівська премія, 1933)	<b>О</b> Закон генетичної рівноваги популяцій
8 Г. Меллер (Нобелівська премія, 1946)	<b>П</b> Визначення природи генетичного коду
9 Ф. Крік, Л. Барнет, С. Бреннер (НП, 1961)	<b>Р</b> Хромосомна теорія спадковості
10 Ф. Крік, Дж. Уотсон та ін. (НП, 1962)	<b>Т</b> Введення термінів «ген», «генотип», «фенотип»
11 В. Арбер, Д. Натанс, Г. Сміт (НП, 1978)	<b>Я</b> Відкриття рестриктаз та їх застосування

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке генетика? 2. Які є розділи генетики? 3. Назвіть методи генетики. 4. Що таке гібридологічний метод? 5. Що таке ген і алельні гени? 6. Що таке гомозигота й гетерозигота, генотип і фенотип?
7 – 9	7. Які завдання сучасної генетики? 8. У чому полягає суть основних методів генетичних досліджень? 9. Які основні поняття генетики?
10 – 12	10. Яке значення генетичних знань у діяльності людини?





Які ж цитологічні основи I закону Менделя? Для дослідів використовувалися батьківські рослини (P) чистих ліній, тобто особини, що мають однакові алельні гени і прояви ознак. Усі рослини, що виростили із жовтого насіння, були домінантними гомозиготами (AA), а рослини із зеленого насіння – рецесивними гомозиготами (aa). При статевому розмноженні рослини з жовтого насіння утворювали гамети (G) з алельним геном A, а гамети рослин із зеленого насіння – гамети a. Поеднання таких гамет в зиготі давало генотип Aa, що був однаковим у всіх нащадків – гібридів першого покоління (F<sub>1</sub>).

Отже, **ЗАКОН ОДНОМАНІТНОСТІ ГІБРИДІВ ПЕРШОГО ПОКОЛІННЯ** формулюється так: під час моногібридного схрещування батьківських особин, що різняться проявами однієї ознаки, у потомстві спостерігаються лише домінантні прояви ознаки, і усі нащадки будуть одноманітними як за генотипом, так і за фенотипом.

### Чому серед нащадків спостерігається розщеплення?

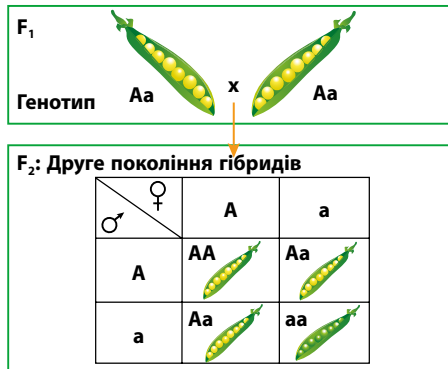
Під час схрещування гетерозиготних гібридів першого покоління між собою у другому поколінні з'являються особини як з домінантними, так і з рецесивними проявами ознак, тобто виникає *розщеплення* в певних відношеннях. **Розщеплення ознак** – явище появи обох проявів ознаки у гібридів другого покоління (F<sub>2</sub>), отриманих від схрещування гетерозиготних особин. Так, у дослідях 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* (ил. 89).

Чому ж відбувається розщеплення? Гібриди першого покоління є гетерозиготами (Aa) і за статевого розмноження утворюють два типи гамет, половина з яких з домінантним алелем (A), половина – з рецесивним (a). Під час запліднення й утворення зиготи вірогідними є чотири можливі комбінації – AA, Aa, Aa, aa, що дають розщеплення за генотипом 1AA:2Aa:1aa. За зовнішнім проявом особини AA і Aa не різняться, тому розщеплення за фенотипом буде у співвідношенні 3:1.

Отже, **ЗАКОН РОЗЩЕПЛЕННЯ** формулюється так: під час моногібридного схрещування двох гібридів першого покоління, які є гетерозиготами, у потомстві спостерігається розщеплення за фенотипом 3:1 і за генотипом 1:2:1.

### У чому сутність закону чистоти гамет?

Поява серед нащадків особин з рецесивним проявом ознак дала можливість Менделю зробити висновок про те, що «спадкові задатки»



Ил. 89. Схема моногібридного схрещування, що ілюструє II закон Менделя

можуть пригнічуватись, але не зникати. Оскільки передача прояву ознак здійснюється через гамети, то було сформульовано *гіпотезу чистоти гамет*. Пізніше ця гіпотеза отримала цитологічне пояснення, і в 1902 р. англійський генетик У. Бетсон сформулював *закон чистоти гамет*: в гібридного (гетерозиготного) організму гамети є «чистими».

Як уже зазначалося, в локусах гомологічних хромосом містяться алелі гена. Якщо це гетерозиготна особина, то в одній із гомологічних хромосом міститься домінантний алель, у другій – рецесивний. У разі утворення статевих клітин відбувається мейоз, і в кожному з гамет потрапляє гаплоїдний набір хромосом. Гамети мають лише одну хромосому з кожної пари гомологічних хромосом і, відповідно, лише один ген з кожної пари алельних генів, тобто гамети є чистими.

Отже, **закон чистоти гамет** формулюється так:  
під час утворення статевих клітин у кожному гамету потрапляє лише один алель з кожної пари алельних генів.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Практична робота № 3 (А)

#### СКЛАДАННЯ СХЕМ МОНОГІБРИДНОГО СХРЕЩУВАННЯ

**Мета:** закріплюємо знання I та II законів Менделя; формуємо уміння складати схеми моногібридного схрещування особин.

Для складання схем схрещування за умовами генетичних задач слід користуватись таким *алгоритмом*:

- визначення кількості ознак, що аналізуються;
- визначення проявів названих ознак (домінантних, рецесивних, проміжних);
- визначення типу схрещування;
- аналіз фенотипів, описаних у задачі, запис генотипів батьківських особин;
- визначення і запис можливих варіантів схрещування;
- відтворення схеми схрещування;
- запис відповіді.

#### Зразок складання схеми схрещування

**Вправа.** У людини карий колір очей домінує над блакитним. Гомозиготний кароокий чоловік одружився з блакитноокою жінкою. Який колір очей матимуть їхні діти?

Дано:	Розв'язання	
A – кароокість	Це моногібридне схрещування з повним домінуванням	
a – блакитноокість	<b>P</b>	AA × aa
F <sub>1</sub> – ?	<b>G</b>	(A) × (a)
	<b>F<sub>1</sub></b>	Aa – 100% (кароокість)

**Відповідь:** всі діти матимуть карий колір очей.

#### Вправи для самостійної роботи

**Вправа 1.** У томатів червоний колір домінує над жовтим. Запишіть схему схрещування і визначте, яких нащадків можна очікувати від схрещування:

**Варіант I:** а) Aa × Aa; б) AA × Aa.

**Варіант II:** а) aa × AA; б) Aa × aa.

**Вправа 2.** У дрозоділі сірий колір тіла домінує над чорним. Схрещуються сірі та чорні особини. Які генотипи батьківських особин, якщо від цього схрещування...

*Варіант I:* ...половина потомків мала сіре забарвлення, половина – чорне?

*Варіант II:* ...усі нащадки мають сіре забарвлення?

**Вправа 3.** У норок коричневе забарвлення хутра визначається домінуючим алелем, сіре – рецесивним. Визначте генотипи нащадків від схрещування:

*Варіант I:* сірого самця з коричневою гетерозиготною самкою;

*Варіант II:* коричневого гомозиготного самця із сірою самкою.

**Вправа 4.** У морської свинки хвиляста шерсть домінує над гладкою. Запишіть генотипи всіх тварин у таких схрещуваннях:

*Варіант I:* з хвилястою шерстю × з гладкою шерстю = усі нащадки з хвилястою шерстю.

*Варіант II:* з хвилястою шерстю × з гладкою шерстю = розщеплення 1 : 1.

**Вправа 5.** У людини низький зріст домінує над високим. Батьки низького зросту і гетерозиготні за цією ознакою. Яка вірогідність народження...

*Варіант I.* ...дітей високого зросту?

*Варіант II.* ...дітей низького зросту?

**Вправа 6.** У томатів алель нормальної висоти стебла домінує над алелем карликовості. Яке співвідношення генотипів буде в поколінні від схрещування...

*Варіант I.* ...гетерозиготної рослини з рецесивною гомозиготою?

*Варіант II.* ...гомозиготної карликової рослини з гомозиготною високою рослиною?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Математика

Г. Мендель досяг успіхів тому, що застосував гібридологічний метод досліджень, здійснював якісний добір матеріалу і використав статистичну обробку результатів. В юності його дуже цікавила фізика, він вивчав математику й особливо такі її розділи, як теорія ймовірностей й статистика. Що таке статистика? Як цей розділ математики допоміг Менделю в його дослідженнях?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке домінування ознак? 2. Як формулюється закон домінування? 3. Що таке розщеплення ознак? 4. Як формулюється закон розщеплення? 5. Хто сформулював закон чистоти гамет? 6. Що таке моногібридне схрещування?
7 – 9	7. Чому відбувається домінування проявів ознак? 8. Чому серед нащадків спостерігається розщеплення? 9. В чому полягає сутність закону чистоти гамет?
10 – 12	10. Схарактеризуйте закони Менделя на конкретних прикладах.

## § 35. ЗАКОНИ МЕНДЕЛЯ. НЕЗАЛЕЖНЕ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК

**Основні поняття й ключові терміни:** Дигібридне схрещування. ЗАКОН НЕЗАЛЕЖНОГО УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК. Аналізуюче схрещування.

**Пригадайте!** Як формулюються I та II закони Менделя?



### Знайомтеся!

**Реджинальд Пеннет** (1875–1967) – англійський біолог, один із засновників генетики. Учений став автором «решітки Пеннета» – двомірної таблиці, що її використовують для визначення результатів схрещування. Для побудови решітки Пеннета у клітинках по горизонталі відкладають усі можливі типи гамет одного із батьківських організмів, а по вертикалі – іншого.



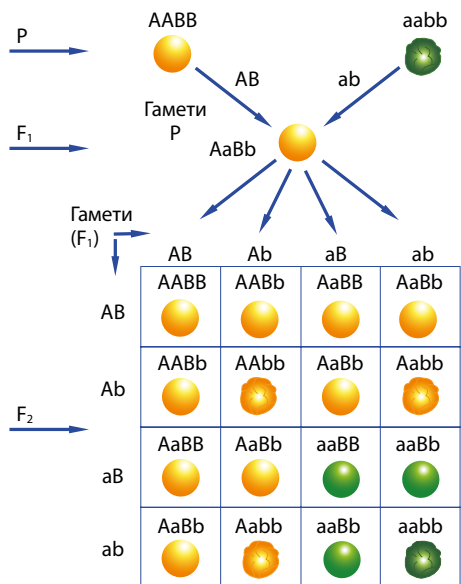
### ЗМІСТ

#### Як відбувається успадкування двох ознак?

**Дигібридне схрещування** – це схрещування батьківських особин, які різняться проявами двох ознак. Для вивчення того, як успадковуються дві ознаки, Г. Мендель обрав забарвлення насіння гороху та форму горошин (іл. 90). Колір насіння гороху, як ви вже знаєте, має два прояви – домінуючий жовтий і рецесивний зелений. Форма насіння буває гладенькою (домінуючий прояв) та зморшкуватою (рецесивний прояв).

Далі Мендель схрестив між собою чисті лінії, представники яких формували жовте насіння з гладенькою поверхнею та зелене зі зморшкуватою. Гібриди першого покоління утворювали лише насіння жовтого кольору з гладенькою поверхнею. Так Г. Мендель спостерігав прояв закону одноманітності гібридів першого покоління.

А якими будуть нащадки гібридів другого покоління? Після серії дослідів виявилось, що серед них спостерігаються чотири групи в співвідношенні 9 : 3 : 3 : 1. Дев'ять частин насіння було жовтого кольору з гладенькою поверхнею (315 насіння), три частини – жовтого кольору зі зморшкуватою поверхнею (101 насіння), ще три частини зеленого кольору з гла-



Іл. 90. Дигібридне схрещування гороху посівного

денькою поверхнею (108 насінин), а одна частина – зеленого кольору зі зморшкуватою поверхнею (32 насінини). Крім насіння, яке мало комбінації проявів ознак, притаманних батьківським формам (жовтий колір – гладенька поверхня та зелений колір – зморшкувата поверхня), з'явилися ще дві групи з новими комбінаціями (жовтий колір – зморшкувата поверхня та зелений колір – гладенька поверхня).

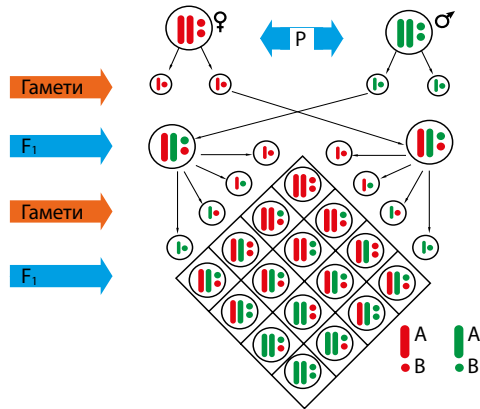
Щоб пояснити ці результати, Г. Мендель простежив успадкування різних проявів кожної ознаки окремо. Співвідношення насіння різного кольору гібридів другого покоління було таким: 12 частин насіння мало жовтий колір, а 4 – зелений, тобто розщеплення за ознакою кольору, як і в разі моногібридного схрещування, становило 3:1. Подібне спостерігали і під час розщеплення за ознакою структури поверхні насіння: 12 частин насіння мало гладеньку поверхню, а 4 – зморшкувату. Тобто розщеплення за ознакою структури поверхні насіння також було 3:1.

Ця закономірність отримала назву *третього закону Менделя*, або *закону незалежного успадкування* (закон незалежного комбінування ознак).

Отже, **ЗАКОН НЕЗАЛЕЖНОГО УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК** формулюється так: *кожна пара ознак успадковується незалежно від інших ознак.*

### Які цитогенетичні основи закону незалежного успадкування 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 гетерозиготи (AaBb), з яких розвиваються гібридні рослини (F<sub>1</sub>) з жовтими й гладенькими горошинами. Під час схрещування чи самозапилення гібридів (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 утворюються шляхом незалежного розходження гомологічних хромосом під час мейозу (іл. 91).



Іл. 91. Цитогенетичні основи III закону Менделя

Дуже важливо зрозуміти, що хромосоми кожної пари здійснюють цей процес незалежно від інших пар. У результаті хромосоми, одержані від батька і матері, перерозподіляються по гаметах цілком випадково. При цьому в гаметах утворюються нові поєднання хромосом, відмінні від тих, що існували в батьківських гаметах. Відбувається **рекомбінація ознак** – процес, що приводить до виникнення нових поєднань проявів ознак і збільшення генетичної різноманітності.

Поєднання однакових генотипів дає таке співвідношення за генотипом:  $1 : 1 : 2 : 2 : 4 : 2 : 2 : 1 : 1$ , а статистична обробка результатів за зовнішніми проявами ознак – співвідношення за фенотипом –  $9 : 3 : 3 : 1$ . За умови повного домінування доміnantних алелів над відповідними рецесивними жовте насіння з гладенькою поверхнею визначатиметься чотирма варіантами генотипу (AABB, AABb, AaBB, AaBb), жовте зі зморшкуватою – двома (AAbb, Aabb), зелене з гладенькою – також двома (aaBB, aaBb), а зелене зі зморшкуватою – одним (aabb).

### Генетична схема дигібридного схрещування

Дано:  
 А – жовте забарвлення насіння  
 а – зелене забарвлення насіння  
 В – гладенька форма насіння  
 в – зморшкувата форма насіння  
 F<sub>1</sub> – ?

P    AABB    ×    aabb  
 G    (AB)            (ab)  
 F<sub>1</sub>    AaBb    ×    aabb  
 (AB) (Ab)    (AB) (Ab)  
 (aB) (ab)    (aB) (ab)

Співвідношення за генотипом  $(1+2+1)^2$ :

1AABB : 2AaBB : 1aaBB

2AABb : 4AaBb : 2aaBb

1AAbb : 2Aabb : 1aabb

Співвідношення за фенотипом  $(3+1)^2$ :

9A-B- : 3A-bb : 3aaB- : 1aabb

		<b>AB</b>	<b>Ab</b>	<b>aB</b>	<b>ab</b>
	<b>AB</b>	AABB	AABb	AaBB	AaBb
F <sub>2</sub>	<b>Ab</b>	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
	<b>aB</b>	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
	<b>ab</b>	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Отже, за дигібридного схрещування різноманітність нащадків досягається різноманітністю гамет і комбінацій гамет, що виникають унаслідок випадкового й незалежного розходження гомологічних хромосом.

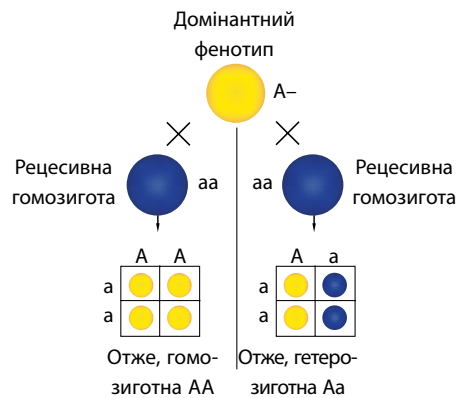
### У чому суть аналізуючого схрещування?

Для визначення й перевірки генотипів гібридних особин особливо важливими є аналізуючі схрещування.

**Аналізуюче схрещування** – це схрещування гібрида з невідомим генотипом (або AA, або Aa) з рецесивною гомозиготою, генотип якої завжди (aa) (іл. 92).

*I варіант.* Якщо під час схрещування особини з доміnantною ознакою (A-) з рецесивною гомозиготною (aa) особиною усе потомство виявиться одноманітним, значить аналізована особина з доміnantною ознакою гомозиготна (AA).

*II варіант.* Якщо під час схрещування особини з доміnantною ознакою (A-) з рецесивною гомозиготою (aa) отримане потомство дає розщеплення  $1 : 1$ , то досліджувана особина з доміnantною ознакою гетерозиготна (Aa).



Іл. 92. Схема аналізуючого схрещування

Отже, аналізуюче схрещування дає змогу визначити генотип гібридів, типи гамет та їх співвідношення.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Практична робота № 3 (Б)

#### СКЛАДАННЯ СХЕМ ДИГІБРИДНОГО СХРЕЩУВАННЯ

**Мета:** закріплюємо знання III закону Менделя; формуємо уміння складати схеми схрещування особин.

#### Розв'язування вправ

**Вправа 1.** Які типи гамет утворюють організми з такими генотипами: а) ААВВ; б) АаВВ; в) ааВВ; г) ААВв; д) Ааbb; е) АаВb?

**Вправа 2.** У томатів нормальна висота (А) і червоний колір плодів (В) – домінантні ознаки, а карликовість і жовтоплідність – рецесивні. Які плоди будуть у рослин, отриманих унаслідок схрещування: а) ААbb × ааВВ; б) АаВb × Аabb; в) АаВb × аabb?

**Вправа 3.** У людини кароокість і наявність ластовиння – домінантні ознаки. Кароокий без ластовиння чоловік одружується з блакитноокою жінкою, в якій є ластовиння. Визначте, якими в них будуть діти, якщо чоловік гетерозиготний за ознакою кароокості, а жінка гетерозиготна за ознакою ластовиння.

**Вправа 4.** У гарбуза біле забарвлення плодів домінує над жовтим, а кругла форма – над видовженою. Яким буде розщеплення за фенотипом при дигібридному схрещуванні батьківських особин з генотипами ААВВ×ааВb?

**Вправа 5.** Довгошерстого чорного самця морської свинки схрестили з чорною короткошерстою самкою. Отримано 15 свинок з короткою чорною шерстю, 13 – з довгою чорною, 4 – з короткою білою, 5 – з довгою білою. Визначте генотипи батьків, якщо чорна і довга шерсть є домінуючими проявами ознак.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Алгебра

Для розв'язування вправ у алгебрі досить часто використовують формули скороченого множення. Багато з них є окремими випадками бінома Ньютона. Що таке біном Ньютона? Чому дорівнює квадрат суми двох виразів і як його застосовують під час успадкування ознак?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке дигібридне схрещування? 2. Сформулюйте III закон Менделя. 3. Що таке рекомбінація ознак? 4. Скільки типів гамет утворюють гібриди другого покоління, що є дигетерозиготами? 5. Що таке аналізуюче схрещування? 6. Яке значення аналізуючого схрещування в генетиці?
7 – 9	7. Як відбувається спадкування двох ознак? 8. Які цитогенетичні основи закону незалежного спадкування ознак? 9. В чому полягає суть аналізуючого схрещування?
10 – 12	10. У яких галузях діяльності знання законів Менделя має особливе значення?

## § 36. ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ

**Основні поняття й ключові терміни:** ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ. Взаємодія алельних генів. Взаємодія неалельних генів.

**Пригадайте!** Що таке гени?



### Поміркуйте!

У Психологічній енциклопедії взаємодія визначається як прямий чи опосередкований вплив суб'єктів один на одного, який характеризується виникненням зв'язків і їх взаємозумовленістю. Дослідженнями встановлено існування таких видів взаємодії, як співдружність, конкуренція й конфлікт. А які особливості взаємодії генів у генотипі?



### ЗМІСТ

#### Які особливості взаємодії генів?

Успадкування ознак не завжди є такими простими й зрозумілими, як їх пояснюють закономірності Менделя. Пригадаємо, що основним постулатом менделівських схрещувань є те, що кожна ознака визначається своїм геном. У дійсності все набагато складніше. Наприклад, сучасні дослідження науковців указують на те, що в успадкуванні кольору очей у людини беруть участь мінімум шість генів. Їхня взаємодія визначає наявність, кількість та щільність розподілу форм меланіну в клітинах райдужної оболонки, що й визначає карий, зелений й блакитний – основні кольори та їхні відтінки.

Під взаємодією генів розуміють не взаємовпливи генів на активність один одного (цю функцію здійснюють регуляторні гени), а їхню спільну участь у формуванні ознаки. Молекулярні механізми взаємодії генів полягають в тому, що розвиток будь-яких ознак у організмів є наслідком складної взаємодії між функціональними продуктами діяльності генів – білками та РНК. Ці сполуки беруть участь в одних і тих самих клітинних біохімічних процесах, що впливають на формування ознаки. Таким чином, взаємодія генів – це взаємодія їхніх продуктів діяльності в цитоплазмі клітин.

Генотип особин є цілісною системою, хоча і складається з окремих генів. У цій історично сформованій системі виокремлюють два основні типи взаємодії генів: взаємодію алельних та взаємодію неалельних генів.

Види взаємодії генів	
Взаємодія алельних генів	Взаємодія неалельних генів
Повне домінування	Комплементарність
Неповне домінування	Полімерія
Множинний алелізм	Множинна дія генів

Отже, **ВЗАЄМОДІЯ ГЕНІВ** – взаємовпливи алельних генів за участі функціональних продуктів, особливості яких і визначають різні види успадкування ознак.



## Як відбувається взаємодія алельних генів?

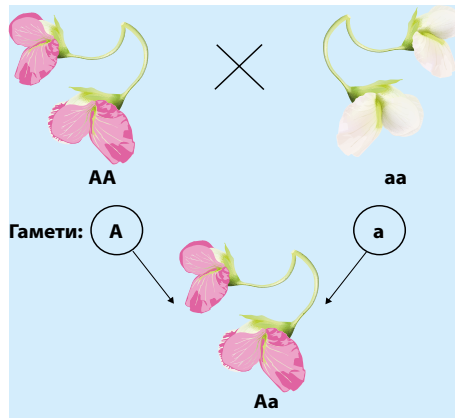
**Взаємодія алельних генів** – це взаємовпливи генів, які займають подібні локуси в гомологічних хромосомах.

Основною формою взаємодії алельних генів є **повне домінування**, яке вперше описано Г. Менделем. Повне домінування – це форма взаємодії алельних генів, за якої у гетерозиготного організму (Aa) домінуючий алель (A) повністю пригнічує дію рецесивного (a). В результаті такого впливу в гетерозигот спостерігається домінуючий прояв ознаки (іл. 93). Прикладом цієї форми взаємодії є успадкування забарвлення насіння гороху, зросту людини (низький зріст – домінуючий прояв, високий – рецесивний).

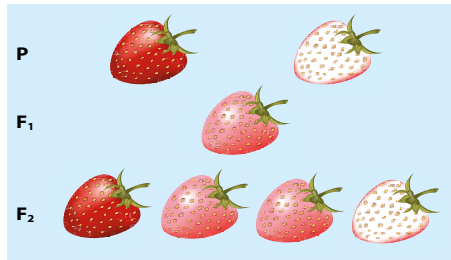
**Неповне домінування** – це форма взаємодії алельних генів, за якої у гетерозиготного організму (Aa) домінуючий алель (A) не повністю пригнічує рецесивний алель (a), внаслідок чого проявляється проміжний стан ознаки. За неповного домінування розщеплення за генотипом й фенотипом збігається і становить 1:2:1 (іл. 94). Прикладами ознак, які успадковуються за неповним домінуванням є: форма волосся людини (кучеряве, хвилясте і пряме), забарвлення пір'я курей (чорне, зозулясте і біле), забарвлення плодів суниць (червоне, рожеве і біле) та ін.

**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. Початковий нормальний стан гена позначається як «дикий тип». Так, у людини три алельні гени (їх позначають  $i^0$ ,  $I^A$ ,  $I^B$ ) в різних поєднаннях визначають 4 групи крові за системою АВО (табл. 9). Серії множинних алелей визначають також забарвлення хутра у лисиць, кроликів, гвінейських свинок, кішок, забарвлення очей у дрозофіли та ін.

Отже, основними формами взаємодії алельних генів є повне домінування, неповне домінування і множинний алелізм.



Іл. 93. Успадкування забарвлення квітів гороху за типом повного домінування



Іл. 94. Успадкування забарвлення плодів суниць за типом неповного домінування

**Таблиця 9. ГЕНОТИПИ ЛЮДИНИ З РІЗНИМИ ГРУПАМИ КРОВІ ЗА СИСТЕМОЮ АВО**

Група крові	Генотип
I (0)	$i^0 i^0$
II (A)	$I^A I^A$ або $I^A i^0$
III (B)	$I^B I^B$ або $I^B i^0$
IV (AB)	$I^A I^B$ (кодомінування)

## Як відбувається взаємодія неалельних генів?

**Взаємодія неалельних генів** – це взаємовпливи генів, що розташовані в різних неідентичних ділянках гомологічних хромосом.

**Комплементарність** – це форма взаємодії декількох домінантних неалельних генів, які разом визначають розвиток нового прояву ознаки. За цього виду взаємодії ознака буде розвиватися внаслідок взаємодії білків, утворених під контролем двох неалельних генів. Так, у хвилястих папуг взаємодія домінантних генів жовтого (А) і синього (В) забарвлення визначає зелене забарвлення (АВ) (іл. 95). За типом комплементарної взаємодії успадковуються колір шерсті у кроликів, форма гребеня у курей, синтез захисних білків-інтерферонів та розвиток нормального слуху (за наявності двох домінантних генів) у людини та ін.



Іл. 95. Комплементарна взаємодія генів у хвилястих папуг

**Полімерія** – це форма взаємодії неалельних генів, за якої декілька домінантних неалельних генів впливають на ступінь розвитку ознаки. Неалельні гени, що одночасно діють на формування однієї і тієї самої ознаки, називають полімерними. Так, колір шкіри у людини визначається шістьма полімерними генами. У корінних жителів Африки переважають домінантні алелі чорного забарвлення, у представників європеоїдної раси – рецесивні алелі білого кольору (іл. 96). Полімерна взаємодія генів визначає також урожайність пшениці, цукристість буряку, несучість курей, кількість і жирність молока великої рогатої худоби, артеріальний тиск людини, вміст вітамінів у плодах та ін.



Іл. 96. Полімерне спадкування кольору шкіри у людини

**Множинна дія генів (плейотропія)** – це явище впливу одного гена на прояв різних ознак. Так, у людини один ген визначає руде забарвлення волосся, світлий колір шкіри і наявність ластовиння (іл. 97). Причиною плейотропії може бути також участь продукту одного гена в кількох біохімічних реакціях. Наприклад: червоні квіти супроводжуються в деяких видів рослин червонуватим стеблом, у сортів з білими квітами – стебла зелені, у дрозофіл відсутність пігменту в очах призводить до забарвлення органів, знижує плодючість і тривалість життя та ін.



Іл. 97. Множинна дія гена в людини

Отже, основними формами взаємодії неалельних генів є комплементарність, полімерія та множинна дія генів.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Застосуйте знання та визначте характер успадкування наведених спадкових ознак людини.

Ознака	Прояви ознаки	Вид взаємодії генів
Зріст	Низький зріст (домінантний ген), високий (рецесивний)	
Форма волосся	Кучеряве – доміантний прояв, пряме – рецесивний прояв, хвилясте (проміжний прояв)	
Групи крові за системою АВ0	Наявність антигенів (домінантні гени), їхня відсутність (рецесивний)	
Колір шкіри	Чорне забарвлення – доміантні прояви, біле – рецесивні	
Слух	Нормальний слух за наявності двох доміантних генів, глухонімота – за відсутності одного чи обох	

### Розв'язування вправ

**Вправа 1.** Якими можуть бути діти від шлюбу чоловіка і жінки з хвилястим волоссям, якщо кучеряве волосся – доміантний прояв ознаки, а пряме – рецесивний?

**Вправа 2.** У матері I група крові, а в батька – IV. Чи можуть діти успадкувати групу крові одного з батьків?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Практика

Колір очей – надзвичайно цікава тема, якою переймалися дослідники протягом століть. Практично завжди очі новонароджених мають саме блакитний колір, який згодом темнішає в міру впливу на нього сонячного світла. Приблизно до трьох-чотирьох років очі дитини зазвичай набувають постійного, що залишається на все життя, кольору, будь він блакитним, зеленим, коричневим, бурштиновим, сірим, фіолетовим і навіть червоним. Застосуйте статистичний метод, проведіть дослідження і визначте частоту зустрічальності (у відсотках) проявів кольору очей у різних класах вашої школи.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке взаємодія генів? 2. Назвіть основні типи взаємодії генів. 3. Що таке взаємодія алельних генів? 4. Назвіть основні форми взаємодії алельних генів. 5. Що таке взаємодія неалельних генів? 6. Наведіть приклади взаємодії неалельних генів.
7 – 9	7. Які особливості взаємодії генів? 8. Як відбувається взаємодія алельних генів? 9. Як відбувається взаємодія неалельних генів?
10 – 12	10. Застосуйте знання генетики і на конкретному прикладі поясніть особливості взаємодії генів у генотипі.

Жодна жива істота не дала людству стільки відкриттів,  
як маленька плодова мушка дрозофіла.  
Із журналу «Станіславський натураліст»

## § 37. ЗЧЕПЛЕННЯ ГЕНІВ. КРОСИНГОВЕР

**Основні поняття й ключові терміни:** ЗЧЕПЛЕННЯ ГЕНІВ. Закон зчепленого успадкування. КРОСИНГОВЕР. Хромосомна теорія спадковості.

**Пригадайте!** Що таке закон успадкування генів?



### Знайомтеся!

Уперше зчеплення генів відкрили в 1906 р. англійські генетики *У. Бетсон* і *Р. Пеннет*. Вони вивчали дигібридне схрещування у горошку запашного (*Lathyrus odoratus*) і виявили відхилення від закону незалежного успадкування генів. Що ж таке зчеплення генів?



### ЗМІСТ

#### Як Т. Морган експериментально довів зчеплення генів?

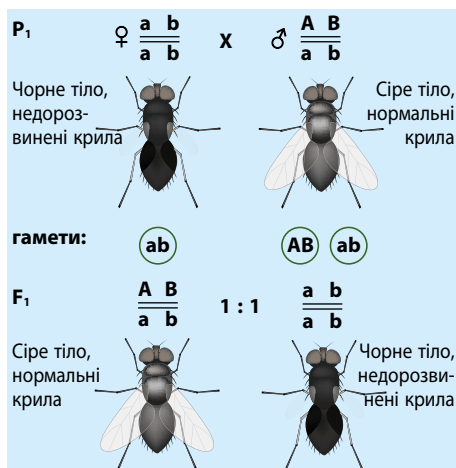
Учені вже давно звернули увагу на те, що кількість спадкових ознак організмів значно перевищує кількість їх хромосом у гаплоїдному наборі. Отже, в кожній хромосомі є не один, а багато генів. Ці гени успадковуються зчеплено один з одним, утворюючи групу зчеплення. Кількість груп зчеплення в організмів певного виду дорівнює кількості хромосом у гаплоїдному наборі (наприклад, у дрозофіли є 4 групи зчеплення).



Іл. 98. Т. Х. Морган у своїй лабораторії (Fly Room)

**ЗЧЕПЛЕННЯ ГЕНІВ** – це явище спільного розташування й успадкування генів, локалізованих в одній хромосомі. Експериментальне доведення явища зчеплення генів здійснив американський генетик **Томас Хант Морган** (1866–1945) зі своїми учнями за допомогою дослідів із плодовою мушкою дрозофілою чорночеревою (*Drosophila melanogaster*).

У чому суть цих дослідів? Самців дрозофіли, гомозиготних за домінантними алелями сірого тіла (А) та нормальними крилами (В), схрестили із самками, гомозиготними за відповідними рецесивними алелями чорного тіла (а) та недорозвинутих крил (b) (іл. 99). Генотипи цих особин позначили відповідно ААВВ та ааbb.



Іл. 99. Зчеплене успадкування з повним зчепленням генів

Усі гібриди першого покоління мали сіре тіло і нормальні крила, тобто були гетерозиготними за обома парами алелів (генотип AaBb). Від аналізуючого схрещування дигетерозиготної особини-самця (AaBb) з рецесивною дигомозиготою (aabb) отримано **лише дві групи нащадків!** За отриманими результатами Т. Морган припустив, що гени забарвлення тіла й форми крил містяться в одній хромосомі. Тому утворюються два типи гамет і в поєднанні з гаметами одного типу самки виникають лише дві групи особин з такими самими фенотипами, що й у батьків. Тобто спостерігається зчеплене успадкування з повним зчепленням генів.

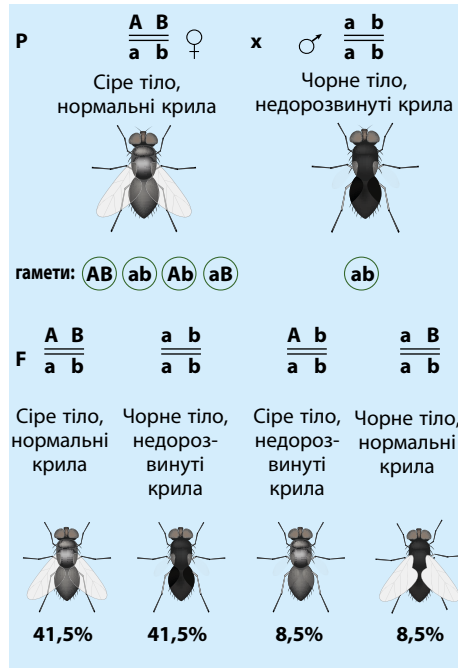
Отже, **закон зчепленого успадкування** (закон Морган, 1911) формулюється так: зчеплені гени, які локалізовані в одній хромосомі, успадковуються разом і не виявляють незалежного розподілу.

### Яке значення має кросинговер за неповного зчеплення генів?

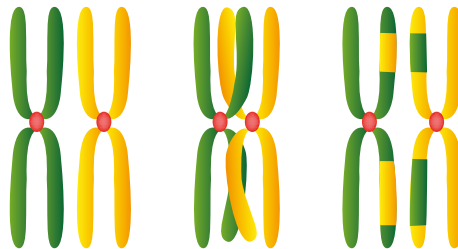
А якими будуть результати від аналізуючого схрещування дигетерозиготної особини-самки ( $\frac{AB}{ab}$ ) з рецесивним дигомозиготним ( $\frac{ab}{ab}$ ) самцем? Зверніть увагу на запис генотипів у разі зчепленого успадкування.

У цих дослідах Т. Морган отримав, окрім двох груп, які були подібні до батьківських (по 41,5%), ще дві групи особин (по 8,5%), які мали «перехрещені» комбінації ознак. На підставі цих даних Т. Морган припустив, що гени, які визначають забарвлення тіла і форму крил, розташовані в одній хромосомі, але в процесі мейозу під час утворення гамет гомологічні хромосоми можуть обмінюватися ділянками, тобто має місце перехрещування хромосом, або кросинговер. У цьому разі відбувається зчеплене успадкування з неповним зчепленням генів (іл. 100).

**КРОСИНГОВЕР** – процес, під час якого гомологічні хромосоми обмінюються певними ділянками. Перехрещування хромосом зумовлює зміну спадкової інформації і є найважливішим механізмом спадкової мінливості (іл. 101). Кросинговер спостерігається в профазі



Іл. 100. Зчеплене успадкування з неповним зчепленням генів



Іл. 101. Кросинговер є механізмом рекомбінації спадкової інформації

мейозу I після злиття гомологічних хромосом (*кон'югації*) і має випадковий характер. Хоча частота кросинговеру є величиною сталою, на неї можуть чинити вплив стать, вік, температура, рентгенівські промені, деякі хімічні сполуки та ін.

Отже, зчеплення генів завдяки кросинговеру може бути неповним, що забезпечує спадкову різноманітність нащадків.

### Яке значення хромосомної теорії спадковості?

Хромосомна теорія спадковості виникла на основі клітинної теорії на початку XX ст. Вперше була обґрунтована Т. Бовері і У. Сеттоном, детально розроблена Т. Х. Морганом і його співробітниками (Г. Дж. Меллером, А. Стертевантом). Реальність кросинговеру була доведена в 1933 р. К. Штерном у дослідах з дрозофілами і американськими ученими Х. Крейтоном і Б. Мак-Клінток – у дослідах з кукурудзою.

Основні положення сучасної хромосомної теорії спадковості такі.

- Гени розташовані в хромосомах. Різні хромосоми містять неоднакову кількість генів.
- Кожний ген займає певне місце в хромосомі.
- Алельні гени займають однакові локуси гомологічних хромосом.
- Гени розташовані вздовж хромосом у лінійному порядку.
- Усі гени однієї хромосоми утворюють групу зчеплення. Кількість груп зчеплення дорівнює гаплоїдному набору хромосом.
- Зчеплення між генами в одній хромосомі порушуються внаслідок кросинговеру, через що відбувається обмін алельними генами.
- Сила зчеплення між двома генами обернено пропорційна відстані між ними.

Значення хромосомної теорії спадковості для розвитку біології полягає у тому, що з'ясовано матеріальну основу законів спадковості, за генами закріплена роль елементарних одиниць спадковості, з'ясовано відхилення за зчепленого успадкування генів.

Отже, **хромосомна теорія спадковості** – це узагальнення наукових знань, згідно з яким хромосоми є матеріальною основою спадковості, тобто спадковість ознак організмів у ряді поколінь визначається спадковістю їхніх хромосом.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Практична вправа

##### **Визначення відстані між генами і частоти кросинговеру**

За одиницю відстані між генами прийнято *1 морганіду*, яка дорівнює 1% кросинговеру. Відстань між генами обчислюють за формулою:

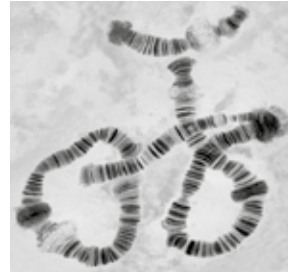
$$L_{AB} = \frac{m + n}{100} \cdot 100\%,$$

де  $L_{AB}$  – відстань між генами;  $m$  і  $n$  – кількість особин у кожній кросомерній групі потомків;  $N$  – загальна кількість некросомерних (їх завжди більше) і кросомерних (їх завжди менше) потомків під час схрещування. Використайте цю формулу для розв'язування вправи.

Сіре забарвлення тіла домінує над чорним, а нормальна будова крил – над зачатковими крилами. У результаті схрещування дигетерозиготних самок із самцями, які мають чорне тіло і недорозвинуті крила, у потомстві дістали таких мушок: 1394 – сірих з нормальними крилами, 1418 – чорних із зачатковими крилами, 288 – сірих із зачатковими крилами і 287 – чорних із нормальними крилами. Визначте відстань між генами.

### **Біологія + Фізика**

У сучасній генетиці науковці вже можуть бачити окремі гени в хромосомах. Для цього ген виділяють з хромосоми, за допомогою флуоресцентних барвників забарвлюють і повертають на своє місце. Ген розташовується в хромосомі, а барвник дає змогу побачити в мікроскопі, де саме містяться гени. Що таке флуоресценція та яке її значення у біологічних дослідженнях?



Хромосома під флуоресцентним мікроскопом



### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія + Модельні організми**

Дрозофіла чорночерева має швидку зміну поколінь, високу плодючість (самки відкладають до 100 яєць на день), чотири пари хромосом: три пари аутосом і одну пару статевих хромосом. Догляд за цими плодовими мухами вимагає мінімум оснащення та небагато місця. Все це робить дрозофілу ідеальним модельним організмом для досліджень з генетики, фізіології, еволюції, імунології, медицини. Які ж відкриття були здійснені з допомогою мушки дрозофіли? Підготуйте письмове повідомлення про значення цих відкриттів.



Дрозофіла чорночерева (*Drosophila melanogaster*)



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке зчеплення генів? 2. Як формулюється закон зчепленого успадкування? 3. Назвіть типи зчеплення генів. 4. Що таке кросингвер? 5. Що таке хромосомна теорія спадковості? 6. Назвіть положення сучасної хромосомної теорії спадковості.
7 – 9	7. Як Т. Морган експериментально довів зчеплення генів? 8. Яке значення має кросингвер під час неповного зчеплення генів? 9. Яке значення хромосомної теорії спадковості?
10 – 12	10. Доведіть значення знань про зчеплення генів для науки й практики.

## § 38. ГЕНЕТИКА СТАТІ. УСПАДКУВАННЯ, ЗЧЕПЛЕНЕ ЗІ СТАТТЮ

Основні поняття й ключові терміни: **Успадкування, зчеплене зі статтю.**

**Пригадайте!** Що таке хромосоми?



### Новини науки

На матеріалі різних видів енотери канадські науковці довели одну із найважливіших гіпотез біології: статеве розмноження краще за нестатеве, тому що в організмів, які розмножуються статеве, більша витривалість: із часом у їхніх нащадків не накопичуються шкідливі мутації. Результати дослідження представлено в журналі *Molecular Biology and Evolution*.



### ЗМІСТ

#### Які ознаки визначають стать?

Статеві ознаки можуть бути морфологічними, фізіологічними, біохімічними, поведінковими тощо, але всі вони визначаються генами. Ознаки статі поділяють на первинні та вторинні. **Первинними статевими ознаками** є ті ознаки, що визначають наявність та будову репродуктивних органів, які беруть участь у гаметогенезі та заплідненні (наприклад, маточка квіткових чи яєчники ссавців). Ці ознаки формуються в ембріогенезі. **Вторинні статеві ознаки** відрізняють одну стать від іншої й не беруть участі у відтворенні. Вони залежать від первинних ознак, розвиваються під дією гормонів і з'являються в організмів в період статевого дозрівання (наприклад, особливості будови тіла чоловіків й жінок, пір'евий покрив самців і самок фазанів) (іл. 102).



Іл. 102. Вторинні статеві ознаки самки і самця фазана

Розвиток статевих ознак в онтогенезі є складним процесом, що відбувається під дією чинників середовища і великої кількості генів. Гени, що визначають статеві ознаки, розташовані в статевих хромосомах і аутосомах:

- 1) гени статевих хромосом, що визначають **ознаки, зчеплені зі статтю** (наприклад, гемофілія та дальтонізм у людини, забарвлення очей у дрозофіли);
- 2) гени аутосом, що проявляються лише в однієї зі статей (наприклад, несучість птахів, розміри молочних залоз) або у представників обох статей (наприклад, ріст волосся у людини).



Y-хромосома



X-хромосома

Іл. 103. Статеві хромосоми людини (X і Y) під електронним мікроскопом



У більшості організмів стать визначається генами **статевих хромосом** (іл. 103). Для позначення цих хромосом використовують літери X, Y, Z і W. Відсутність статевої хромосоми позначається цифрою 0. Стать, яка продукує гамети, що не відрізняються за статевими хромосомами, називається *гомогаметною* (XX, ZZ), а стать, у якої гамети відрізняються, – *гетерогаметною* (XY, Z0).

Отже, стать характеризується сукупністю ознак, що визначаються генами, розташованими в статевих хромосомах і аутосомах.

### Як визначається стать під час розвитку організмів?

Існує три основні типи визначення статі за часовою організацією: до запліднення, в момент запліднення та після запліднення.

Визначення статі *до запліднення*, як правило, відбувається внаслідок неоднакового розподілу поживних речовин між яйцеклітинами. З бідних на поживні речовини яйцеклітин розвиваються самці, а з багатих – самки (наприклад, у коловерток і попелиць).

Визначення статі *після запліднення* пов'язане з впливом чинників зовнішнього середовища. Так, у крокодилів, черепах з відкладених яєць самці та самки вилуплюються залежно від температури середовища.

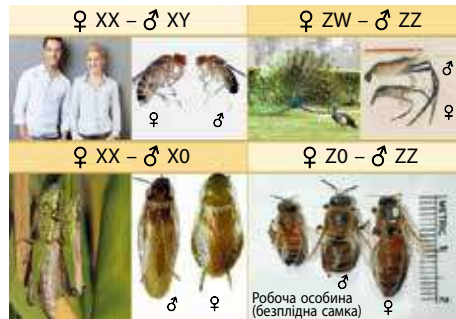
У більшості роздільностатевих організмів стать майбутньої особи визначається в момент запліднення і залежить від того, скільки і які зі статевих хромосом поєднуються в зиготі.

В органічному світі існують різні типи хромосомного визначення статі (іл. 104):

- 1) XX – жіноча стать; XY – чоловіча стать (наприклад, ссавці, амфібії, двокрилі комахи);
- 2) XX – жіноча стать; X0 – чоловіча стать (таргани, прямокрилі);
- 3) ZZ – чоловіча стать; ZW – жіноча стать (наприклад, птахи, рептилії);
- 4) ZZ – жіноча стать; Z0 – чоловіча стать (наприклад, бджоли, моль).

Диплоїдний набір хромосом організмів, що розмножується статевим, містить аутосоми (хромосоми, однакові у особин різної статі) та гоносоми, або статеві хромосоми (неоднакові хромосоми особин різної статі). Так, у людини загальна кількість хромосом дорівнює  $2n = 46$ , серед яких наявні 44 аутосоми та 2 статеві хромосоми ( $44A + XX$  – жіноча стать,  $44A + XY$  – чоловіча стать).

Початковим етапом визначення статі є вплив на яйцеклітину, зиготу чи особину **стать-детермінуючих факторів**. Це можуть бути як фактори середовища (температура, кількість поживних речовин у яйцеклітині тощо), так і генетичні (наявність у зиготі генів, котрі визначають стать). Дія **стать-детермінуючого фактора** зумовлює експресію відповідного **ключового гена**, який впливає на активність інших генів. Так, у ссавців ключовим геном є ген *TDF/SRY* (*Testis*



Іл. 104. Типи хромосомного визначення статі

*Determining Factor / Sex determining Region Y gene*), розташований у Y-хромосомі. Цей ген, у свою чергу, активує **гормони**, що впливають на гени, які визначають стать, а згодом і на **чинники диференціації** статевих ознак.

Отже, формування статі в організмів визначається генотипом й умовами середовища.

### Які особливості успадкування, зчепленого зі статтю?

**Успадкування, зчеплене із статтю**, – це успадкування ознак, гени яких розташовані в статевих хромосомах. Цей вид зчепленого успадкування відкрив Т. Морган у 1910 р., досліджуючи успадкування забарвлення очей у дрозоділи. Приклади ознак, зчеплених зі статтю: а) ознаки, які успадковуються через X-хромосому, – гемофілія, дальтонізм, колір емалі зубів у людини, колір шерсті у кішок тощо (іл. 105); б) ознаки, що успадковуються через Y-хромосому – оволошіння вušних раковин (гіпертрихоз), рогові луски на шкірі (іхтіоз) у людини та ін.

Успадкування ознак, зчеплених зі статтю, має свої певні особливості, що відрізняють його від інших типів успадкування:

- ознаки, гени яких локалізовані у X-хромосомі, успадковуються представниками і жіночої, і чоловічої статі;
- якщо рецесивний алельний ген зчеплений з X-хромосою, то у жіночої статі він проявляється лише в гомозиготному стані, а в чоловічої – у гемізіготному (стан зиготи, у якій певний ген представлений лише одним алелем);
- ознаки, зчеплені з Y-хромосою, успадковуються лише представниками чоловічої статі і називаються голандричними.

Розглянемо для прикладу успадкування дальтонізму. Встановлено, що цей прояв ознаки визначає рецесивний алель, локалізований в X-хромосомі. Якщо чоловік дальтонік ( $X^dY$ ) одружується з гомозиготною жінкою з нормальним колірним зором ( $X^DX^D$ ), то вірогідність появи дальтонізму серед нащадків дорівнює нулю. Як видно зі схеми схрещування, всі нащадки за фенотипом матимуть нормальний колірний зір, але доньки будуть носіями рецесивного алеля.

Дано:	<b>P</b>	$X^DX^D \times X^dY$
$X^D$ – нормальний колірний зір	<b>G</b>	$\begin{matrix} (X^D) & (X^d) & (Y) \end{matrix}$
$X^d$ – дальтонізм	<b>F<sub>1</sub></b>	$1X^DX^d : 1X^dY$
F <sub>1</sub> – ?		

$X^BX^b$  – руда кішка  
 $X^BY$  – рудий кіт

$X^BX^B$  – чорна кішка  
 $X^BY$  – чорний кіт



$X^BX^b$  – черепахова кішка

Іл. 105. Успадкування забарвлення шерсті у кішок, зчеплене зі статтю

Отже, успадкування, зчеплене зі статтю, має особливості, що визначаються розташуванням генів у статевих хромосомах.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Генетика статі – це розділ генетики, що вивчає роль спадковості й мінливості у визначенні статі організмів. За допомогою таблиці визначте особливості визначення статі у людини.

#### ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТАТІ У ЛЮДИНИ

Запитання	Відповідь
Які типи гамет утворює жіноча стать?	
Які типи гамет утворює чоловіча стать?	
Коли визначається стать?	
Який набір хромосом жіночої статі?	
Який набір хромосом чоловічої статі?	
Приклади ознак, що успадковуються зчеплено з X-хромосомою	
Приклади ознак, що успадковуються зчеплено з Y-хромосомою	

#### Практична вправа «Успадкування забарвлення шерсті у кішок»

У кішок руде забарвлення шерсті домінує над чорним. Гетерозиготи мають черепахове забарвлення. Ген забарвлення зчеплений із статтю (X-хромосома). Якими можуть бути нащадки, якщо: а) кіт чорний, а кішка – руда; б) кіт чорний, а кішка черепахова; в) кіт рудий, а кішка – чорна?



Черепахове забарвлення кішки



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Наука

Англійський фізик і хімік *Джон Дальтон* (1766 – 1844) не знав про свою колірну сліпоту до 26 років. У нього були три брати і сестра, і двоє з братів страждали від цієї самої хвороби. Тільки після того, як у 1790 р. Дальтон захопився біологією, стало зрозумілим, що йдеться про спадкове захворювання. Оцініть важливість генетичного консультування та генетичних знань для оцінювання спадкових ознак у сучасних родинах і плануванні родини.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке стать? 2. Які ознаки є статевими? 3. Назвіть три основні типи визначення статі. 4. Які ви знаєте типи хромосомного визначення статі? 5. Що таке зчеплене зі статтю успадкування ознак? 6. Наведіть приклади зчепленого зі статтю успадкування ознак.
7 – 9	7. Які гени визначають статеві ознаки? 8. Як визначається стать під час розвитку організмів? 9. Які особливості успадкування, зчепленого зі статтю?
10 – 12	10. На конкретному прикладі охарактеризуйте успадкування, зчеплене зі статтю.

## § 39. МІНЛИВІСТЬ. МОДИФІКАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ

### Основні поняття й ключові терміни: МІНЛИВІСТЬ. МОДИФІКАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ.

**Пригадайте!** Що таке генотип і фенотип?



#### **Поміркуйте!**

«Зима була вже над носом, і Японець Малі виставив клітку кішки на двір, захистивши її лише від дощу та вітру. Він почав годувати кішку досхочу макухою та риб'ячими головами. Клітка утримувалася в чистоті, і так як природа, відгукуючись на холодну погоду і маслянисту їжу, робила котячу шубку з кожним днем все розкішнішою і блискучішою, до середини зими захолузна кішка перетворилася на кішку рідкісної краси, з чудовою, пухнастою шерстю, розмальованою прекрасними смугами...» (Е.Сетон-Томпсон. Королівська Аналостанка). Про яку властивість живого йдеться?



#### **ЗМІСТ**

#### **Які є форми мінливості?**

**МІНЛИВІСТЬ** – здатність організмів набувати нових ознак, які зумовлюють відмінності між особинами в межах виду. Мінливість як властивість живого протилежна спадковості. Причинами мінливості є зміни структури чи діяльності генетичного апарату та вплив умов середовища. Залежно від природи мінливості розрізняють дві основні її форми: спадкову і неспадкову. Перша з них пов'язана зі зміною генотипу, друга – фенотипу. Межа між формами мінливості є умовною, оскільки фенотип визначається взаємодією генотипу із середовищем (табл. 10).

Таблиця 10. ФОРМИ МІНЛИВОСТІ

Неспадкова, або фенотипова (виникає без змін генотипу і не зберігається в разі статевого розмноження)	Спадкова, або генотипова (пов'язана зі зміною генотипу і тому зберігається в поколіннях)	
<b>Модифікаційна</b> (фенотип змінюється під впливом певних умов існування організмів)	<b>Мутаційна</b> (змінюється генотип унаслідок мутацій)	<b>Комбінаційна</b> (генотип змінюється внаслідок утворення нових комбінацій генів)

Спадкова і неспадкова мінливість забезпечують усю різноманітність морфологічних, фізіологічних та етологічних особливостей організмів. Роль форм мінливості в еволюції органічного світу різна. Із спадковою мінливістю пов'язана поява нових ознак та їх комбінування в організмів, а неспадкова – забезпечує пристосування організмів до умов середовища, що змінюються.

Отже, мінливість пов'язана зі змінами генотипу й фенотипу, тому виокремлюють спадкову й неспадкову її форми.

## Які властивості модифікаційної мінливості?

**МОДИФІКАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ** – це форма неспадкової мінливості, яка пов'язана зі змінами фенотипу внаслідок впливу умов існування. Модифікаційна мінливість трапляється в усіх організмів незалежно від видової належності. Порівняння квіткових рослин одного виду, які зростають в різних умовах (у затінку, на сонячних місцях, за підвищеної вологості, в горах чи на рівнинах), дає змогу помітити відмінності у розмірах й формі листків, кількості квіток, масі плодів тощо. У тварин модифікації проявляються зміною забарвлення, розмірів, маси тіла, жировими запасами на несприятливий період життя тощо.

Модифікаційні зміни ознак не успадковуються, але їхній діапазон мінливості є спадковим і визначається генотипом. Виникнення модифікацій є результатом зміни діяльності генів у різних умовах середовища. Цим, зокрема, пояснюється поліпшення шерсті королівської аналостанки та зміна забарвлення шерсті гімалайського кролика (іл. 106).

Загальними властивостями модифікаційної мінливості є:

- **тимчасовість** (наприклад, *засмага* людини повністю зникає взимку);
- **масовість** (певний вплив зумовлює появу подібних змін в особин виду: наприклад, в устриць, які живуть у тихій воді, черепашка широка й округла, а в устриць із зони припливу черепашки вузькі й довгі);
- **спрямованість** (наприклад, заміна шерсті ссавців на густішу зумовлена впливом низьких температур, а не дією освітлення);
- **визначеність** (один і той самий вплив чинника спричиняє подібні зміни в усіх особин виду; наприклад, у зайців зимове хутро світлішає);
- **приспосувальний характер** (наприклад, зі збільшенням висоти над рівнем моря кількість еритроцитів у крові людини збільшується).

Отже, модифікаційна мінливість відіграє виняткову роль у житті організмів, забезпечуючи зазвичай їхню пристосованість до мінливих умов середовища.

## Як досліджують модифікаційну мінливість?

Для дослідження закономірностей модифікаційної мінливості формують **вибірку** – певну сукупність об'єктів чи ознак для спостережень. Для достовірності результатів вибірка має містити дані не менш ніж 25 спостережень. На підставі даних вибірки будують **варіаційний ряд** – послідовність чисельних показників проявів певної ознаки, розташованих у порядку зростання чи спадання. Особливості варіаційного ряду можна зобразити у вигляді **варіаційної** кривої.



Іл. 106. Зміна забарвлення шерсті гімалайського кролика під дією температури



Іл. 107. Стрілиця звичайна з надводними, плаваючими й підводними листками

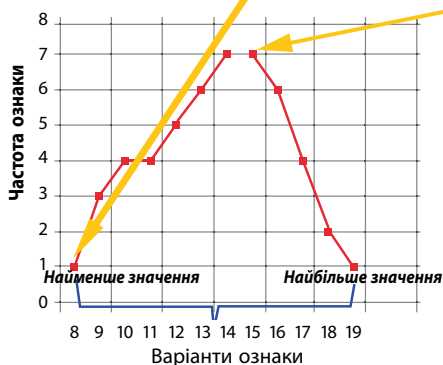


Розмір насіння, мм

12	11	10	9	14	16	9	11	14	13
13	14	8	15	16	15	10	15	16	17
12	11	9	13	14	17	13	16	12	16
10	15	12	17	15	14	10	15	13	17
14	15	13	18	14	12	16	19	18	11

Варіанта – кожний розмір насіння в ряду

Розмір насіння, мм	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Частота ознаки	1	3	4	4	5	6	7	7	6	4	2	1



**Варіаційна крива** – графічне вираження характеру мінливості ознаки, яка відображає розмах варіацій і частоту зустрічальності варіант

Іл. 108. Варіаційний ряд і варіаційна крива за ознакою розміру насіння гарбуза

Це графічне вираження кількісних показників мінливості певної ознаки (іл. 108). Для характеристики мінливості ознаки вираховують 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.

Під час дослідження ознак найчастіше виявляються такі статистичні закономірності.

- *Різні ознаки мають різний розмах норми реакції. Норма реакції* – межі модифікаційної мінливості ознаки, які визначаються генотипом. Межі норми реакції зумовлені генотипом, але прояв ознаки в межах норми реакції змінюється під впливом 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 чи несприятливих умов трапляється рідко.
- *На розмах модифікаційної мінливості впливають зовнішні та внутрішні умови.* Чим однорідніші зовнішні умови розвитку даних особин, тим меншою мірою проявляється модифікаційна мінливість.

Отже, закономірності модифікаційної мінливості є статистичними, тому що проявляються під час дослідження багатьох варіант тієї чи іншої ознаки.

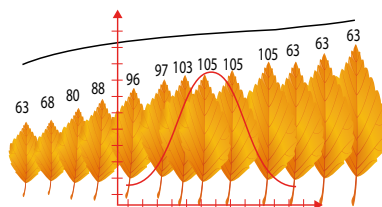


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Лабораторне дослідження «ВИВЧЕННЯ МІНЛИВОСТІ У РОСЛИН І ТВАРИН»

**Мета:** формуємо дослідницькі уміння визначати закономірності модифікаційної мінливості, будувати варіаційний ряд та варіаційну криву.

**Обладнання й матеріали:** черепашки моллюсків-серцевидок, боби квасолі, насіння гарбуза тощо.



#### Хід роботи

1. Оберіть ознаку для дослідження і визначте сукупність спостережень кількісної ознаки, тобто **вибірку**.
2. Визначте діапазон мінливості ознаки, тобто **норму реакції**.
3. Визначте варіанти ознаки і частоту кожної з варіант ознаки. Результати запишіть до таблиці і складіть **варіаційний ряд**.
4. Побудуйте **варіаційну криву**.
5. Визначте **середнє значення ознаки**.
6. Підсумок роботи.

## Біологія + Медицина

Засмага (засмаглисть) – потемніння кольору шкіри під дією ультрафіолетового випромінювання, внаслідок якого в нижніх шарах епідермісу шкіри відкладається пігмент меланін. Яке позитивне й негативне значення для організму людини мають ультрафіолетові промені? Доведіть модифікаційну природу мінливості засмаги людини.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Статистика

Біологи здійснюють багато досліджень, щоб зрозуміти й оцінити відносний внесок генотипу й умов середовища у мінливість ознак. Однак часто виникає ще одне важливе джерело мінливості – випадковість, яка обов'язково трапляється на всіх рівнях організації життя і враховується у статистичній обробці досліджень. На конкретному прикладі поясніть значення випадковості для формування генотипу і фенотипу організмів.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке мінливість? 2. Яке значення мінливості? 3. Що таке модифікаційна мінливість? 4. Наведіть приклади модифікаційної мінливості ознак. 5. Назвіть основні закономірності модифікаційної мінливості. 6. Який характер мають закономірності модифікаційної мінливості?
7 – 9	7. Які є форми мінливості? 8. Назвіть властивості модифікаційної мінливості. 9. Як досліджують модифікаційну мінливість?
10 – 12	10. На прикладах доведіть значення мінливості в життєдіяльності людини.

## § 40. КОМБІНАЦІЙНА ТА МУТАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ

**Основні поняття й ключові терміни:** КОМБІНАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ. МУТАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ. Закон гомологічних рядів спадкової мінливості.

**Пригадайте!** Що таке спадкова мінливість?



### Поміркуйте!

«Коли відкрили гробницю єгипетського фараона Тутанхамона, то присутніх найбільше схвилювали не коштовності, а китичка польових квітів, яку поклала чиясь любляча рука. Серед них можна було впізнати волошки, які синіють на полях так, як і тисячоліття тому. Зберігаючи сталість форм та ознак, жодна жива система не повторює свою попередницю: так досконало поєднала природа спадковість і мінливість».



А яке значення форм спадкової мінливості?



### ЗМІСТ

#### Яке значення комбінаційної мінливості?

**КОМБІНАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ** – це форма спадкової мінливості, що виникає завдяки перерозподілу генетичного матеріалу в нащадків. За комбінаційної мінливості успадковуються нові поєднання генів, а самі гени не змінюються. Завдяки комбінативній мінливості також реалізується механізм «знешкодження» фенотипного прояву мутацій шляхом переведення їх у гетерозиготний стан.

Причиною виникнення проявів комбінаційної мінливості є *рекомбінації* (від лат. *re* – префікс, що вказує на повторну дію, *combinatio* – поєднання) – перерозподіл генетичного матеріалу. Це універсальний біологічний механізм, властивий всім живим істотам. Рекомбінація в еукаріотів відбувається під час статевого розмноження, у прокаріотів – завдяки статевим процесам (наприклад, кон'югації).

Джерелами комбінаційної мінливості є:

- кросинговер – обмін ділянками гомологічних хромосом, що відбувається під час мейозу;
- незалежне розходження гомологічних хромосом під час мейозу;
- випадкове злиття гамет під час запліднення.

Завдяки незалежному та одночасному здійсненню цих процесів виникає велика різноманітність генотипів.

Отже, комбінаційна мінливість сприяє спадковій різноманітності організмів, що є основою для виведення нових порід й сортів у селекції та історичного розвитку живої природи.



## Які властивості та значення мутаційної мінливості?

### МУТАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ –

це форма спадкової мінливості, яка пов'язана із змінами генотипу внаслідок мутацій. Цю мінливість зумовлюють зміни генотипу особин на рівні генів, хромосом та кількості хромосом, тому її відносять до генотипної. Виникають мутаційні зміни під дією внутрішніх та зовнішніх чинників.

Загальними властивостями мутаційної мінливості є:

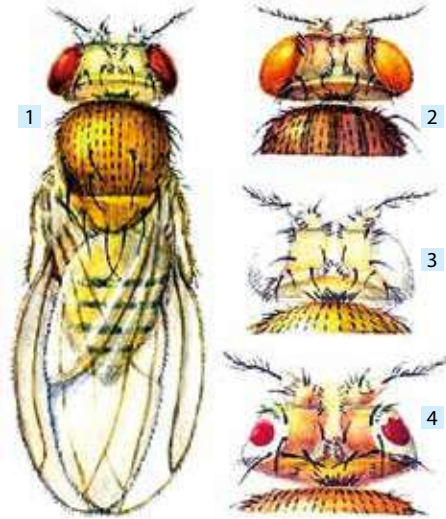
- **стійкість** (мутації не зникають упродовж життя особини);
- **індивідуальність** (мутаційні зміни проявляються в окремих особин);
- **неспрямованість** (один і той самий чинник може сприяти появі різних мутаційних змін);
- **невизначеність** (не можна передбачити появу мутації під дією того чи іншого чинника);
- **незалежність** (прояв мутацій у фенотипі не залежить від сили чи тривалості дії чинника);
- **не мають пристосувального характеру** (мутаційні зміни у більшості випадків є шкідливими, нейтральними і навіть летальними, тобто смертельними для організмів).

Мутаційні зміни генотипу ведуть до появи ознак, які можуть мати різне значення. Більшість мутацій, що проявляються в організмів, мають шкідливий характер, оскільки знижують пристосованість до умов середовища. Так, у дрозофіл можуть з'являтися короткі крила, у людини – гемофілія. Серед проявів мутаційної мінливості є й нейтральні прояви ознак, що не впливають на пристосованість, але за певних змін середовища існування можуть виявитися корисними. Прикладами таких змін можна назвати появу трьох чи п'яти пелюсток у бузку, різне забарвлення очей у дрозофіли (іл. 109). Мутаційні зміни можуть мати й адаптивне значення, забезпечуючи пристосування до умов середовища. Але загалом у живій природі мутації є джерелом появи нових ознак, джерелом генетичної різноманітності, що є умовою історичного розвитку життя.

Отже, мутаційна мінливість пов'язана зі зміною генотипу і сприяє появі нових ознак, які можуть мати шкідливе, нейтральне та адаптивне значення.

## У чому сутність закону гомологічних рядів спадкової мінливості?

Досліджуючи спадкову мінливість ознак різних сортів культурних рослин і близьких до них диких видів, **М.І. Вавилов** виявив багато



Іл. 109. Мутації забарвлення очей у дрозофіли: 1 – червоні очі дикого типу; 2 – мутація рожевих очей; 3 – мутація білих очей; 4 – мутація червоно-крапкових очей

спільних спадкових змін. Це дало змогу йому сформулювати у 1920 р. **закон гомологічних рядів у спадковій мінливості** (закон Вавилова):

**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.**

Прикладами, що ілюструють цю закономірність, є: у пшениці, ячменю і вівса трапляються білий, червоний і чорний кольори колосу; у злакових відомі форми з довгими і короткими остюками та ін. М. І. Вавилов указував, 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 (від лат. *albus* – білий) спостерігається в усіх класів хребетних тварин (і не лише серед хребетних) (іл. 111).

Для селекції закон гомологічних рядів дає змогу передбачити мутації, що їх можна використовувати для створення нових форм. Так, було передбачено ознаки озимої форми твердої пшениці, безостість у м'якої, твердої пшениці та ячменю, голі зерна у пшениці, ячменю, вівса.

Для медичної генетики закон гомологічних рядів полегшує пошуки спадкових відхилень. Питання лікування і профілактики спадкових захворювань не можна розв'язати без дослідження на тваринах зі спадковими аномаліями, які подібні до тих, що спостерігаються в людини. Так, у собак спостерігається гемофілія, альбінізм зареєстрований у багатьох видів гризунів, кішок, собак й птахів. Для вивчення м'язової дистрофії слугують миші, велика рогата худоба, коні, епілепсії – кролі, пацюки, миші. Вади будови обличчя людини, що гомологічні «заячій губі» та «вовчій пащі», спостерігаються в лицьовому відділі черепа миші, собак, свиней.

Для систематики закон Вавилова дає змогу знаходити ще не відкриті форми й доповнювати природну систему органічного світу.

Отже, закон гомологічних рядів спадкової мінливості має значення для селекції, генетики, систематики.



Іл. 110. М. І. Вавилов (1887 – 1943)



Іл. 111. Альбінізм серед молюсків



### **ДІЯЛЬНІСТЬ**

#### **Завдання на порівняння**

За допомогою таблиці «Порівняльна характеристика модифікаційної та мутаційної мінливості» зробіть порівняльний аналіз. Сформулюйте висновок про подібність та відмінності модифікаційної й мутаційної мінливості.

Ознака	Мінливість	
	модифікаційна	мутаційна
Чи передаються наступному поколінню?		
Який характер збереження після появи?		
Який характер прояву серед особин виду?		
Який характер прояву відносно чинника?		
Який характер за передбачуваністю проявів?		
Чи залежить прояв від сили й тривалості дії чинника?		
Який характер проявів за значенням для організму?		

### **Біологія + Фразеологізм**

«Біла ворона» – цей вираз вживається для характеристики людини, яка вирізняється серед інших своєю поведінкою, зовнішнім виглядом. Фразеологізму майже дві тисячі років. Його автор – давньоримський поет Ювенал, який писав: «Доля наділяє царство різним людям, тільки щасливців таких менше, ніж білих ворон». Яка причина альбінізму, що трапляється не лише серед ворон?



### **СТАВЛЕННЯ**

#### **Біологія + Мистецтво**

*Нікколо Паганіні* (1782–1840) – італійський скрипаль, композитор та гітарист. Одна з найяскравіших особистостей музичної історії XVIII–XIX ст. Його віртуозне виконання музичних творів стало легендою. Ціною надзвичайного успіху скрипаля була мутація, яка зумовлює, окрім й інших ознак, неймовірну гарячковитість й довжелезні «павукові» пальці (*арахнодактилія*). Прослухайте один із відомих творів композитора (наприклад, «Каприс № 24. Ля мінор») та опишіть свої почуття. Підготуйте повідомлення про синдром Марфана, що його мав Н. Паганіні.



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке комбінаційна мінливість? 2. Назвіть джерела комбінаційної мінливості? 3. Що таке мутаційна мінливість? 4. Наведіть приклади мутаційної мінливості. 5. Хто сформулював закон гомологічних рядів спадкової мінливості? 6. Наведіть приклади, що підтверджують закон гомологічних рядів спадкової мінливості.
7 – 9	7. Яке значення комбінаційної мінливості? 8. Які властивості та значення мутаційної мінливості? 9. У чому сутність закону гомологічних рядів спадкової мінливості?
10 – 12	10. Порівняйте модифікаційну й мутаційну мінливість.

## § 41. МУТАЦІЇ. МУТАГЕНЕЗ

**Основні поняття й ключові терміни:** Мутаційна теорія. МУТАЦІЇ. Мутагени.

**Пригадайте!** Що таке мутаційна мінливість?



### Поміркуйте!

«Є понад 25 000 сортів троянд. Серед них – із пелюстками зеленого чи чорного кольору, з дуже великими й дуже малими квітками, колючі й без колючок. Є навіть такі, що пахнуть гвоздикою, гіацинтом, ваніллю... Але все то троянди!» Що спричиняє появу ознак, що їх людина закріплювала в селекції троянд?



### ЗМІСТ

#### Яке наукове значення мутаційної теорії?

**Мутаційна теорія** – розділ генетики, що вивчає причини, різноманітність та значення мутацій. Основні положення теорії мутацій були сформульовані голландським ботаником Гуго де Фрізом (1848–1935). Розвиток теорії пов'язаний з дослідженнями таких учених, як Г.Д. Меллер, В.В. Сахаров, Г.А. Надсон, С.М. Гершензон та ін. Основою сучасної мутаційної теорії є такі положення.

- Здатність утворювати мутації є універсальною властивістю всіх живих організмів
- Мутації виникають раптово, стрибкоподібно і проявляються у вигляді ознак.
- Мутації є спадковими і передаються наступному поколінню, якщо не спричиняють стерильність чи загибель організмів.
- Ті самі мутації можуть виникати повторно і неодноразово.
- Мутації проявляються по-різному й можуть бути генними, хромосомними й геномними, домінантними й рецесивними, соматичними й генеративними.
- Мутації не мають спрямованості на дію чинників і можуть бути корисними, шкідливими або нейтральними для організмів.
- Мутації можуть бути спонтанними й індукованими. Індуковані мутації спричинені дією на організм мутагенних чинників.

Сучасна мутаційна теорія має важливе значення для селекції, еволюційної біології, медицини, мікробіологічної промисловості, сільського господарства та ін.

Отже, мутаційна теорія є важливим розділом сучасної генетики.

#### Які види та наслідки мутацій?

**МУТАЦІЇ** (від лат. *mutatio* – зміна) – стійкі зміни генетичного апарату, які виникають раптово і призводять до змін тих чи інших спадкових ознак організму. Поняття мутація ввів у науку Гуго де Фріз.

За характером спадкових змін генетичного апарату виокремлюють генні, хромосомні та геномні мутації.

**Генні мутації** – стійкі зміни окремих генів, спричинені порушенням послідовності нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот. Порушення у структурі ДНК призводять до мутацій тільки тоді, коли не відбувається репарація. Генна мутація стосується, як правило, лише однієї ознаки або ознак, що визначаються одним геном. Генні мутації можуть бути домінантним (наприклад, меланізм у леопардів, укорочений хвіст у кішок (іл. 112), полідактилія у людини) і рецесивними (наприклад, альбінізм у хребетних тварин, фенілкетонурія у людини). Значення генних мутацій полягає в тому, що вони становлять більшість мутацій, з якими пов'язана еволюція органічного світу.

**Хромосомні мутації** – це мутації, які виникають у результаті перебудови хромосом. Це відбувається внаслідок розриву хромосом з утворенням фрагментів, що потім об'єднуються. Вони можуть виникати як у межах однієї хромосоми, так і між хромосомами. Хромосомні перебудови, як правило, призводять до порушень множини ознак і спричиняють відхилення, що скорочують життя або несумісні з ним. Прикладом хромосомних мутацій є синдром «крику кішки» у людини (46,5–), за якого спостерігається втрата фрагмента у п'ятій парі хромосом.

**Геномні мутації** – це мутації, які 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**)). Геномні мутації у природі є одним із механізмів видоутворення. Дуже багато поліплоїдних видів є серед рослин, набагато менше їх серед тварин. Геномні мутації застосовують для створення поліплоїдних сортів, які різняться збільшеними розмірами клітин й організмів, більшою врожайністю (іл. 113). Геномні мутації часто порушують мейоз та відтворення, спричиняють безплідність, знижують життєздатність організмів, зумовлюють спадкові хвороби. Прикладом такого захворювання є синдром Дауна у людини (47, 21+).

Отже, за змінами генетичного апарату розрізняють генні, хромосомні та геномні мутації.

### Які причини мутацій?

За причинами спадкових змін мутації поділяють на спонтанні та індуковані. **Спонтанні (природні) мутації** – це мутації, які виникають у природних умовах, а **індуковані (штучні) мутації** – це мутації, які виникають у штучних умовах під спрямованим впливом мутаген-



Іл. 112. Генна мутація короткохвостості у кішки породи бобтейл



Іл. 113. Триплоїдний сорт безнасінних кавунів

них факторів. **Мутагени** – це фактори, що спричиняють мутації. За походженням мутагени є фізичними, хімічними й біологічними.

Серед **фізичних мутагенів** найбільше значення має йонізуюче випромінювання (рентгенівське, ультрафіолетове, гамма-промені). Проникаючи в клітини, промені вибивають електрони із зовнішньої оболонки атомів або молекул, унаслідок чого виникають негативно заряджені частинки або високоактивні вільні радикали. Вони порушують структуру білків, спричиняють розриви ДНК, появу хромосомних й генних мутацій. До фізичних мутагенів належать також фотони світла, підвищена температура тощо.

**Хімічні мутагени** було відкрито пізніше за фізичні. Значний внесок у їхнє вивчення зробила українська школа генетиків, очолювана академіком **С. М. Гершензоном**. Нині відомо багато хімічних мутагенів. Це гідроген пероксид, нітратна кислота, формальдегід, хлороформ, бензопірен. До хімічних мутагенів відносять також пестициди, деякі лікарські препарати (антибіотики, хінін), важкі метали (ртуть, свинець), деякі харчові добавки, алкалоїд колхіцин. До небезпечних хімічних мутагенів віднесено азбест і діоксини, які утворюються внаслідок термічної переробки органічної сировини чи хлорування під дією високих температур. Хімічні мутагени здатні спричиняти мутації всіх типів, і їхній механізм дії подібний до впливу опромінення.



Іл. 114. С. М. Гершензон (1906–1998) відкрив мутагенну дію ДНК

До **біологічних мутагенів** належать віруси, токсини грибів-паразитів, отруйних рослин й тварин. У клітинах, уражених вірусами, мутації спостерігають значно частіше, ніж у здорових. Віруси можуть вводити певну кількість власної генетичної інформації в генотип клітини-хазяїна. Вважають, що ці процеси відігравали важливу роль в еволюції прокариотів, оскільки віруси здійснюють горизонтальне перенесення генів між клітинами різних видів.

Живі організми мають біологічні антимутаційні механізми, спрямовані на захист генетичної інформації від мутацій. Це: а) репарація (видалення за участі ферментів із молекули ДНК змінених ділянок); б) виродженість генетичного коду; в) апоптоз (запрограмована загибель соматичних клітин, що спостерігається в разі закінчення терміну життя клітини, у разі різних захворювань і не допускає поділу мутантних клітин); г) повторюваність багатьох генів у геномі.

Отже, причиною спонтанних мутацій є природні умови (радіаційний фон Землі, ультрафіолетові промені сонячного світла), а індукованих – фізичні, хімічні та біологічні мутагени.



### **ДІЯЛЬНІСТЬ**

#### **Практична вправа «Приклади мутацій і модифікацій»**

Визначте, які з названих змін є мутаціями (А), а які – модифікаціями (Б): а) рахіт у людини; б) зміна форми листка у стрілиці

внаслідок занурення у воду; в) редуковані крила у дрозоділи; г) підвищення кількості еритроцитів в крові людини у високогірних умовах; д) поліплоїдія у кукурудзи; е) різне забарвлення квіток у китайської примули за різних температур; є) альбінізм тигрів; ж) зміна забарвлення шерсті у зайця-русака на зиму; з) дальтонізм людини; и) синдром Марфана; і) засмага людини.

А. Мутації	Б. Модифікації

### Завдання на застосування знань

На ілюстрації показано мутації забарвлення шерсті у миші хатньої: 1 – сіре забарвлення дикого типу миші; 2 – мутантна форма з білим забарвленням; 3 – мутантна форма з жовтим забарвленням; 4 – мутантна форма з чорним забарвленням; 5 – мутантна форма з коричневим забарвленням; 6 – мутантна форма з крапковим забарвленням. Яке значення мутацій для миші хатньої зокрема і живої природи загалом?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Здоров'я

Застосуйте знання та обґрунтуйте заходи щодо профілактики мутацій. Висловіть судження щодо впливу на потомство шкідливих звичок батьків (тютюнокуріння, вживання алкогольних напоїв, наркотичних речовин).

### ЗАХОДИ ЩОДО ЗАХИСТУ ВІД ВПЛИВУ МУТАГЕННИХ ЧИННИКІВ

Заходи	Обґрунтування
Уникайте копчених м'ясних продуктів, газованої води із синтетичними барвниками	
Вживайте більше натуральних продуктів	
Формуйте переконання про негативний вплив шкідливих звичок	
Споживайте більше капусти, хліба з висівками, зелені, круп	
Не зловживайте засобами побутової хімії (лаками, мийними засобами)	
Вживайте в харчуванні вітаміни А, Е	
Не вживайте без консультації з лікарем невідомих ліків	
Періодично використовуйте трав'яні збори для очищення печінки	
Своєчасно лікуйте запальвальні хвороби, що знижують імунітет	



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке мутаційна теорія? 2. Назвіть основні положення мутаційної теорії. 3. Що таке мутації? 4. Наведіть приклади мутацій. 5. Що таке мутагени? 6. Назвіть основні групи та приклади мутагенів.
7 – 9	7. Яке наукове значення мутаційної теорії? 8. Які види та наслідки мутацій? 9. Назвіть причини мутацій?
10 – 12	10. Обґрунтуйте заходи щодо профілактики й захисту від мутагенних чинників.

## § 42. МЕДИЧНА ГЕНЕТИКА

**Основні поняття й ключові терміни:** МЕДИЧНА ГЕНЕТИКА. Спадкові захворювання людини. Генетичне консультування. Молекулярно-генетичні методи.

**Пригадайте!** Що вивчає генетика?



### Новини науки

Біотехнологія CRISPR-Cas9 (генетики вимовляють як «ґріспер») є революцією в молекулярній генетиці. Її запозичили у бактерій. Система CRISPR (від англ. *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* – скупчення розділених регулярними проміжками коротких симетричних повторів) слугує для внесення змін у геном, видалення чи коригування мутантних генів. Які перспективи цієї технології?



### ЗМІСТ

#### Що є предметом досліджень медичної генетики?

**МЕДИЧНА ГЕНЕТИКА** – це розділ генетики людини, що вивчає роль спадкових факторів у розвитку захворювань. Основним завданням цієї науки є виявлення, вивчення, лікування і профілактика спадкових захворювань.

**Спадкові захворювання** – спадкові розлади організму, пов'язані з порушенням генетичного апарату (генів, цілісності хромосом чи кількості хромосом). Спадкові хвороби поділяють на генні, хромосомні та хвороби із спадковою схильністю.

**Генні хвороби** – спадкові хвороби, спричинені генними мутаціями. Ці хвороби можуть бути домінантними аутосомними (полідактилія) (іл. 115) або рецесивними аутосомними (фенілкетонурія, хвороба Тея-Сакса), рецесивними зчепленими з Х-хромосою (гемофілія, дальтонізм), зчепленими з Y-хромосою (іхтіоз). Плейотропною дією одного гена пояснюється хвороба Марфана.

**Хромосомні хвороби** – це спадкові хвороби, спричинені хромосомними та геномними мутаціями. Спільним для всіх хромосомних хвороб є множинні ураження. Це уроджені вади розвитку, уповільнення росту, порушення функцій регуляторних систем, відставання психічного розвитку та ін. Хромосомні мутації здебільшого спричиняють тяжкі аномалії, несумісні з життям (наприклад, синдром «крику кішки», 46,5–). Прикладами геномних мутацій



Іл. 115. Кисть людини, хворої на полідактилію



є: синдром Дауна (47, 21+), синдром Патау (47, 13+), синдром Едвардса (47, 18+) та ін.

**Хвороби зі спадковою схильністю** – це захворювання, для розвитку яких необхідна взаємодія внутрішніх спадкових та зовнішніх несприятливих впливів середовища. До цієї групи належать: цукровий діабет, гіпертонічна хвороба, виразкова хвороба шлунка, бронхіальна астма, шизофренія, епілепсія та ін.

Спеціалізований вид медичної допомоги населенню, спрямований на профілактику спадкових хвороб, називають **медико-генетичним консультуванням**. Його суть полягає в прогнозуванні народження дитини зі спадковою патологією та поясненні ймовірності цієї події. Вдаватися до генетичного консультування бажано всім подружнім парам, що планують мати дитину.

Отже, предметом досліджень медичної генетики є спадкові захворювання, спричинені різними порушеннями генів та хромосом.

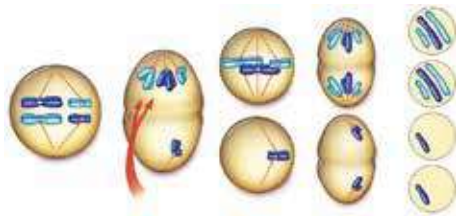
### Який вплив на потомство чинять шкідливі звички?

Найнебезпечнішими шкідливими звичками є тютюнокуріння, вживання алкогольних напоїв, наркотичних речовин. Шкідливий вплив спричиняють потрапляння в організм та дія етилового спирту, наркотичних речовин, бензопірену, нікотину, сполук важких металів та ін. Вплив може бути терато-, мута-, канцерогенним.

**Тератогенний** (від грец. *тератос* – потвора) **вплив** – це вплив чинників, що порушують нормальний розвиток тканин і органів і спричиняють вади розвитку. Так, алкоголь, проникаючи крізь плаценту, може чинити пряму токсичну дію на клітини ембріона і плоду, призводячи до різних аномалій, що одержали назву **алкогольний синдром плоду**.

**Мутагенний вплив** – це поява під дією різних чинників різних мутацій, які є причиною спадкових захворювань. Наприклад, етиловий спирт є сильним хімічним мутагеном, що може спричинити різні пошкодження хромосом статевих клітин. У результаті у зародка замість двох статевих хромосом може утворитися одна або три, що призводить до спадкових захворювань (синдром Шерешевського-Тернера – 44+X, синдром Клайнфельтера – 44+XXY) (іл. 116).

**Канцерогенний** (від лат. *cancer* – рак, *ген* – утворення) **вплив** – це дія фізичних, хімічних чи біологічних чинників, що спричиняють утворення та розвиток пухлинних захворювань (табл. 11).



Іл. 116. Порушення розходження хромосом у мейозі

Таблиця 11. РІЗНОМАНІТНІСТЬ КАНЦЕРОГЕННИХ ЧИННИКІВ

Фізичні	Хімічні	Біологічні
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Йонізуюче випромінювання</li> <li>• Ультрафіолетове випромінювання</li> <li>• Інфрачервоне випромінювання</li> <li>• Електромагнітне випромінювання</li> <li>• Механічні травми тканин</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Поліциклічні вуглеводні</li> <li>• Бензол та гомологи</li> <li>• Нітрозосполуки</li> <li>• Важкі метали</li> <li>• Діоксини</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вірусні</li> <li>• Паразитарні</li> </ul>

За пріоритетністю небезпеки визначено три основні класи відомих на сьогодні канцерогенів: 1) група поліциклічних вуглеводнів, найвідомішим представником яких є бензопірен; 2) нітросполуки; 3) сполуки важких металів (Меркурію, Плюмбуму, Кадмію та ін.). Доведено, що 80 % злякисних (онкологічних) новоутворень зумовлено хімічними канцерогенами.

Отже, шкідливі звички можуть мати терато-, мута-, канцерогенний вплив на спадковість людини.

### Які сучасні методи вивчення спадковості людини?

Вивчення спадкових захворювань людини на різних рівнях організації відбувається із використанням різних методів.

Основним методом вивчення успадкування ознак упродовж ряду поколінь є *генеалогічний метод*. На молекулярному рівні застосовують *біохімічні методи*, засновані на вивченні обміну речовин. На рівні клітин використовують *цитогенетичні методи* вивчення хромосомних і геномних мутацій. На рівні організму успадкування хвороб вивчають за допомогою *дерматогліфічного, імунологічного, близнюкового* та інших методів. Однак революційний прорив у дослідженнях став можливим завдяки сучасним методам молекулярної генетики.

**Молекулярно-генетичні методи** – це методи, призначені для виявлення ушкоджень у структурі ДНК, визначення подібності чи відмінності геномів, розшифрування послідовності нуклеотидів ДНК і РНК. До сучасних методів молекулярної генетики належать:

*метод секвенування* (визначення нуклеотидної послідовності фрагментів ДНК); *метод полімерної ланцюгової реакції* (для збільшення кількості фрагментів ДНК); *метод гібридизації ДНК (РНК)* (для виявлення потрібних генів та розпізнавання послідовностей ДНК); *методи блотингу* (для перенесення білків чи нуклеїнових кислот із розчину на полімерні мембрани-фільтри, де й відбувається їхнє визначення).

Для одержання ДНК у людини найчастіше беруть лейкоцити крові, клітини слизової оболонки рота або навколоплідну рідину. Молекулярно-генетичні методи потребують незначної кількості досліджуваного матеріалу. Вивчити структуру геному організму можна за одним волоском, найменшим слідом крові, маленьким шматком шкіри або кістки.

Отже, за допомогою молекулярно-генетичних методів виявляють мутантні гени, діагностують спадкові хвороби, ідентифікують особистість людини, допомагають встановити батьківство, виділяють і синтезують гени та ін.

Методи діагностики спадкових хвороб людини
1. Генеалогічний
2. Біохімічний
3. Цитогенетичний
4. Дерматогліфічний
5. Близнюковий
6. Популяційно-статистичний
7. Молекулярно-генетичні

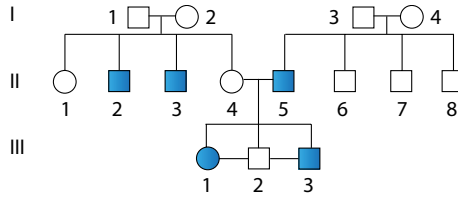


### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на застосування знань

Наведено родовід сім'ї, в якій трапляється альбінізм. Визначте: а) умовні позначення схеми; б) тип успадкування захворювання;

в) фенотипи осіб II,4 та II,5 і представників III покоління. Яке значення генеалогічного методу діагностики спадкових захворювань людини?



### Біологія + Мистецтво

Картина Рафаеля Санті (1483–1520) «Сікстинська Мадонна» (1514) в історії мистецтва є образом досконалої краси. На ній зображено чудо явлення Небесної Цариці, поряд з якою художник намалював папу Сікста IV із шістьма пальцями правої руки. Вкажіть наукову назву цієї ознаки, що є однією з найдавніших мутацій людини. Визначте особливості цього спадкового захворювання.



### СТАВЛЕННЯ

#### Проект «СКЛАДАННЯ ВЛАСНОГО РОДОВОДУ»

Знання власного родоводу, ознайомлення з біографіями своїх предків сприяють особистісному вдосконаленню й самоусвідомленню власного «Я». Проводячи генеалогічне дослідження, головне – не забувати, що ви – це унікальна особистість зі своїми власними достоїнствами і заслугами.

Складіть родовід, користуючись поданими правилами:

- 1) особа, родовід якої складається, називається пробандом;
- 2) осіб жіночої статі позначають кружком, осіб чоловічої статі – квадратом;
- 3) кожне покоління займає окремий рядок, на якому зліва направо в ряд розміщуються члени сім'ї в порядку народження;
- 4) символи осіб, які перебувають у шлюбі, з'єднуються лінією;
- 5) послідовні покоління позначають римськими цифрами, нащадків одного покоління – арабськими.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке медична генетика? 2. Що таке спадкові захворювання? 3. Назвіть приклади спадкових захворювань людини. 4. Наведіть приклади впливу шкідливих звичок на потомство людини. 5. Що таке молекулярно-генетичні методи? 6. Наведіть приклади молекулярно-генетичних методів.
7 – 9	7. Що є предметом досліджень медичної генетики? 8. Який вплив на потомство чинять шкідливі звички? 9. Назвіть сучасні методи медичної генетики.
10 – 12	10. Доведіть важливість медико-генетичного консультування та молекулярних методів діагностики в сучасній генетиці.

## Узагальнення теми 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК

Таблиця 12. ТИПИ УСПАДКУВАННЯ

<b>А. Залежно від локалізації генів</b>	
Ядерне успадкування	Успадкування за участі генів, розташованих у хромосомах ядра еукаріотів чи нуклеоїда прокаріотів
Цитоплазматичне успадкування	Успадкування ознак, гени яких розташовані в структурах цитоплазми (мітохондрій, пластид, плазмід)
Аутосомне успадкування	Успадкування за участі генів аутосом. Виокремлюють аутосомно-домінантний та аутосомно-рецесивний типи успадкування
Зчеплене успадкування	Успадкування, що здійснюється за участі генів, розташованих в одній хромосомі
Зчеплене зі статтю успадкування	Успадкування за участі генів статевих хромосом. Виокремлюють Х-зчеплений (домінантний і рецесивний), Y-зчеплений типи успадкування
<b>Б. Залежно від кількості генів, що визначають певну ознаку</b>	
Моногенне	Тип успадкування, за якого спадкова ознака контролюється одним геном
Полігенне	Успадкування, за якого ознака контролюється декількома генами
<b>В. Залежно від прояву ознак у гетерозигот</b>	
Успадкування з повним домінуванням	Успадкування, за якого один із алельних генів повністю пригнічує прояв іншого, внаслідок чого у гетерозиготних організмів проявляється лише одна ознака (напр., забарвлення і форми насіння гороху)
Успадкування з неповним домінуванням	Успадкування, за якого домінантні алелі лише частково переважають над рецесивними, наслідком чого є поява проміжного прояву ознаки (наприклад, успадкування форми волосся у людини)

Таблиця 13. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ Й МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ

Назва	Формулювання
<b>Закон одноманітності гібридів першого покоління</b> (I закон Менделя)	При моногібридному схрещуванні батьківських особин, що відрізняються проявами однієї ознаки, у потомстві спостерігаються лише домінантні прояви ознаки і усі нащадки будуть одноманітними як за генотипом, так і за фенотипом
<b>Закон розщеплення</b> (II закон Менделя)	При моногібридному схрещуванні двох гібридів першого покоління, які є гетерозиготами, у потомстві спостерігається розщеплення за фенотипом 3 : 1 і за генотипом 1 : 2 : 1
<b>Закон незалежного успадкування ознак</b> (III закон Менделя)	Кожна пара ознак успадковується незалежно від інших ознак
Закон чистоти гамет	Під час утворення статевих клітин у кожен гамету потрапляє лише один алель з кожної пари алельних генів
<b>Закон зчепленого успадкування</b> (закон Морган)	Зчеплені гени, що локалізовані в одній хромосомі, успадковуються разом і не виявляють незалежного розподілу
<b>Закон гомологічних рядів у спадковій мінливості</b> (закон Вавилова)	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

## Самоконтроль знань

### Тест-застосування 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК

- У дрозофіл до числа поширених відносять мутації «жовте тіло» і «закручені крила». Їх можна спостерігати в природі й створити в лабораторії. Як називаються мутації, що виникають у лабораторних умовах?  
**А** спонтанні      **Б** індуковані      **В** самочинні      **Г** модельні
- Який метод застосовують для вивчення родоводів організмів?  
**А** гібридологічний      **В** цитогенетичний  
**Б** генеалогічний      **Г** біохімічний
- Прикладом якого типу взаємодії неалельних генів є успадкування забарвлення оперення у хвилястих папуг?  
**А** комплементарність      **В** полімерія  
**Б** епістаз      **Г** плейотропія
- Дуже стійкими до впливу опромінення виявилися дорослі комахи. Так, тарган рудий може витримувати опромінення у кілька сотень рентгенів, тоді як для людини критичними є дози на рівні 50 рентгенів. Чому?  
**А** хітиновий покрив надійно захищає від проникаючої радіації  
**Б** у комах на стадії імаго повністю припиняється клітинний поділ  
**В** у комах на стадії імаго поділ клітин є інтенсивнішим  
**Г** жирове тіло членистоногих поглинає дози опромінення
- С. М. Гершензон та його учні вирощували дрозофіл на середовищі, насиченому ДНК. Виявилось, що в таких колоніях масово виникають мутації, тоді як у пробірках, середовище яких містило різноманітні білки, мутації не спостерігалися. Який висновок було зроблено?  
**А** ДНК є «чистим аркушем» для виникнення мутантних генів  
**Б** ДНК є слабким джерелом енергії для дрозофіл  
**В** чиста ДНК є сильним біологічним мутагеном  
**Г** білки захищають клітини від мутацій
- Наявність пігменту у волоссі людини домінує над альбінізмом. Чоловік і дружина – гетерозиготні за пігментацією. Яка ймовірність народження в них дитини-альбіноса?  
**А** 25%      **Б** 50%      **В** 75%      **Г** 100%
- Визначте, яка з названих змін не є модифікацією.  
**А** рахіт у людини  
**Б** різне забарвлення квіток у китайської примули за різних температур  
**В** редуковані крила у дрозофіли  
**Г** збільшення кількості еритроцитів у крові людини у високогірних умовах
- Які гамети утворює зигота Aabb?  
**А** Ab, ab      **Б** Aa, bb      **В** Ab      **Г** ab
- Укажіть назву спадкової хвороби, пов'язаної з порушенням обміну амінокислот і накопиченням токсичних продуктів, що призводить до тяжких уражень організму й розумової відсталості.  
**А** гемофілія      **Б** фенілкетонурія      **В** дальтонізм      **Г** синдром Дауна
- Довгошерстого чорного самця морської свинки схрестили з чорною короткошерстою самкою. Отримано 15 свинок з короткою чорною шерстю, 13 – з довгою чорною, 4 – з короткою білою, 5 – з довгою білою. Визначте генотипи батьків, якщо довга (A) і чорна (B) шерсть є домінуючими проявами ознак.  
**А** AaBB × aaVv      **Б** AaVv × aaVv      **В** AaVv × aaVv      **Г** AaVv × aaBB





## Тема 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

*Еволюція – це серія послідовних змін з історично важливим результатом.*  
Енциклопедія для дітей

### § 43. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

**Основні поняття й ключові терміни:** **БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ. Докази еволюції.**

**Пригадайте!** Що таке розвиток?



#### Поміркуйте!

Чим різняться революційний і еволюційний розвиток? Ці поняття розглядають як протилежні. Революцію пов'язують з різкими змінами в житті суспільства, що супроводжуються іноді досить радикальними засобами. А що ж таке еволюція і якими є її ознаки?



Е. Делакруа. Свобода, що веде народ. Картина, присвячена Липневій революції 1830 р. у Франції

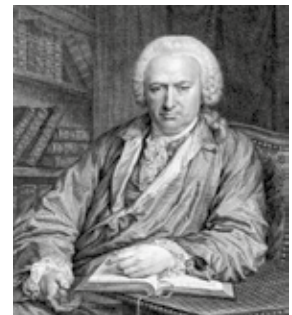


#### ЗМІСТ

#### **Які основні ознаки біологічної еволюції?**

Термін *еволюція* (від грец. *еволюціо* – розгортання) вперше ввів у науку швейцарський натураліст й філософ **Шарль Бонне** ще у 1762 р. Цим поняттям у сучасній біології позначають не лише кількісні, а й якісні зміни живого впродовж тривалих інтервалів часу. Біологічній еволюції притаманні такі найзагальніші ознаки.

- **Незворотність еволюції.** Положення про незворотність еволюції на рівні видів уперше сформульовано Ч. Дарвіном: «*Вид, який щезнув, ніколи не може з'явитися знову, навіть якби знову повторилися абсолютно тотожні умови життя – органічні й неорганічні*». Нині ця закономірність доведена й на інших рівнях. Так, за допомогою моделювання еволюції білків на молекулярному рівні було показано, що нові мутації залежать від попередніх, і повернутися назад та видалити накопичені мутації без шкоди для білків стає все складніше.
- **Спрямованість еволюції** на пристосування організмів до змін дії тих чи інших чинників. Результатом біологічної еволюції завжди є відповідність живої системи умовам її існування.



Іл. 117. Шарль Бонне (1720–1793)

- **Рівневість еволюції**, що прослідковується на кожному із рівнів організації життя: молекулярному, клітинному, організмовому, популяційно-видовому, біогеоценозному та біосферному.

Біологічна еволюція перебуває в тісному взаємозв'язку з геологічною історією Землі, з дією космічних і геологічних сил та чинників навколишнього середовища.

Отже, **БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ** – це незворотний, спрямований історичний розвиток живої природи, що супроводжується змінами на всіх рівнях організації життя.

### Як відбувався розвиток еволюційних поглядів?

Ідеї еволюції органічного світу сягають давнини. Ще античні філософи (Геракліт, Демокріт) висловлювали ідею єдності природи, згідно з якою всі тіла й явища природи походять від якихось матеріальних початків. Такі уявлення поєднуються в систему поглядів під назвою **стихийний матеріалізм** (від лат. *materialis* – речовинний).

В епоху Середньовіччя панувала **метафізика** (від грец. *meta* – над, *фізис* – природа) – вчення про надприродну першооснову буття, надчуттєві, недоступні досвідові принципи існування світу. Погляди про те, що світ та різні форми життя на Землі створені вищою, надприродною силою в процесі актів творіння (концепція «молодої Землі», концепція «Розумного задуму»), є основою **креаціонізму** (від лат. *creatio* – творіння).

В епоху Відродження активізувалися наукові дослідження, чому сприяли географічні відкриття і накопичення описового матеріалу. Формуються ідеї змінності живого, що стають основою **трансформізму** (від лат. *transformatio* – перетворення), а згодом й **еволюціонізму** (від лат. *evolutio* – розгортання).

У першій половині XIX ст. формується еволюційний погляд на природу й розвивається **еволюційна біологія** – наука про причини, рушійні сили, механізми та закономірності історичного розвитку органічного світу. Ця наука сформувалася на основі палеонтології, порівняльної анатомії, ембріології, систематики, а дещо пізніше – генетики, екології, молекулярної біології. У зв'язку з особливостями еволюційних перетворень на різних рівнях у сучасній науці виникли три основні напрями досліджень еволюційних процесів:

- 1) молекулярно-біологічний (аналіз молекулярної еволюції біологічних макромолекул і передусім білків та нуклеїнових кислот);
- 2) генетико-екологічний (дослідження мікроеволюційних процесів на рівні популяцій, видів, екосистем та біосфери за допомогою методів популяційної генетики та екології);
- 3) еволюційно-морфологічний (дослідження еволюційних процесів методами палеонтології, порівняльної анатомії, ембріології).

Отже, уявлення про еволюцію зародилися ще в стародавніх цивілізаціях і формувалися відповідно до накопичення знань про живу природу.

## Яка роль палеонтології, молекулярної генетики в обґрунтуванні теорії еволюції?

**Докази еволюції** – наукові дані, що підтверджують історичний розвиток усіх живих істот на Землі. Здатність до розвитку в часі характерна для всіх проявів життя, і тому докази біологічної еволюції можуть бути представлені усіма біологічними науками. Порівняльно-анатомічні, ембріологічні, біогеографічні, біохімічні, етологічні, фізіологічні та багато інших досліджень історичного розвитку організмів підтверджують факт еволюції, з'ясовуючи ознаки подібності будови, зародкового розвитку, поширення, хімічного складу, поведінки, життєвих функцій тощо, що свідчить про спорідненість та єдність органічного світу.

**Палеонтологічні докази** мають найбільш надійний та наочний характер. Палеонтологи вивчають вимерлі організми, їх вигляд та біологічні особливості, на основі чого відновлюють хід еволюції. На сьогодні встановлено значну кількість послідовностей викопних форм (*філогенетичних рядів*) організмів, зокрема молюсків, непарнокопитних, слонів та ін. Знайдено й описано вимерлі організми, які поєднують в собі ознаки двох великих систематичних груп (*викопні перехідні форми*). Прикладом таких вимерлих форм є археоптерикс (іл. 118), звірозубі ящери, риніофіти, насінні папороті.



Іл. 118. Археоптерикс – викопна перехідна форма між рептиліями і птахами

**Молекулярно-генетичні докази** дають змогу порівнювати навіть дуже віддалені групи організмів – бактерії, еукаріоти та археї – і робити висновок про їхню еволюційну спорідненість. Універсальність генетичного коду, хімічного складу мембран, будова білків із 20 «чарівних» амінокислот, подібність білкового складу – ці та багато інших ознак є доказами спільності походження життя на Землі. Важливим методом оцінювання еволюційних змін геномів є метод гібридизації ДНК. Молекули ДНК двох різних організмів поділяють на одноланцюжкові молекули, а потім створюють умови для їхнього поєднання з утворенням гібридної дволанцюжкової ДНК. Поєднання може відбуватися за умови, що одноланцюжкові молекули різних ДНК мають комплементарні нуклеотидні послідовності. Таким чином було виявлено, що геноми різних організмів мають між собою багато спільного. Наприклад, геном людини приблизно на 90 % збігається з геномом миші і лише на 1 % відрізняється від геному шимпанзе.

Вивчення генетичної спорідненості різних груп організмів на основі молекулярно-генетичних досліджень РНК, ДНК, білків становлять сутність *молекулярної філогенетики*. Одним із найбільших відкриттів за допомогою цього напрямку досліджень є відкриття архей (К. Воуз, 1977).



Отже, еволюція є незаперечним науковим фактом, що його підтверджують дослідження різних наук.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Науковою основою формування еволюційного вчення були відкриття різних біологічних наук. Установіть відповідність між науками та їхніми відкриттями. Якщо зробите усе правильно, то отримаєте назву явища, за допомогою якого французький зоолог Ж. Кюв'є міг за однією кісткою відтворити вигляд вимерлої тварини.



1 Цитологія	Л Ідея єдності організмів та умов існування
2 Ембріологія	Ц Ізоляція сприяє подібності флори і фауни різних континентів
3 Палеонтологія	К Усі живі організми мають клітинну будову
4 Біохімія	О Відкриття подібності етапів розвитку зародків тварин
5 Екологія	Е Доведено хімічну єдність неживої і живої природи
6 Молекулярна біологія	Р Встановлено змінність флори і фауни в минулому Землі
7 Біогеографія	І Матеріальними носіями спадковості є гени й хромосоми
8 Генетика	Я <sub>2</sub> Єдність плану будови великих груп тварин і рослин
9 Порівняльна анатомія	Я <sub>1</sub> Подібність білків й ДНК вказує на генетичну спорідненість

1	2	3	4	5	6	7	8	9



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Поезія

У вірші Еразма Дарвіна (діда Ч. Дарвіна) «Храм природи» є рядки:

*Змирися ж в гордині пихатій,  
І зрозумій, живими є тварини і птахи  
Та закарбуй навечно ти у пам'яті,  
Черви – то родичі, братами є мурахи!*

Про що йдеться? Зробіть висновок про єдність органічного світу, що проявляється через його різноманітність.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біологічна еволюція? 2. Назвіть основні ознаки біологічної еволюції. 3. Що таке еволюційна біологія? 4. Назвіть основні напрями еволюційної біології. 5. Що таке докази еволюції? 6. Що таке палеонтологічні й молекулярно-генетичні докази еволюції?
7 – 9	7. Які основні ознаки біологічної еволюції? 8. Як відбувався розвиток еволюційних поглядів? 9. Які основні групи доказів еволюції?
10 – 12	10. Яка роль палеонтології та молекулярної генетики в обґрунтуванні еволюції?

## § 44. ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ

**Основні поняття й ключові терміни:** ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ. Теорія еволюції Ч. Дарвіна. Синтетична теорія еволюції.

**Пригадайте!** Що таке еволюція?



### Вправа

**Теорія** (від грец. *теоріс* – розгляд, дослідження) – система знань і уявлень про дійсність, що створюється в процесі пізнавальної діяльності людини. Теорії виконують ряд функцій, якими є світоглядна, пізнавальна, пояснювальна, методологічна, прогнозувальна. Зіставте природничі науки з теоріями, що є основою їхнього розвитку. Яке значення теорії еволюції для людини?

1	Астрономія	А	Тектонічна теорія
2	Геологія	Б	Теорія відносності
3	Фізика	В	Клітинна теорія
4	Хімія	Г	Теорія Великого Вибуху
5	Математика	Д	Теорія електролітичної дисоціації
6	Біологія	Е	Теорія ймовірності



### ЗМІСТ

#### Чим різняться існуючі теорії еволюції?

**ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ** – система узагальнених знань, що пояснює механізми змін живих організмів, їхніх угруповань та причини утворення біорізноманіття на Землі у процесі еволюції. Перші цілісні теорії еволюції висунули на початку XIX ст. **Еразм Дарвін** та **Жан Батист Ламарк**. Великий вплив на формування еволюційної біології як самостійної галузі науки мала теорія еволюції **Чарльза Дарвіна**. В середині XX ст. формується синтетична теорія, окрім якої розвивалися альтернативні теорії еволюції. На сьогодні в еволюційній біології відомо декілька десятків теорій, серед яких виокремлюються:



Іл. 119. Ж. Б. Ламарк (1744–1829) – французький натураліст

- **телеологічні концепції еволюції** – еволюція органічного світу відбувається не випадково, а за певною програмою, закладеною в якомусь невідомому нам генетичному коді Всесвіту або ж у творчій ідеї її Творця;
- **теорія еволюції Ламарка** – уявлення про еволюцію як ступінчастий розвиток живого від простого до складного. Чинниками еволюції за Ламарком є: 1) внутрішнє прагнення до вдосконалення; 2) прямий вплив умов середовища через вправлення чи невправлення органів визначає мінливість організмів; 3) успадковуються лише набуті за життя особин корисні ознаки;
- **теорія еволюції Дарвіна** – система поглядів про еволюційний розвиток живого під дією таких чинників еволюції, як невизначена (спадкова) мінливість та природний добір, що є наслідком боротьби за існування;

- *синтетична теорія еволюції* – система уявлень про те, що рушійною силою еволюції є природний добір генетичних мутацій і рекомбінацій, і яка починається на рівні популяцій.

Сьогодні не припиняються пошуки чинників й умов еволюційного розвитку живого. Серед сучасних теорій еволюції можна назвати: екосистемну теорію еволюції, теорію нейтральної еволюції, теорію перерваної рівноваги.

Отже, реальність еволюції визнається переважною більшістю теорій, а різняться вони поясненням механізмів еволюції.

### Які основні положення еволюційної теорії Ч. Дарвіна?

Еволюційна теорія Ч. Дарвіна понад 100 років слугувала теоретичним підґрунтям біології. Наукова праця Ч. Дарвіна, в якій викладено основи його вчення, називається «Походження видів шляхом природного добору» (1859). Основними положеннями теорії еволюції Ч. Дарвіна є такі:

- *еволюція* полягає в безперервних пристосувальних змінах видів;
- основою для еволюції є *невизначена (спадкова) мінливість*;
- кожний вид здатний до необмеженого розмноження, але цьому перешкоджає обмеженість життєвих ресурсів, і більша частина особин гине в *боротьбі за існування*, тобто в процесі взаємовідносин з живою й неживою природою;
- вибіркоче виживання і розмноження найбільш пристосованих особин є *природним добором*, що вважається рушійною силою еволюції;
- під дією природного добору групи особин одного виду накопичують з покоління в покоління різні пристосувальні ознаки і перетворюються на нові види;
- нові породи тварин і сорти рослин у процесі селекції утворюються під впливом *штучного добору*.

Теорія еволюції Ч. Дарвіна розкрила наукові основи рушійних сил еволюції, і цим було стверджено історичний метод пізнання, який націлював дослідників не лише на опис явищ природи, а й на пояснення їх суті, встановлення причин явищ, етапів розвитку.

Отже, теорія Ч. Дарвіна, як синтез еволюційних ідей свого часу, пояснює виникнення еволюційних змін на рівні організмів, що відбуваються під впливом природного добору.

### Які основні положення сучасної теорії еволюції?

Важливим етапом розвитку еволюційної біології була синтетична теорія еволюції (СТЕ), сформульована в 40-х роках ХХ ст.

**Синтетична теорія еволюції** – комплекс уявлень, які є синтезом основних положень дарвінізму, генетики популяцій та екології. Серед її основоположників були такі видатні біологи, як С. С. Четвериков, С. Райт, Ф. Г. Добжанський, І. І. Шмальгаузен, О. М. Северцов ін.



Іл. 120. Чарлз Дарвін (1809–1882) – видатний англійський натураліст

Синтетична теорія еволюції була розроблена на основі уявлень про мутації як єдине джерело спадкової мінливості, про популяцію як елементарну одиницю еволюції та дарвінівських уявлень про боротьбу за існування й природний добір. Із часу появи СТЕ відбулося багато нових відкриттів у еволюційній біології. Так, сформульовані вчення про форми природного добору, шляхи досягнення біологічного прогресу, напрями еволюції та ін. Але все-таки багато еволюційних питань залишаються без відповідей, і тому створення цілісної теорії еволюції є справою майбутнього. Разом з тим, можна виокремити ряд положень, що є основою сучасних еволюційних поглядів.



Іл. 121. Ф. Добжанський (1900–1975) – вперше об'єднав генетику і теорію еволюції

- Елементарним еволюційним матеріалом та єдиним джерелом нових спадкових ознак є **мутації**.
- Елементарною одиницею еволюції є **популяція** зі своїм генофондом, оскільки саме в ній відбуваються усі еволюційні перетворення.
- Елементарними чинниками еволюції є **дрейф генів, популяційні хвилі** та **ізоляція**. Ці чинники мають випадковий характер і є факторами-постачальниками матеріалу для добору.
- Існує три види еволюційного процесу: **мікроеволюція, видоутворення** та **макроеволюція**.
- Рушійною силою еволюції є **природний добір**, що діє на сукупність фенотипів популяції.
- Природний добір буває **рушійним, стабілізуючим** та **розриваючим**.
- Будь-яка систематична група може або процвітати (**біологічний прогрес**), або вимирати (**біологічний регрес**).
- Біологічний прогрес досягається внаслідок еволюційних змін організмів, якими є **ароморфози, ідіоадаптації** та **загальна дегенерація**.
- Процес еволюції є необоротним, тобто під час повернення умов довілля до попереднього стану адаптації щоразу розвиваються заново, а не відтворюються попередні.

Отже, сучасна теорія еволюції пояснює еволюційні зміни живого, що починаються у популяціях і здійснюються шляхом природного добору ознак, які визначаються генами.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на зіставлення

Зіставте основні поняття еволюційної біології із визначеннями та отримайте прізвище науковця, який є основоположником генетики популяцій.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1 Популяція	Е <sub>2</sub> Коливання чисельності як елементарний чинник еволюції
2 Ізоляція	О Форма мінливості, що є основою природного добору
3 Природний добір	К Вільне випадкове схрещування особин популяції
4 Дрейф генів	Р Елементарний еволюційний матеріал
5 Хвилі життя	В <sub>2</sub> Сукупність ознак як результат взаємодії генотипу з довкіллям

6 Мутації	Ч Елементарна одиниця еволюції
7 Генофонд	Е <sub>1</sub> Перешкоди у вільному схрещуванні особин як чинник еволюції
8 Панміксія	И Сукупність алейних генів особин популяції
9 Спадкова мінливість	В <sub>1</sub> Випадкові зміни частоти зустрічальності алелей
10 Фенотип	Т Вибіркове виживання більш пристосованих особин

## Біологія + Екологія

У 1971 р. п'ять пар дорослих особин *стінної ящірки* (*Podarcis sicula*) були перевезені на острів Под Маркару. Умови на новому місці були близькими до звичного середовища, і ящірки поширилися на острові. Коли дослідники через 36 років повернулися туди, вони виявили, що в ящірок на цьому острові середній розмір особин збільшений, задні кінцівки коротші, швидкість бігу менша, голова стала масивнішою, збільшилася сила укусу та ін. Поясніть з позицій сучасної теорії еволюції механізм цієї еволюційної події.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Географія

Навколосвітня подорож Ч. Дарвіна на кораблі «Вігль» («Шукач») відбувалася у 1831–1836 рр. Унаслідок цієї мандрівки було започатковано еволюційне вчення. Назвіть та визначте географічне розташування найбільших островів, що їх відвідав Ч. Дарвін.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке теорія еволюції? 2. Наведіть приклади теорій еволюції. 3. Що таке теорія еволюції Дарвіна? 4. Що є рушійними чинниками еволюції за теорією Дарвіна? 5. Що таке синтетична теорія еволюції? 6. Які науки стали основою синтетичної теорії еволюції?
7 – 9	7. Чим різняться різні теорії еволюції? 8. Які основні положення еволюційної теорії Ч. Дарвіна? 9. Які основні положення сучасної теорії еволюції?
10 – 12	10. Схарактеризуйте основні положення сучасної теорії еволюції.

## § 45. ЕВОЛЮЦІЙНІ ЧИННИКИ

**Основні поняття й ключові терміни:** ЕВОЛЮЦІЙНІ ЧИННИКИ. Елементарні чинники еволюції. Рушійні чинники еволюції.

**Пригадайте!** Що таке синтетична теорія еволюції?



### Знайомтеся!

*Сонечко двокрапкове* (*Adalia bipunctata*) має дві форми – чорну і червону. Науковці вивчали співвідношення червоних і чорних форм і встановили, що восени в популяціях переважає червона форма. Червоні сонечка краще розмножуються. Навесні у великій кількості трапляються чорні: вони краще зимують. Виявилося, що забарвлення пов'язане з обміном речовин. Чорні сонечка холодостійкіші, а червоні – плодючі.



### ЗМІСТ

#### Які сучасні уявлення про чинники еволюції?

**ЕВОЛЮЦІЙНІ ЧИННИКИ** – це зовнішні та внутрішні впливи, які приводять до еволюційних змін організмів та угруповань. Згідно із сучасними еволюційними поглядами чинники еволюції поділяють на рушійні та елементарні. Рушійні чинники еволюції мають спрямований закономірний характер, а елементарні – є чинниками-постачальниками еволюційного матеріалу та створюють умови перебігу еволюційних змін.

Сучасними екологічними дослідженням встановлено, що: а) на кожному рівні організації живого є свої чинники еволюції; б) усі екологічні чинники, якщо вони діють зі сталою інтенсивністю або остання періодично змінюється, є водночас чинниками еволюції; в) стосовно популяції як одиниці еволюції розрізняють внутрішньовидові (міграції, хвилі життя) та міжвидові (симбіоз, конкуренція, виїдання та ін.) еволюційні чинники.

Чинники еволюції	
рушійні	елементарні
Спадкова мінливість Природний добір	Хвилі життя Дрейф генів Ізоляція

Отже, чинники еволюції поділяють на рушійні та елементарні.

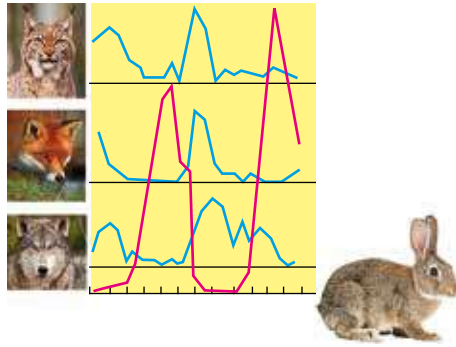
#### Яке значення мають елементарні чинники еволюції?

**Елементарні чинники еволюції** – це впливи, що спричиняють еволюційні зміни біосистем і мають неспрямований випадковий характер. До цієї групи належать дрейф генів, популяційні хвилі та ізоляція.

**Ізоляція** – виникнення будь-яких перешкод, що порушують вільне схрещування й обмін спадковою інформацією. Основними формами ізоляції є географічна та екологічна. Географічна ізоляція є наслідком

розмежування різних популяцій одного виду фізичними бар'єрами (горами, річками та ін.). Екологічна ізоляція пов'язана з розмежуванням різних популяцій одного виду різними екологічними умовами середовища існування (наприклад, рослини лучних трав певного виду можуть цвісти в різний час, залежно від весняної повені). Ізоляція як еволюційний чинник закріплює й підсилює утворені в популяціях генотипні відмінності.

**Хвилі життя, або популяційні хвилі**, – *періодичні або неперіодичні випадкові коливання чисельності популяцій* (іл. 122). Даний термін вперше був уведений С.С. Четвериковим у 1905 р. Еволюційне значення популяційних хвиль полягає в тому, що вони сприяють зміні частоти алелей і генотипів. У разі різкого скорочення чисельності популяції особини, які випадково залишилися живими, можуть мати рідкісні генотипи. Надалі відновлення чисельності зазвичай відбувається за рахунок цих особин, що веде до зміни генофонду популяції.



Іл. 122. Хвилі життя хижаків і жертви

Надалі відновлення чисельності зазвичай відбувається за рахунок цих особин, що веде до зміни генофонду популяції.

**Дрейф генів (генетичний дрейф)** – *це випадкова і неспрямована зміна частот зустрічальності алелів у популяції*. Ефект генетичного дрейфу є найбільшим у невеликих популяціях. Зміни, зумовлені генетичним дрейфом, можуть бути корисними, нейтральними або шкідливими. Дрейф генів може призводити до поширення рецесивних мутантних алелів, непередбачуваних природним добором.

Отже, елементарними чинниками еволюції є дрейф генів, хвилі життя та ізоляція.

### Яке значення мають види природного добору?

**Рушійні чинники еволюції** – *чинники, які спрямовують різні елементарні зміни, що виникли внаслідок мутацій, у бік формування пристосувань організмів до змін умов довкілля*. Рушійною силою еволюції є природний добір як наслідок боротьби за існування в різних її формах. Боротьба за існування – складні й різноманітні відносини особин усередині видів, між видами та з неорганічною природою.

**Природний добір** – *процес, унаслідок якого виживають і лишаять після себе потомство переважно особини з корисними в даних умовах спадковими змінами*. Цей чинник еволюції завжди має спрямований характер, удосконалює пристосування до умов існування, діє на всі організми в будь-якому віці. Залежно від спрямування адаптаційних змін природний добір може бути рушійним, стабілізуючим і розриваючим.

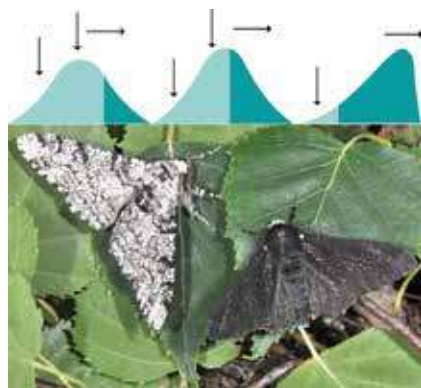
**Рушійний добір** – *це добір, що спричиняє поступову зміну фенотипу, веде до зміни норми реакції в одному певному напрямі*. Здійснюється в нових умовах на користь змін, які в цих умовах мають сприятливий характер. З рушійним добором пов'язана поява нових пристосувань.

Прикладом дії рушійного добору є індустріальний меланізм у метеликів березового п'ядуна (іл. 123).

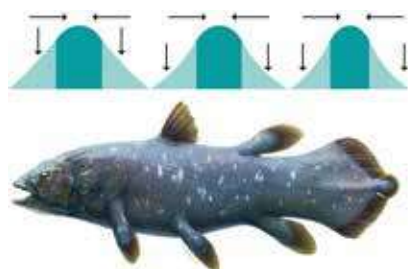
**Стабілізуючий добір** – це добір особин, який супроводжується при сталому фенотипі звуженням норми реакції і ліквідує відхилення від неї. Теорію стабілізуючого добору розробив український учений **І.І. Шмальгаузен** (1941 – 1946). Ця форма добору проявляється за стійких екологічних умов. Стабілізуючий добір забезпечує підтримання сталості певного фенотипу, який найбільше відповідає середовищу, і відкидає будь-які менш пристосувальні зміни. Дію стабілізуючого добору ілюструють такі види організмів, як латимерія (іл. 124) та гатерія. Це реліктові форми, які зберегли незмінними ознаки далеких предків, що жили десятки мільйонів років тому. Прикладом дії стабілізуючого добору також є збереження обтічної форми тіла у риб, розмірів частин квітки.

**Розриваючий добір** – це добір, який приводить до появи декількох фенотипів і спрямований проти середніх проміжних форм. Розриваючий (дизруптивний) добір проявляється тоді, коли умови середовища настільки змінились, що основна маса виду втрачає адаптивність, а переваг набувають особини з крайніми відхиленнями від середньої норми. Ця форма добору приводить до поліморфізму – існуванню в межах популяції двох або декількох форм з різко відмінними ознаками (наприклад, червона й чорна форми сонечка двокрапкового). Прикладами дії розриваючого добору є виникнення популяцій комах з довгими крилами та без крил на островах, де постійно дме сильний вітер, весняної (світлої) та літньої (темної) форм метелика рябокрилка мінлива (іл. 125).

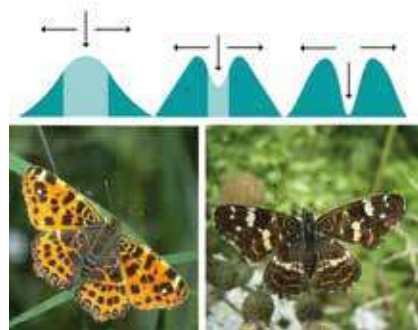
Отже, природний добір спрямовує різні зміни фенотипів, що виникли внаслідок мутацій, у бік формування пристосовань організмів до змін умов довкілля. В цьому й полягає творча роль природного добору, і тому його називають рушійною силою еволюції.



Іл. 123. Схема дії рушійного добору



Іл. 124. Схема дії стабілізуючого добору



Іл. 125. Схема дії розриваючого добору



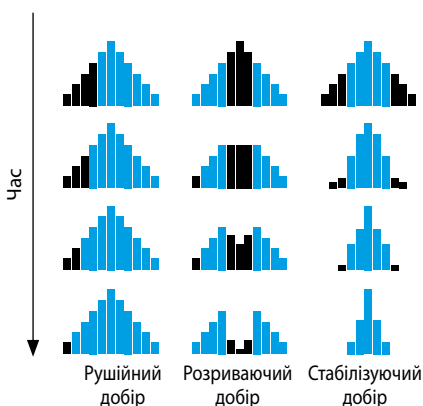


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Заповніть таблицю «Форми природного добору». Чим відрізняються і що є спільного між різними видами природного добору?

Ознака	Добір		
	стабілізуючий	рушійний	розриваючий
Умови дії середовища			
Вплив на фенотип			
Результат			
Приклад			



## Біологія + Екологія

Класичним прикладом дії «ефекту пляшувової шийки» є зміни популяції гепардів (*Acinonyx jubatus*), чисельність яких нині скорочується і налічує менш ніж 20 тисяч особин. Сьогодні цей вид має незначну генетичну різноманітність. У гепардів підвищена вразливість до захворювань, спостерігаються відхилення, що призводять до зниження плодючості, дуже високий рівень дитячої смертності (до 70% дитинчат не доживають до одного року) та ін. Що таке «ефект пляшувової шийки» (англ. *population bottleneck*)?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Інформатика

**Чинник** – поняття, похідне від поняття *чинити*, *діяти*, тобто *те, що чинить, здійснює вплив*. В інформатиці такі чинники називають драйверами (від англ. *driver* – рушій). Це комп'ютерна програма, за допомогою якої операційна система отримує доступ до приладу апаратного забезпечення. Знайдіть аналогію між рушійними чинниками еволюції та драйверами в роботі комп'ютера.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке чинники еволюції? 2. Назвіть дві групи чинників еволюції. 3. Що таке елементарні чинники еволюції? 4. Назвіть елементарні чинники еволюції. 5. Що таке рушійна сила еволюції? 6. Укажіть назву головної рушійної сили еволюції.
7 – 9	7. Які сучасні уявлення про чинники еволюції? 8. Яке значення мають елементарні чинники еволюції? 9. Які значення та види природного добору?
10 – 12	10. Чим різняться і що є спільного між різними видами природного добору?

*Еволюцію здійснюють певні «робочі сили» (чинники еволюції), які з «будівельного матеріалу» (різних мутацій) на «будівельному майдані» (у популяціях) будують нескінченні конструкції пристосувань.*  
З підручника «Еволюційне вчення»

## § 46. ПОПУЛЯЦІЯ. МІКРОЕВОЛЮЦІЯ. ВИД. ВИДОУТВОРЕННЯ

**Основні поняття й ключові терміни:** ПОПУЛЯЦІЯ. Мікроеволюція. Пристосування. ВИД. Видоутворення.

**Пригадайте!** Що таке теорія еволюції?



### Ваша думка

У гірських лісах України популяції вивірки звичайної мають темне забарвлення, а популяції вивірки рівнинних лісів – руде. На вашу думку, чому?



### ЗМІСТ

**Чому популяція є елементарною одиницею еволюції?**

**ПОПУЛЯЦІЯ** (лат. *populatio* – населення) – це сукупність особин одного виду організмів, які упродовж багатьох поколінь існують в межах певної території, вільно схрещуються і відносно ізольовані від інших популяцій виду. Умови життя в межах ареалу виду є неоднаковими в різних ділянках, що приводить до виникнення відмінностей між групами особин та формування популяцій. Головним чинником, що об'єднує особини в популяціях, є вільне схрещування (панміксія). Особини різних популяцій також можуть схрещуватися, але цьому, як правило, перешкоджають географічні (наприклад, річки, гори) та біологічні (наприклад, різний час розмноження) фактори.

Будь-яка популяція організмів характеризується такими показниками, як *чисельність, народжуваність, смертність, природний приріст* та ін. Популяції можуть характеризуватися структурою: *стаєвою, віковою, просторовою, етологічною та генетичною*. Чому ж популяції є одиницею еволюції, а не окрема особина, як вважав Дарвін? Одна особина того чи іншого виду не здатна еволюціонувати, оскільки її набір генів не змінюється упродовж життя. В сучасному еволюційному вченні саме популяції розглядаються як «будівельний майданчик», арена еволюційних подій (іл. 126). Це пояснюється тим, що:

- популяція завдяки спадковій мінливості складається з особин, які різняться за генотипом;
- у популяції постійно діють чинники, що змінюють співвідношення частоти генотипів та алельних генів (генетичну структуру);
- у популяції постійно існують взаємозв'язки між особинами й до-вікіллям, завдяки чому виживають



Іл. 126. Польська популяція зубрів

і дають потомство тільки особини з корисними в даних умовах змінами.

Для здійснення еволюційних змін необхідна наявність трьох процесів: мутаційного (поява нових різноманітних ознак), рекомбінаційного (створення нових поєднань ознак) та селекційного (відбір корисних для життя особин ознак), що відбуваються саме в популяціях. Завдяки цим процесам відбувається елементарне еволюційне явище, тобто суттєва і незворотна зміна генофонду популяції на тривалий період.

Отже, саме популяції, а не окремі особини є елементарними одиницями еволюції.

### Що є результатом мікроеволюційних змін?

Еволюційні процеси в межах популяцій, що завершуються формуванням пристосованості організмів та утворенням нових популяцій й підвидів, називаються **мікроеволюцією**. Рушійним чинником еволюційних змін у популяціях є природний добір, а матеріалом для мікроеволюційних змін – мутації. Природний добір спрямовує різні елементарні зміни фенотипів, що виникли внаслідок мутацій, у бік формування адаптацій організмів до змін умов довкілля.

**Адаптації** – пристосування будови, функцій, поведінки організмів до певних умов існування. Адаптації виникають у процесі еволюції на основі нейтральних мутацій або модифікацій. Нові пристосування з'являються не одразу в готовому вигляді, а тривалий час формуються в процесі еволюції. Будь-яка сукупність адаптацій допомагає організмам вижити лише в тих умовах, у яких вона сформувалася під впливом чинників еволюції.

Мікроеволюція забезпечує формування найрізноманітніших адаптацій:

- *мімікрія* – схожість між незахищеними та захищеними видами (наприклад, осоподібні метелики і оси, джмелеподібні мухи і джмелі) (іл. 127);
- *маскування* – схожість із предметами навколишнього середовища (наприклад, морський коник до водоростей) (іл. 128);
- *захисне забарвлення* допомагає сховатися в навколишньому середовищі (наприклад, біле забарвлення полярних куріпок);
- *застережне забарвлення* вказує на небезпеку даного виду (наприклад, червоне забарвлення сонечка вказує на отруйність);
- *приваблювальне забарвлення* забезпечує зустріч особин різних статей (наприклад, яскраве забарвлення самця вивільги).



Іл. 127. Мімікрія мухи дзюрчалки осоподібної



Іл. 128. Маскування морського коника

Отже, результатом мікроеволюції є формування адаптацій та виникнення нових популяцій.

### Як відбувається утворення видів у природі?

**ВИД** – сукупність особин, що характеризуються спадковою подібністю ознак, вільно схрещуються і дають плодюче потомство, пристосовані до певних умов життя і займають у природі певну область – ареал. Видову самостійність певної групи особин встановлюють за різними критеріями виду: морфологічний (подібність особин за будовою), генетичний (характерний для кожного виду набір хромосом за кількістю, формою і розмірами), фізіологічний (подібність й відмінності в процесах життєдіяльності), біохімічний (особливості будови і складу макромолекул, перебігу певних біохімічних реакцій), географічний (спільність території поширення), екологічний (пристосованість до умов існування) та ін. Як же виникають нові види?

**Видоутворення** – це спрямований природним добром еволюційний процес адаптивних перетворень, який веде до утворення генетично закритих видових систем із генетично відкритих внутрішньовидових. Починається видоутворення на рівні популяцій. Нові види найчастіше виникають від однієї предкової групи близькоспоріднених організмів шляхом розходження ознак у споріднених організмів (дивергенції). Необхідною умовою видоутворення є *ізоляція*, залежно від особливостей якої розрізняють географічне та екологічне видоутворення.

**Географічне видоутворення** – це формування нових груп у результаті зміни ареалу під час географічної ізоляції. Відбувається шляхом розриву суцільного ареалу на частини (наприклад, утворення різноманітних видів в'юрків на різних островах Галапагоського архіпелагу) або розширення ареалу і відбір у нових умовах; наприклад, утворення видів ведмідь бурий (*Ursus arctos*) і ведмідь білий (*Ursus maritimus*) (іл. 129).

**Екологічне видоутворення** – це формування нових груп у межах існуючого ареалу під час екологічної ізоляції. Відбувається в результаті дії нових сезонних умов (наприклад, утворення видів дзвінець великий весняний і дзвінець великий літній), у результаті схрещування між особинами споріднених видів (наприклад, м'ята перцева є гібридом м'яти колосоподібної та м'яти водяної), за рахунок поліплоїдних мутацій (наприклад, вихідний вид двозернівка має  $2n=14$ , вид тверда пшениця –  $4n=28$ , а м'яка пшениця –  $6n=42$ ) або поєднанням систематично віддалених організмів (наприклад, різні види лишайників є результатом симбіозу грибів і водоростей).



Іл. 129. Ведмідь бурий і ведмідь білий



## ДІЯЛЬНІСТЬ

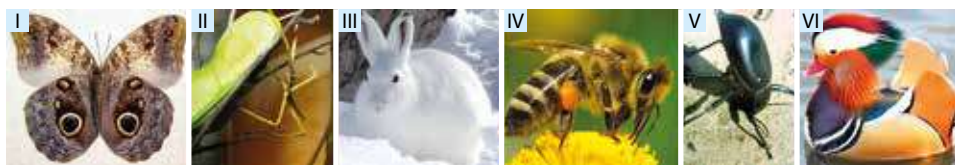
### Завдання на порівняння

Порівняйте географічне і екологічне видоутворення.

Ознаки	Видоутворення	
	географічне	екологічне
З якими територіями пов'язане?		
Які форми ізоляції діють?		
Якими шляхами здійснюються?		
Приклади		

## Біологія + Екологія

Зіставте і визначте значення адаптацій у запропонованих тварин. Чому для адаптацій властива відносна доцільність?



1 Погрозлива поза жука-бомбардира	А Мімікрія
2 Забарвлення жалких комах (оси, бджоли)	Б Маскування
3 Зимове забарвлення у зайців-біляків	В Захисне забарвлення
4 Метелик-каліма з візерунком очей сови	Г Застережне забарвлення
5 Подібність паличника до гілочок	Д Погрозливий прояв поведінки
6 Забарвлення самця мандаринки	Е Приваблювальне забарвлення

I	II	III	IV	V	VI



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Селекція

Слива домашня (*Prunus domestica*) з набором хромосом  $6n = 48$  виникла ще в доісторичні часи шляхом гібридизації терена (*Prunus spinosa*,  $4n = 32$ ) з аличею (*Prunus divaricata*,  $4n = 16$ ). Чому слива домашня є видом? Оцініть значення видоутворення в природі й для людини.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке популяція? 2. Назвіть основні характеристики популяцій. 3. Що таке мікроеволюція? 4. Наведіть приклади адаптацій до умов середовища. 5. Що таке вид? 6. Назвіть способи видоутворення.
7 – 9	7. Чому популяція є елементарною одиницею еволюції? 8. Які результати мікроеволюції? 9. Як відбувається утворення видів у природі?
10 – 12	10. Порівняйте географічне та екологічне видоутворення.

## § 47. МАКРОЕВОЛЮЦІЯ

**Основні поняття й ключові терміни:** МАКРОЕВОЛЮЦІЯ. Біологічний прогрес. Біологічний регрес.

**Пригадайте!** Що таке синтетична теорія еволюції? Що таке геном?



### Знайомтеся!

*Зяблики Дарвіна, або галапагоські зяблики* (або в'юрки), – група птахів родини Вівсянкові ряду Горобцеподібні. Відомі тим, що саме види цієї групи Чарлз Дарвін зібрав у 1835 р. під час подорожі до Галапагоських островів. Нові види взяли початок від спільного материкового виду і в процесі еволюції стали відрізнятися один від одного за розміром та формою дзьоба, що дало їм змогу займати різні екологічні ніші. Як в еволюційній біології називають цю форму еволюції?



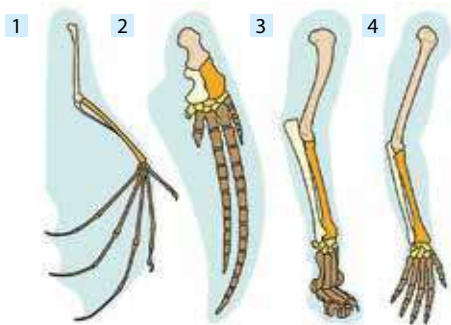
### ЗМІСТ

#### **Які особливості та форми макроеволюції?**

**МАКРОЕВОЛЮЦІЯ** – еволюційний процес, що приводить до виникнення надвидових груп. На відміну від мікроеволюції, яка відбувається в історично короткий час і доступна для безпосереднього вивчення, макроеволюція триває впродовж довгих грандіозних проміжків часу і недоступна для безпосереднього спостереження. У сучасній еволюційній біології макроеволюція розглядається як результат поступового накопичення та поєднання мікроеволюційних змін. Основними формами макроеволюційних змін є дивергенція, конвергенція та паралелізм.

**Дивергенція** (від. лат. *diverto* – відхиляюсь) – розвиток ознак відмінності в особин одного виду внаслідок пристосування до різних умов середовища. Відмінність ознак, що виникає в результаті цього явища, називається гомологією. Гомологічні органи – це органи, які подібні за будовою та походженням, але виконують різні функції (наприклад, кінцівки кита, кішки і людини (іл. 130), кореневище пирію і бульби картоплі. Прикладом дивергентної еволюції є поява рядів ссавців від спільного предка.

**Конвергенція** (від. лат. *convergo* – зближуюсь) – незалежний розвиток подібних ознак у філогенетично віддалених організмів унаслідок пристосування їх до подібних умов середовища.



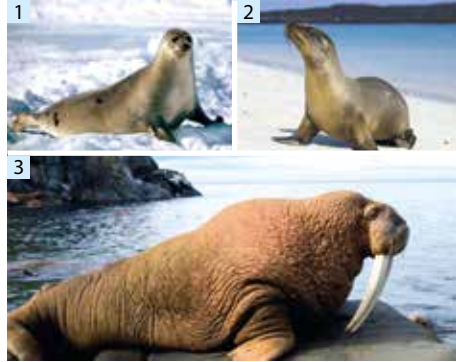
Іл. 130. Гомологія передніх кінцівок хребетних: 1 – кажана; 2 – кита; 3 – кішки; 4 – людини

Подібність ознак, що виникає в результаті цього явища, називається *аналогією*. *Аналогічні органи* – це органи, що виконують подібні функції, але не мають спільного плану будови і походження. Прикладом конвергентної еволюції є поява крил у різних тварин (іл. 131).



Іл. 131. Аналогічні органи: 1 – крила птаха; 2 – крила метелика; 3 – крила кажана

**Паралелізм** (від. грец. *parallelos* – той, що рухається поряд) – незалежний розвиток подібних ознак у споріднених систематичних груп організмів. Подібність ознак, що виникає в результаті цього явища, називається *гомойологією* (наприклад, подібність форми тіла у ластоногих, виникнення шаблезубості в різних групах вивопних кішок, паралельна еволюція сумчастих і плацентарних ссавців) (іл. 132).



Іл. 132. Паралелізм тюленів (1), котиків (2) і моржів (3)

Отже, основними формами макроеволюції є дивергенція, конвергенція і паралелізм.

### Які основні напрями макроеволюції?

Вивчаючи закономірності історичного розвитку тварин, О.М. Северцов у 20-х роках ХХ ст. розробив поняття «біологічний прогрес» і «біологічний регрес».

**Біологічний прогрес** – напрям еволюції, за якого народжуваність у популяції переважає над смертністю. Ознаками біологічного прогресу є зростання чисельності особин, розширення площі існування, підвищення темпів внутрішньовидової мінливості, утворення і велика кількість підлеглих систематичних груп, високий потенціал виживання. На сьогодні в стані біологічного прогресу перебувають покритонасінні, головоногі молюски, комахи, птахи, ссавці.

**Біологічний регрес** – напрям еволюції, за якого смертність у популяції переважає над народжуваністю. Ознаками біологічного регресу є зменшення чисельності особин, звуження площі існування, зниження темпів внутрішньовидової мінливості, зменшення різноманітності групи, низький потенціал виживання. На сьогодні в стані біологічного регресу перебувають види, що їх занесено до Червоної книги.

Поняття про біологічний прогрес і біологічний регрес є лише узагальнювальними термінами, що показують ступінь видової різноманітності певної групи у відповідний геологічний період розвитку нашої планети.

Отже, основними напрямками макроеволюційних змін є біологічний прогрес та біологічний регрес.

## Які шляхи досягнення біологічного прогресу?

Під час еволюції поєднуються й закономірно змінюють один одного різні шляхи досягнення біологічного прогресу, якими є ароморфози, ідіоадаптації та загальна дегенерація.

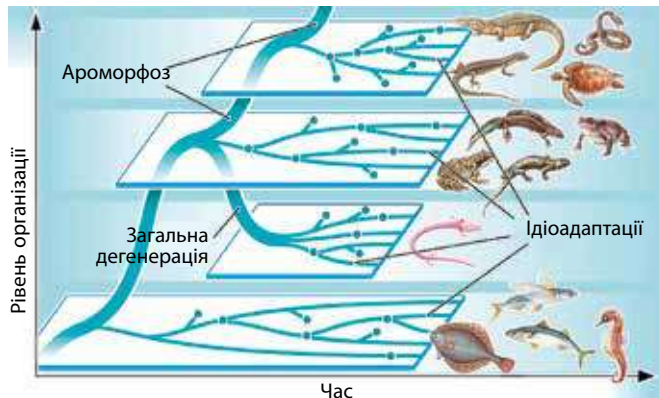
**Ароморфози** (*морфофізіологічний прогрес*) – еволюційні зміни, що підвищують рівень організації організму в цілому і відкривають нові можливості для пристосування до різноманітних умов існування. Прикладами ароморфних еволюційних змін є виникнення кровоносної системи у кільчаків, поява серця у молюсків, виникнення щелеп у риб, поява насіння у насінних рослин, утворення квітки й плоду в покритонасінних та ін.

**Ідіоадаптації** – еволюційні зміни, що мають характер пристосування до певних умов і не змінюють рівень організації організмів. Прикладами ідіоадаптивних змін є різноманітна будова квіток чи плодів покритонасінних, кінцівок у птахів чи ссавців (*іл. 133*).

**Загальна дегенерація** (*морфофізіологічний регрес*) – явище спрощення організмів у процесі еволюції. Прикладами загальнодегенеративних змін є зникнення у паразитів органів чуттів, травної системи та ін.



Іл. 133. Ідіоадаптаційна різноманітність кінцівок птахів: 1 – чапля; 2 – качка; 3 – куріпка; 4 – дятел; 5 – орел; 6 – страус



Іл. 134. Співвідношення шляхів досягнення біологічного прогресу

В історії розвитку органічного світу різні шляхи еволюції є взаємопов'язаними (*іл. 134*). Ароморфози визначають етапи в розвитку органічного світу, піднімають організацію групи на вищий рівень еволюції і відкривають перед нею нові можливості для освоєння середовища. Подальший розвиток йде шляхом ідіоадаптацій, які забезпечують освоєння доступної різноманітності умов. Під час переходу організмів у простіші умови формування пристосувань супроводжується спрощенням будови.

Отже, основними шляхами досягнення біологічного прогресу є ароморфози, ідіоадаптації та загальна дегенерація.





## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

Заповніть таблицю в робочому зошиті.

#### ОЗНАКИ БІОЛОГІЧНОГО ПРОГРЕСУ ТА БІОЛОГІЧНОГО РЕГРЕСУ

Ознака	Біологічний	
	прогрес	регрес
Чисельність особин (збільшується чи зменшується)		
Площа існування (звужується чи розширюється)		
Темпи внутрішньовидової мінливості (зростають чи спадають)		
Кількість підлеглих систематичних груп (збільшується чи зменшується)		

### Завдання на застосування знань

Який характер мають такі еволюційні події (ароморфози, ідіоадаптації чи загальна дегенерація): 1) виникнення плавців у риб; 2) перетворення плавального міхура та легені; 3) редуція травної системи у стьожкових червів; 4) перетворення плавців риб на п'ятипалі кінцівки амфібій; 5) поява гострих кігтів у хижих птахів; 6) поява білого забарвлення у полярних тварин; 7) поява квітки; 8) поява статевого процесу; 9) поява багатоклітинності; 10) зникнення коренів у повитиці?

Назвіть ароморфози комах, ссавців, покритонасінних, які в сучасному органічному світі є прогресуючими групами.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Етимологія

Прикладом адаптивної радіації може бути різноманітність плацентарних ссавців, що мають спільного предка (у центрі ілюстрації). Розгляньте малюнки різних ссавців на ілюстрації, вкажіть їхні назви і середовище існування. А що таке адаптивна радіація? Яке походження слів у цьому біологічному терміні?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке макроеволюція? 2. Наведіть визначення понять: дивергенція, конвергенція, паралелізм. 3. Що таке біологічний прогрес? 4. Що таке біологічний регрес? 5. Назвіть основні шляхи макроеволюції. 6. Наведіть приклади ароморфозів, ідіоадаптацій та загальної дегенерації.
7 – 9	7. Які особливості та форми макроеволюції? 8. Які основні напрями макроеволюції? 9. Як співвідносяться основні шляхи макроеволюції?
10 – 12	10. Порівняйте біологічний прогрес та біологічний регрес.

Скажіть, хвилі, що таке людина?  
Звідки вона прийшла? Куди піде?  
І хто над нами серед зірок живе?

Г. Гейне. Книга пісень. Питання

## § 48. ЕВОЛЮЦІЯ ЛЮДИНИ

**Основні поняття й ключові терміни:** ЛЮДИНА РОЗУМНА. Антропогенез. Еволюційна біологія.

**Пригадайте!** Що таке еволюція?



### Поміркуйте!

«Звідки ми прийшли?  
Хто ми? Куди ми йдемо?»  
(1897–1898) – картина французького художника Поля Гогена (1848–1903), одне з найбільш знаменитих його творінь.



Створена на Таїті, зберігається в Музеї витончених мистецтв у Бостоні, США. Хто ж така людина?



### ЗМІСТ

#### **Які особливості людини як біосоціального виду?**

Всі сучасні люди, які проживають на Землі, належать до одного виду – Людина розумна, латинська назва якого *Homo sapiens*. Цей вид розглядається як сукупність популяцій, що поєднані генним потоком між собою, дають плодюче потомство, займають певний ареал, мають пристосування до умов життя і спільне походження.

Людина – біологічна істота, оскільки в неї наявні такі самі особливості, що й в усіх інших організмів. Це генетичний код, клітинна будова, процеси життєдіяльності, обмін речовин, енергії та інформації та ін. У системі органічного світу Людина розумна як біологічний вид належить до ссавців у межах типу Хордові. У людини, як і у всіх хордових, наявні хорда, зяброві щілини в глотці, нервова трубка (у зародковому розвитку) та ін. Як і всі ссавці, людина має диференційовані зуби, діафрагму, теплокровність, чотирикамерне серце, вигодовує малят молоком та ін.

Людина – суспільна істота, наділена свідомістю, членороздільною мовою, другою сигнальною системою, абстрактним мисленням і високим рівнем розумової діяльності. Вона характеризується вмінням створювати різноманітні знаряддя праці для виготовлення знарядь праці. Це дає підстави людині займати найвищий щабель розвитку органічного світу. Завдяки здатності концентрувати й передавати набутий досвід наступним поколінням, у людини формується культура (лат. *cultura* – догляд, освіта) – сукупність усіх матеріальних і духовних цінностей усього людства, створених упродовж його історії. Поняття *культура* об'єднує в собі науку, освіту, мистецтво, мораль, уклад життя та світогляд.

Основні відмінності людини від інших організмів пов'язані з *трудовою діяльністю, прямоходінням і мовою*. Так, у людини головний

мозок має більші відносні розміри (близько 2% від маси тіла), більшу *поверхню піккуль* великого мозку (близько 1250 см<sup>2</sup>), домінує мозковий відділ черепа, слабкий розвиток надбрівних дуг, розвинутий *підборідний виступ*, хребет має характерні *4 вигини*, грудна клітка сплюснена спереду назад, таз розширений, склепінчаста стопа, розвинутий великий палець та ін.

Отже, **ЛЮДИНА РОЗУМНА** – біосоціальний вид, у організмів якого наявні біологічні особливості, що вказують на єдність з живою природою, та соціальні особливості, які відрізняють людину від інших організмів.

### Які особливості та чинники еволюції людини?

На сьогоднішній час у суспільстві існують різні теорії походження людини. Назвемо окремі з них: *божественна теорія* (теорія Розумного створення, або Розумного задуму), *теорії Позаземного втручання*, *сіміальна* (від. лат. *sima* – мавпа) *теорія* та ін. У сучасній науці домінують погляди щодо антропогенезу, який відбувся під впливом еволюційних чинників.

Походження людини якісно відмінне від видоутворення в тваринному світі. Еволюція людини відбувалася не тільки під впливом біологічних, а й соціальних чинників. У формуванні особливостей людини визначальну роль зіграли прямоходіння, праця, мова й суспільний спосіб життя. Велике значення в процесі еволюції мала поява *альтруїзму* (здатність до самопожертви заради інших). Еволюція людини на сучасному етапі спрямовується дією соціальних чинників антропогенезу. Проте вплив біологічних чинників не припиняється. Так, у результаті дії *природного добору* у людини виробляється стійкість до інфекційних хвороб, діє *мутаційний процес*, у малих популяціях велике значення мають процеси *дрейфу генів*, внаслідок міжрасових шлюбів відбувається генний потік та ін.

Чинники еволюції людини	
біологічні	соціальні
Рушійний: <i>природний добір</i> Елементарні: <i>спадкова мінливість, дрейф генів, ізоляція, популяційні хвилі</i>	Трудова діяльність Суспільний спосіб життя Мова та абстрактне мислення

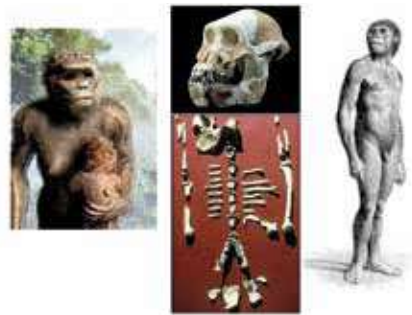
Отже, **антропогенез** – процес виникнення і формування людини в процесі еволюції, що відбувався під впливом біологічних і соціальних чинників.

### Які основні етапи еволюції людини?

**Еволюційна антропология** (від грец. *антропос* – людина, *логос* – наука) – наука, що вивчає походження й історичний розвиток людини. Ця наука шукає відповіді на запитання «Як, коли і де виникло людство?». Згідно із сучасними еволюційними поглядами лінія людини відокремилась у процесі тривалої еволюції від мавпоподібних предків не раніш ніж 10 млн років тому. А батьківщиною людства більшість науковців вважає Африканський континент.

Найдавнішим мавпоподібним предком людини на сьогодні вважається *Ардипітек корінний* (*Ardipithecus ramidus*), який жив орієнтовно 4,4 млн років тому.

Антропологам удалось зібрати практично цілий череп, пояс та скелет нижньої кінцівки, скелет верхньої кінцівки ардіптека. Сьогодні ардіптека вважають безпосереднім попередником австралопітеків, від яких і почався рід *Ното*. *Австралопітеки* – мавпоподібні предки, яким було притаманне прямоходіння. Вони жили на відкритих просторах, де займалися полюванням, збиранням рослинної їжі, не відмовлялись від залишків тварин, що були здобиччю великих хижаків. На сьогодні описано декілька видів австралопітеків, серед яких найдавніші – австралопітек анаменський, австралопітек афарський (до цього виду належать останки відомої серед антропологів Люсі) (іл. 135), австралопітек африканський.



Іл. 135. Австралопітек афарський

**Людина вміла** (*Homo habilis*) – найдавніший вид роду Людина, що з'явився в Східній Африці близько 2,4 млн років тому. Саме Людина вміла або один із її різновидів вважаються в теперішній час найвірогіднішими предками всіх пізніших представників людини. І саме цю дату можна вважати початком еволюції людини.

**Людина прямоходяча** (*Homo erectus*, застаріла назва – *архантропи*) – викопний вид, який розглядають як безпосереднього попередника сучасної людини. Вважається, що ці люди з'явилися у Східній Африці, еволюціонували від Людини рудольфської і через Близький Схід (Людина грузинська) широко заселили Євразію аж до Китаю (Людина юаньмоуська, або синантропи). До цього виду відносять і пітекантропів (жили в Південно-Східній Азії), гейдельберзьких людей (мешкали в Європі та Західній Азії), Людину флореську (виявлена в Індонезії і названа «хобітом» за аналогією з істотами, придуманими Дж. Р. Толкіном).

**Людина неандертальська** (*Homo neanderthalensis*, застаріла назва – *палеонтропи*) названа так тому, що перші залишки було знайдено в 1856 р. в печері в долині Неандерталь у Німеччині. Для неандертальців характерні низьке скошене чоло, суцільний надбрівний валик, недорозвинутий підборідний виступ, великі зуби. Користувалися кам'яними знаряддями, вміли добувати вогонь, поселялися на узбережжях річок, жили під природними навісами або в печерах, вміли говорити, хоча їхня мова була повільною. Неандертальці ховали своїх померлих.

**Кроманьйонська людина** (*Homo sapiens*, інша назва – *неантропи*) названа так тому, що перший кістяк було знайдено в 1868 р. у печері Кро-Маньйон у департаменті Дордонь у Франції. Нові відкриття молекулярної біології вказують на те, що перші кроманьйонці постали близько 100 тис. років тому. Це були високі, могутньої статури люди, у яких суцільного надбрівного валика не було, був підборідний виступ, що свідчить про розвиток мови. Жили в печерах, носили одяг, створювали наскельні малюнки, гравюри, скульптури, прикраси та музику. Відрізнялись від своїх сучасних нащадків тільки дещо більшим

об'ємом мозку і міцнішою будовою тіла. Займалися полюванням на великих бізонів, мамонтів, оленів, ведмедів і диких коней.

Отже, еволюція людини, як і еволюція багатьох видів, відбувалася в декілька етапів.



### **ДІЯЛЬНІСТЬ** **Біологія + Латина**

Визначте місце Людини розумної в системі органічного світу. Для цього зробіть переклад латинських назв і запишіть у таблиці в робочому зошиті українські назви основних систематичних категорій.

Місце людини в системі органічного світу	
Латинська назва	Українська назва
Regnum Animalia	
Phylum Chordata	
Classis Mammalia	
Ordo Primates	
Familia Hominidae	
Genus Homo	
Species Homo sapiens	

### **Біологія + Поезія**

У Ліни Костенко є чудовий вірш, з якого ми наводимо рядки:

*Мабуть, ще людство дуже молоде.  
Бо скільки б ми не загинали пальці, –  
XX вік! – а й досі де-не-де  
трапляються іще неандертальці.*

Хто такі неандертальці? Які ознаки неандертальців проявляються серед сучасних людей і чому?



### **СТАВЛЕННЯ** **Біологія + Мистецтво**

У департаменті Дордонь на південному заході Франції є печера, відома своїми залишками доісторичної людини, знайденими тут 1868 р. французьким палеонтологом *Луї Ларте*. Було знайдено і прикраси, зокрема перлини та зуби тварин у кулонах й намистах, що свідчить про первісне мистецтво. Печера дала назву всім людям епохи верхнього палеоліту. Про яких людей йдеться? Яке значення мистецтва в еволюції людини?



### **РЕЗУЛЬТАТ**

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто така Людина розумна? 2. Наведіть приклади біологічних і соціальних особливостей Людини розумної. 3. Що таке антропогенез? 4. Назвіть чинники еволюції людини. 5. Що таке еволюційна антропологія? 6. Назвіть основні етапи становлення людини.
7 – 9	7. Які особливості людини як біосоціального виду? 8. Які особливості та чинники еволюції людини? 9. Які основні етапи еволюції людини?
10 – 12	10. Доведіть вплив біологічних і соціальних чинників на еволюцію людини.

Все йде, все минає, – і краю немає.  
Куди ж воно ділось? Відкіля взялось?

Т. Шевченко. Гайдамаки

## § 49. ПОХОДЖЕННЯ ТА ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ЖИТТЯ

**Основні поняття й ключові терміни:** Передбіологічна еволюція. Біологічна еволюція.

**Пригадайте!** Що таке еволюція?



### **Поміркуйте!**

Найдивовижнішою планетою Сонячної системи є Земля. Її розташування в системі таке, що вона отримує достатньо тепла і світла, має багато води в рідкому стані, тиск біля поверхні такий, що можуть формуватися шари атмосфери, у складі літосфери містять різні хімічні елементи. І що найважливіше, всі три геологічні оболонки Землі пов'язані обмінними процесами, що створює сприятливі умови для життя. Як виникло за таких умов життя?



### **ЗМІСТ**

**Якими є світоглядні та наукові погляди на походження життя?**

Походження життя – одна з трьох найважливіших світоглядних проблем поряд з проблемами походження нашого Всесвіту і походження людини.

Гіпотез походження життя на сьогодні існує багато, але у випадку кожної з них постає запитання про те, якими були перші найпростіші живі системи. Загально визнаними властивостями найпримітивніших біосистем науковці називають наявність макромолекул (білків, полісахаридів й нуклеїнових кислот) і тих властивостей, що реалізуються за їхньою допомогою, а саме відкритість, упорядкованість, обмін речовин й енергії, саморегуляцію, самовідтворення та самооновлення.

Як могли з'явитися такі біосистеми на Землі? У сучасному суспільстві існують різні погляди. Життя виникло завдяки божественному творенню (*гіпотези креаціонізму*), життя виникало неодноразово з неживої речовини (*гіпотеза спонтанного зародження*), життя існувало завжди (*гіпотеза стаціонарного стану*), життя занесене на нашу планету ззовні (*гіпотеза панспермії*), життя еволюціонувало на Землі з неживої природи (*гіпотеза біохімічної еволюції*) та ін.

Сучасні наукові погляди про походження життя можна подати у вигляді таких положень.

- Життя виникло на Землі мільярди років тому з неорганічної природи в два етапи: хімічної, або передбіологічної, еволюції (абіогенез) та біологічної еволюції (біогенез).
- У теперішній час живе походить від живого. Повторне виникнення життя на Землі неможливе.

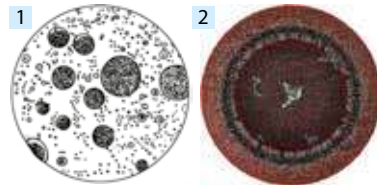
Отже, у суспільстві існують найрізноманітніші погляди на походження життя, а в науці домінуючими є еволюційні погляди.

## Які основні етапи передбіологічної еволюції життя?

**Передбіологічна (хімічна) еволюція** – це процес абіогенного синтезу макромолекул та утворення первісних біологічних систем. Цей процес відбувався впродовж мільярдів років у специфічних умовах під дією зовнішніх джерел енергії. Існує не менш ніж три гіпотези щодо умов, за яких з'явилося життя: в гарячих джерелах у підніжжя вулканів (підтвердженням є знахідки архей у джерелах Йеллоустонського національного парку, США), під льодом (знахідки органічних сполук у Гренландії), на мілководді теплих морів. Цікавим є оцінювання джерел енергії первісної Землі, що використовувалась для синтезу органічних сполук. Науковці називають сонячну енергію на першому місці, далі – енергія глибин земної кори, тепло вулканічного походження та електричні розряди.

Утворення поширених у живій природі органічних сполук відбувалося по етапах.

1. Абіогенний синтез органічних мономерів (амінокислот, моносахаридів та ін.).
2. Синтез органічних полімерів та ліпідів. Існує декілька гіпотез для пояснення цих подій. Наприклад, термічна гіпотеза С. Фокса (із суміші амінокислот за 180–200 °С отримували протеїноїди), гіпотеза адсорбції Д.Бернала (синтез полімерів, для яких каталізаторами були йони металів, а матрицею – часточки пористої глини).
3. Утворення фазово-відокремлених органічних систем (скупчень сполук, відокремлених від води поверхнею розділу), які могли рости, розпадатися й поєднуватися. Такі системи отримують в лабораторних умовах, і їх ілюструють такі поняття, як «коацервати» Опаріна, «мікросфери» Фокса, «міхурці» Гольдейкра та ін.
4. Утворення **протоклітин** (автономних біологічних систем, які мали білки й нуклеїнові кислоти, ліпідні мембрани, реакції матричного синтезу і були здатні до самовідтворення). Цікавими у цьому аспекті є гіпотеза «РНК-світу» (О.Річ, К.Воез, В.Гілберт) та гіпотеза «світу поліароматичних вуглеводнів» (С.Н. Платс).



Іл. 136. Органічні системи:  
1 – коацерватні краплини;  
2 – протоклітина з РНК-рибозимом

Отже, основними етапами передбіологічної еволюції є синтез органічних мономерів, синтез полімерів та ліпідів, утворення органічних систем, формування протоклітин.

## Якими є основні події біологічної еволюції життя?

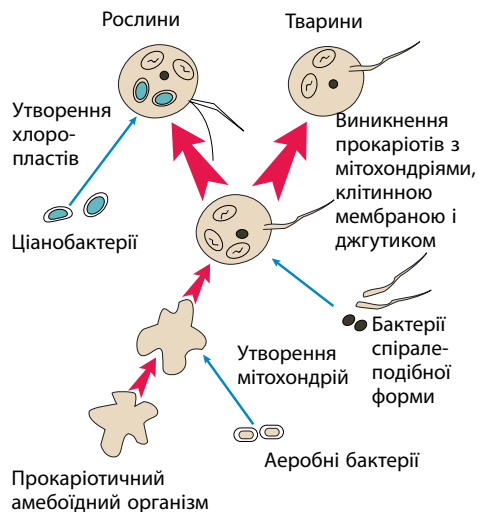
**Біологічна еволюція** – це історичний розвиток життя на Землі від первісних біосистем до сучасного органічного світу. З протоклітин понад 3,5 млрд років тому з'являються **археїонти** – перші організми, у яких вже були клітинна мембрана, цитоплазма, генетичний апарат, виникли реплікація і біосинтез білків на основі генетичного коду. Археїонти є спільними предками усіх нині існуючих груп організмів – бактерій, архей та еукаріотів (табл. 14).

**Таблиця 14. ГЕОХРОНОЛОГІЯ ЗЕМЛІ ТА ОСНОВНІ ЕТАПИ РОЗВИТКУ ЖИТТЯ**

Ера	Період	Основні еволюційні події
Архей		Виникнення прокариотів, поділ на бактерії та археї. Поява ціанобактерій
Протерозой		Поява еукариотів, поділ на рослини, гриби і тварини. Поява багатоклітинних організмів
Палеозой	Кембрій	Поява тварин зі скелетом, перших членистоногих – трилобітів
	Ордовік	Поява хребетних (панцирні безщелепні) і судинних рослин
	Силур	Вихід рослин (риніофіти) і безхребетних (ракокоропіони) на суходіл
	Девон	Поява вищих спорових, щелепоротих риб і амфібій (лабиринтодонти)
	Карбон	Виникають насінні папороті й перші плазуни (котилозаври)
	Перм	Поява голонасінних і звірозубих ящерів (теріодонтів)
Мезозой	Тріас	Поява динозаврів. Поява перших ссавців
	Юра	Поява птахів
	Крейда	Поява покритонасінних, сумчастих і плацентарних
Кайнозой	Палеоген	Поява та розквіт плацентарних ссавців і птахів
	Неоген	Поява перших людиноподібних мавп та австралопітеків
	Антропоген	Поява людини

**Поява бактерій і архей** відбулася в архейській ері. Сьогодні екологічні погляди на розвиток життя на Землі все більше переконують вчених, що процес виникнення гетеротрофів і автотрофів відбувався паралельно. В процесі еволюції мали з'явитися прості, але надійні екосистеми з продуцентами, консументами і редуцентами. Доказом цього є викопні залишки строматолітів та існуючі й сьогодні подібні екосистеми у певних ділянках Землі. Можна лише захоплюватися поглядами В.І. Вернадського, який писав: *«Поява життя на початку формування біосфери мала відбутися не у вигляді одного якогось організму, а у вигляді угруповання, що відповідає геохімічним функціям життя»*.

**Поява еукариотів** відбулася в протерозойську еру життя. У цей час у морях виникли первісні *одноклітинні еукариоти*, які швидко дивергували на рослини, гриби і тварини, та *багатоклітинні еукариоти*, які в екосистемах моря були представлені майже всіма типами тварин і основними відділами водоростей. Формування еукариотів пов'язане з такими ароморфозами, як поява ядра, диплоїдного набору хромосом і статевого розмноження. У них виникають справжній мітоз та мейоз. В еукариотів з'являються мітохондрії й пластиди, які здійснюють процеси аеробного дихання й фотосинтезу. Є декілька гіпотез походження еукариотів, з яких найчастіше згадується *симбіотична гіпотеза* (мітохондрії та пластиди є нащадками симбіотичних видів прокариотів) (іл. 137).



Іл. 137. Етапи симбіогенезу



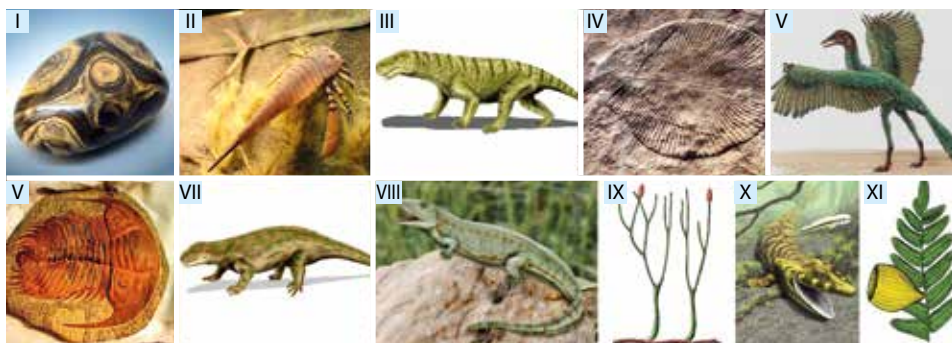


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на зіставлення

Доказами розвитку життя на Землі є палеонтологічні знахідки – викопні рештки організмів, мікро- та макроскам'янілості (фосилії). Зіставте ілюстрації з назвами скам'янілостей та їх особливостями.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI



1 Строматоліти	<b>А</b> Перші наземні вищі рослини
2 Насінні папороті	<b>Б</b> Щільні шаруваті утворення в результаті діяльності ціанобактерій
3 Риніофіти	<b>В</b> Викопні членистоногі, які були першопоселенцями суходолу
4 Котилозаври	<b>Г</b> Тварини кембрійського періоду із сегментованим панцирем
5 Трилобіти	<b>Д</b> Стародавні вимерлі амфібії
6 Ракокорпсіони	<b>Е</b> Найдавніші й найпримітивніші вимерлі плазуни
7 Лабіринтодonti	<b>Є</b> Вимерлі плазуни, які дали початок ссавцям
8 Теріодonti	<b>Ж</b> Вимерла проміжна ланка між споровими і насінними рослинами
9 Археоптерикс	<b>З</b> Перехідна форма між рибами й земноводними
10 Дікінсонія	<b>И</b> Викопна тварина протерозойської ери
11 Тіктаалік	<b>І</b> Викопна форма з ознаками птахів й плазунів



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Астрономія

Результати дослідження метеоритів, що падають на Землю, свідчать про те, що вони містять органічні сполуки (амінокислоти, жирні кислоти). Дослідження цих підтверджують: вони виникли в позаземних умовах шляхом хімічного синтезу. А що таке метеорити? Висловіть судження щодо значення цих фактів для формування поглядів на походження життя.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Які основні властивості життя? 2. Назвіть гіпотези походження життя на Землі. 3. Що таке передбіологічна еволюція? 4. Назвіть етапи передбіологічної еволюції. 5. Що таке біологічна еволюція? 6. Назвіть ери історичного розвитку життя на Землі.
7 – 9	7. Якими є світоглядні та наукові погляди на походження життя на Землі? 8. Які основні етапи передбіологічної еволюції життя? 9. Які основні події біологічної еволюції?
10 – 12	10. В чому сутність найпоширеніших гіпотез походження життя на Землі?

## Узагальнення теми 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

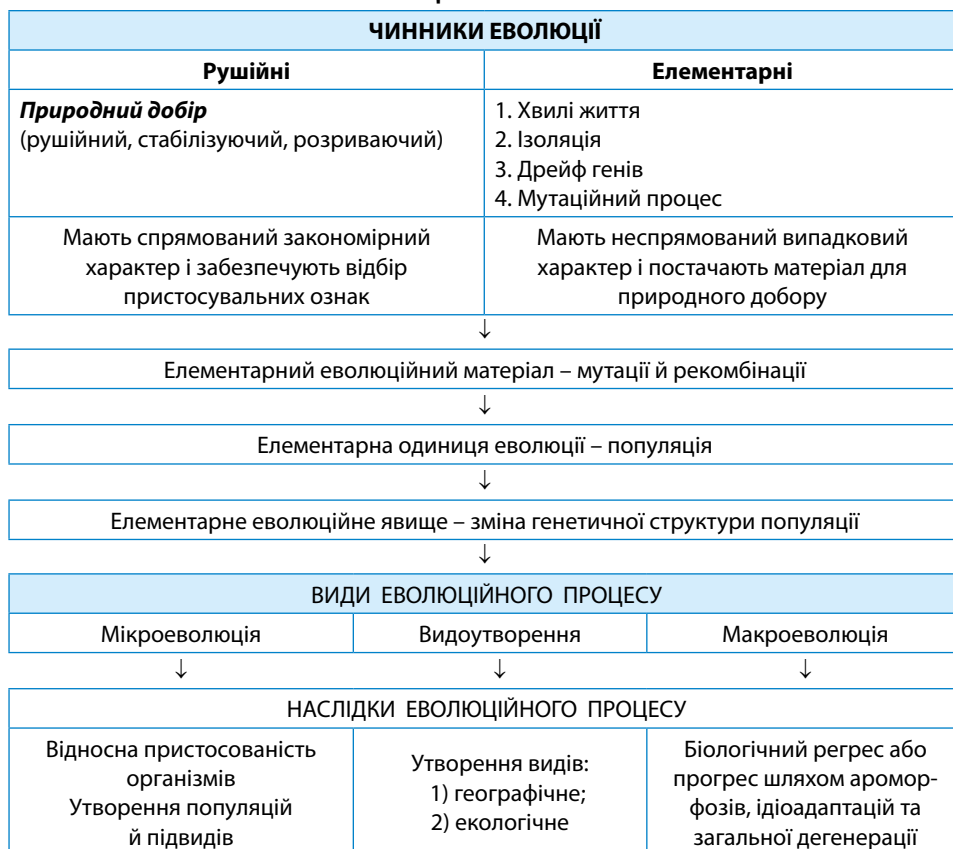
*Еволюція – природне явище зміни популяцій, видів, вищих таксонів, біоценозів, флори і фауни, генів і ознак у часі в ході історії Землі.*

*Вікіпедія*

**БІОЛОГІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ** – це незворотний, спрямований історичний розвиток живої природи. Вперше термін еволюція (від грец. *εволюціо* – розгортання) у біології використав швейцарський природознавець та філософ Ш.Бонне у 1762 р. Еволюція супроводжується змінами генетичного складу популяцій, формуванням пристосувань, утворенням видів, перетвореннями біогеоценозів і біосфери в цілому. Основними ознаками біологічної еволюції є: 1) незворотність; 2) спрямованість; 3) рівневість. *Наука про причини, рушійні сили, механізми та закономірності історичного розвитку органічного світу називається **еволюційною біологією** (схема).*



**Схема. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ**



## Самоконтроль знань

### Тест-конструювання 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

1. Хто із науковців, спостерігаючи за розвитком попелиць, зробив несподіваний висновок про наявність у живій природі еволюції?  
**О** Ч. Дарвін      **П** К. Лінней      **Р** Ж. Б. Ламарк      **С** Ш. Бонне
2. Як Ч. Дарвін називав форму мінливості, що постачає для еволюції матеріал для природного добору?  
**С** визначена      **Т** невизначена      **У** модифікаційна      **Ф** генотипна
3. Ці гігантські морські членистоногі є одними з найдавніших реліктових видів. Назвіть цих «живих викопних» тварин.  
**П** гатерія      **Р** мечехвости  
**С** латимерія      **Т** єхидна
4. Крило зяблика і крило бджоли, зябра раків і зябра риб, бульби картоплі і кореневі бульби жоржини є прикладами органів...  
**А** аналогічних      **Б** атавістичних      **В** рудиментарних      **Г** гомологічних
5. «Онтогенез – це швидке повторення філогенезу». Назвіть закономірність.  
**Т** біогенетичний закон  
**Ф** закон генетичної рівноваги  
**У** закон гомологічних рядів спадкової мінливості  
**Х** закон зародкової подібності
6. Що є елементарною одиницею еволюції?  
**З** мутації      **И** популяції      **І** природний добір      **Ї** дрейф генів
7. Прикладами дії якої форми добору є формування стійкості проти отрутохімікатів у комах та індустріальний меланізм у метеликів березового п'ядака.  
**А** балансуєчого      **Б** стабілізуєчого      **В** розриваєчого      **Г** рушійного
8. Яка форма еволюції призвела до появи посухостійких форм молочаїв та кактусів, зображених на фотографіях?  
**П** дивергентна      **Р** конвергентна  
**С** філетична      **Т** паралельна
9. Яка із гіпотез пояснює походження еукаріотів?  
**А** симбіотична  
**Б** гіпотеза «гастреї»  
**В** гіпотеза «фагоцители»  
**Г** гіпотеза «РНК-світу»
10. Назвіть вимерлу тварину, зображену на ілюстрації.  
**С** риніофіт      **Т** ракоскорпіон  
**У** тіктаалік      **Ф** трилобіт
11. Яка із ознак має ароморфний характер?  
**И** застережне забарвлення сонечка      **І** квітка покритонасінних  
**Ї** корені-присоски омели      **Й** гачкуватий дзьоб сови
12. Найдавнішою ерою розвитку життя на Землі є...  
**Ч** протерозойська      **Ш** мезозойська  
**Ю** палеозойська      **Я** архейська

За умови правильних відповідей ви отримаєте назву науки, одним із завдань якої є визначення геологічного віку осадових порід:

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





## Тема 7. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

*Біорізноманіття – різноманітність живих організмів у всіх її проявах.*

*Вікіпедія*

### § 50. ОСНОВИ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ ФІЛОГЕНІЇ ТА СИСТЕМАТИКИ

**Основні поняття й ключові терміни: БІОРІЗНОМАНІТТЯ. Біосистематика. Філогенія.**

**Пригадайте!** Що таке організми, види, екосистеми?



#### **Поміркуйте!**

Скільки ж усього видів живих істот живе на Землі? Згідно з дослідженнями 2016 р. на Землі існує близько 1 трильйона видів, з яких вивчено лише 0,001%. Автори дослідження підкреслюють, що підрахунок кількості видів є одним із найскладніших завдань біології. Які причини такого різноманіття видів?



#### **ЗМІСТ**

**Яке значення для Землі має її біорізноманіття?**

**БІОРІЗНОМАНІТТЯ** – це розмаїття організмів, видів та їхніх угруповань. Поняття біорізноманіття застосовується з 1988 р., коли відомий американський біолог Е. Вілсон видав книжку «Біорізноманіття». Вивченням закономірностей формування та еволюції біорізноманіття займається *диверсикологія*.

Основними типами біорізноманіття є: *генетичне* (різноманітність генів усіх організмів), *видове* (різноманітність видів клітинних організмів) та *екосистемне* (різноманітність біотопів й біоценозів у різних ділянках Землі). Всі типи біорізноманіття пов'язані між собою.

Нині внаслідок антропогенного впливу людини біорізноманіття скорочується. Більшість вчених вважають, що в наш час відбувається шосте – найбільше – вимирання видів, спровоковане людським чинником. Вимирання видів – нормальне явище природи, але, за оцінками науковців, його нинішні темпи перевищують природні в 2–10 разів. Не менш вразливою є різноманітність природно-кліматичних зон. З метою привернення уваги громадськості до проблем скорочення біорізноманіття Генеральна Асамблея ООН проголосила 22 травня Міжнародним днем біорізноманіття.

Основними чинниками, що загрожують біорізноманіттю, є: 1) скорочення ареалів існування через діяльність людини; 2) надмірна експлуатація біоресурсів (наприклад, рибальство знищило до 80% рибної біомаси); 3) забруднення середовища (наприклад, тисячі морських птахів і черепах щорічно гинуть через дрібне пластмасове сміття); 4) вторгнення чужорідних видів (наприклад, азійський короп у водоймах Європи).

Яке ж значення біорізноманіття для Землі? Живі організми та їхні угруповання забезпечують: стійкість та розвиток біосфери, біологічний колообіг речовин й потік енергії, регуляцію кліматичних процесів на Землі, потреби людини в біоресурсах (їжі, сировині, ліках) та ін. Біорізноманіття – це величезний генофонд планети, і чим він різноманітніший, тим легше наша Земля адаптується до нових умов. Біорізноманіття сучасного органічного світу – результат історичного розвитку упродовж 3,3–4,2 млрд років.

Отже, генетичне, видове та екосистемне біорізноманіття є основою життя на Землі.

### Які основні принципи біологічної систематики?

**Біосистематика** (від грец. *біос* – життя і *система* – упорядкування) – наука про різноманітність організмів. Термін було запропоновано К. Ліннеєм. Сучасна систематика розвивається в тісному зв'язку з еволюційною морфологією, біохімією, екологією, анатомією, молекулярною біологією, генетикою, біогеографією тощо.

Основною метою біосистематики є побудова системи органічного світу.

Загальними принципами біосистематики, що упорядковують й організують дослідження видового різноманіття, є такі.

- Для визначення місця виду в системі органічного світу використовуються систематичні (таксономічні) категорії: домен, царство, тип (відділ), клас, ряд (порядок), родина, рід і вид (іл. 138).
- Основною і найменшою одиницею класифікації є вид, а найбільшою одиницею класифікації є домен – категорія, що включає декілька царств.
- Кожен вид слід обов'язково класифікувати – визначити ступінь його подібності й відмінності від інших, порівнявши з ними.
- На основі окремих ознак подібності ґрунтується побудова *штучних (формальних) систем* (систем організмів, у класифікації яких не враховується історична спорідненість різних таксонів).
- *Природні (філогенетичні) системи* – це системи організмів, у яких класифікація видів ґрунтується на їх ступені подібності та відображає філогенетичну спорідненість між систематичними групами.



Іл. 138. Основні таксономічні категорії

- Для класифікації живих організмів використовується подвійна (бінарна) номенклатура, яку запровадив ще К. Лінней. **Бінарна номенклатура** – подвійна назва видів, перше слово якої вказує на родову належність, а друге – на видову. Наприклад, пес свійський (*Canis familiaris*).
- Для зведення правил біологічної номенклатури існують спеціальні номенклатурні кодекси (наприклад, «Міжнародний кодекс ботанічної номенклатури» (ICBN), «Міжнародний кодекс зоологічної номенклатури» (ICZN).

Отже, основними завданнями сучасної біосистематики є опис й упорядкування різноманітних існуючих і вимерлих видів, класифікація та визначення еволюційних зв'язків для створення природної (філогенетичної) системи органічного світу.

### Яке значення еволюційної філогенії у дослідженні біорізноманіття?

**Еволюційна філогенія (або філогенез)** (від. грец. *філо* – рід і *генезіс* – породжую) – розділ еволюційної біології, що вивчає шляхи історичного розвитку біорізноманіття Землі. Термін *філогенез* ввів у науку німецький учений Е.Геккель у 1866 р. Ним він визначав історичний розвиток окремих видів, систематичних груп та органічного світу в цілому. В сучасному розумінні поняття *філогенія* застосовується і для досліджень еволюції молекул, клітин, органів, систем органів, популяцій, окремих видів, екосистем та біосфери в цілому. Метою еволюційної філогенії є реконструкція походження і послідовності еволюційних перетворень та побудова природної системи органічного світу.

Вихідним методом для досліджень філогенезу був метод «потрійного паралелізму» з використанням знань морфології, ембріології та палеонтології. Сучасна еволюційна філогенія використовує дані генетики, біохімії, молекулярної біології та багатьох інших наук. Важливу інформацію для науковців дають методи *молекулярної філогенетики*, що досліджують філогенетичні відносини молекул ДНК, РНК і білків різних організмів. Так, було з'ясовано, що для встановлення еволюційних зв'язків між царствами і типами живих організмів найбільше значення має рРНК. Причина криється в тому, що ця молекула виникла на ранніх етапах становлення життя і є в усіх живих організмів.

Для ілюстрації філогенії еволюційних зв'язків між групами організмів застосовують *філогенетичні дерева*. Це зображення філогенетичних відносин у будь-якій природній групі організмів або в межах всього органічного світу.

Результати досліджень еволюційної філогенії найширше використовуються в біосистематиці для класифікації організмів, в біогеографії – для вивчення поширення, в етології – для дослідження еволюції поведінки, в медицині – для розуміння шляхів виникнення хвороботворних мікроорганізмів та ін.

Отже, предметом досліджень еволюційної філогенії є еволюційні зв'язки між організмами на різних рівнях організації живого та шляхи історичного розвитку біорізноманіття на Землі.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Розгляньте філогенетичне дерево, застосуйте знання організмів та заповніть таблицю. Зробіть висновок про єдність органічного світу.

Назва групи	Представники
Бактерії	
Археї	
Одноклітинні твариноподібні	
Одноклітинні водорості	
Рослини	
Гриби	
Тварини	



## Біологія + Геологія

Перед вами на світлині шматок балтійсько-го бурштину із застиглим грибним комаром, на ніжці якого пилковий мішечок (поліній). За допомогою цієї знахідки науковцям вдалося визначити, що адаптації орхідей до запилення за участі комах вже були у них 45–55 млн років тому. Що таке бурштин? Які склад та властивості цієї смоли, що приносить для палеонтологів такі цінні відомості з давніх геологічних часів?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Символіка

Воля – це українська національна ідея. Вона записана на українському гербі, символом якого є сокіл. Науковці зазначають, що як за часів Київської Русі, так і нині під цією назвою розуміють такий вид, як сапсан (*Falco peregrinus*). Визначте місце цього виду в системі органічного світу. Висловіть свої судження щодо того, чому саме сапсан є символом на українському гербі.



Домен		Ряд	
Царство		Родина	
Тип		Рід	
Клас		Вид	



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біорізноманіття? 2. Які є типи біорізноманіття? 3. Що таке еволюційна філогенія? 4. Яка мета еволюційної філогенії? 5. Що таке біосистематика? 6. Назвіть таксономічні одиниці.
7 – 9	7. Яке значення для Землі має її біорізноманіття? 8. Які основні принципи біологічної систематики? 9. Що таке філогенетичні дерева?
10 – 12	10. Яке значення еволюційної філогенії у дослідженні біорізноманіття?

Я давно вже відчуваю, що біологія може захоплювати не менше, аніж будь-яка таємнича історія, тому що вона і є таємничою історією.

Річард Докінз. Егоїстичний ген

## § 51. СИСТЕМА ОРГАНІЧНОГО СВІТУ. ВІРУСИ

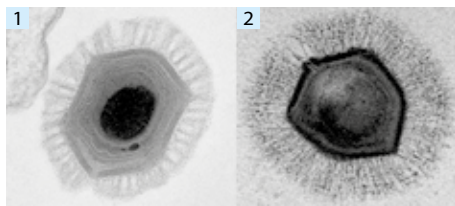
**Основні поняття й ключові терміни:** СИСТЕМА ОРГАНІЧНОГО СВІТУ. ВІРУСИ. Субвірусні частинки.

**Пригадайте!** Що таке органічний світ?



### Новини науки

Новий вірус, відкритий у 2011 р. неподалік від побережжя Чілі, отримав назву *Megavirus chilensis*. Його геном містить 1 259 197 пар нуклеотидів, розміри – близько 680 нм. За цими показниками вірус є рекордсменом серед неклітинних форм життя. В 2003 р. описано мімівірус, що паразитує в клітинах амеб. Його геном містить 1,2 млн пар нуклеотидів, а розміри становлять близько 600 нм (іл. 139). Яке ж місце цих форм життя в системі органічного світу?



Іл. 139. Одні з найбільших вірусів:  
1 – мегавірус; 2 – мімівірус



### ЗМІСТ

**У чому сутність принципів побудови системи органічного світу?**

**СИСТЕМА ОРГАНІЧНОГО СВІТУ** – це розподіл на групи всіх живих істот з урахуванням їхньої спорідненості та використання систематичних категорій. Створення системи органічного світу є головним завданням біосистематики. Вочевидь завершеною така система ніколи не буде, але це не означає, що цього не потрібно прагнути. Основними принципами побудови системи органічного світу є такі.

1. **Принцип філогенетичності.** В системі органічного світу живі істоти класифікуються не тільки за комплексом морфологічних, фізіологічних, біохімічних та молекулярно-генетичних ознак, а й з урахуванням філогенетичної спорідненості організмів.
2. **Принцип ієрархічності.** Систематичні категорії нижчого порядку об'єднуються в категорії вищого порядку.
3. **Принцип номенклатурної упорядкованості.** Усі назви таксонів мають подаватися за правилами, прописаними у спеціальних міжнародних кодексах біологічної номенклатури.

Загальновизнаної системи органічного світу в сучасній біологічній класифікації немає. Найчастіше трапляються Система двох імперій (Прокаріоти та Еукаріоти) та Система трьох доменів (Бактерії, Археї та Еукаріоти). Згідно з однією з класифікацій всі живі організми (*Biota*) поділяють на чотири групи: Неклітинні (*Aphanobionta*), Бактерії (*Bacteria*), Археї (*Archaea*) та Еукаріоти (*Eukaryota*).

Отже, система органічного світу створюється на основі принципів філогенетичності, ієрархічності та номенклатурної упорядкованості.



## Які особливості та значення вірусів?

**Неклітинні** – сукупність форм життя, що не мають клітинної будови. Цей термін з'явився після відкриття найбільших вірусів, якими є мімовіруси, мегавіруси й пандоравіруси. Окрім вірусів до групи Неклітинні відносять й субвірусні частинки – віроїди та пріони.

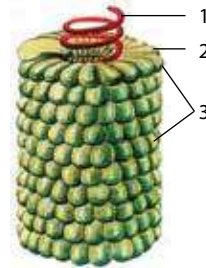
**ВІРУСИ** (від. лат. *virus* – отрута) – це неклітинні форми життя, які є внутрішньоклітинними абсолютними паразитами. Віруси вражають усі клітинні організми. Знайдено також віруси, які здатні відтворюватися лише в присутності інших вірусів (віруси-сателіти). Відкрито віруси в 1892 р. Д.Й. Івановським. Віруси, яких на сьогодні описано понад 5 000 видів, вивчає *вірусологія*.

*Які особливості вірусів?* За особливостями будови віруси поділяють на прості й складні. **Прості віруси** складаються з білків і одного типу нуклеїнової кислоти, а **складні віруси** мають ще ліпіди, вуглеводи. Прості віруси мають *капсид* з білкових частинок – *капсомерів* і нуклеїнову кислоту – *серцевину*. Складні віруси можуть мати додаткові оболонки, молекули вуглеводів, ферменти тощо. Вірусна нуклеїнова кислота представлена одно- або дволанцюжковими молекулами ДНК чи РНК.

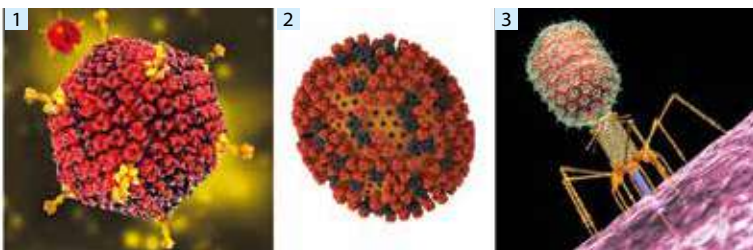
Вірусні білки бувають декількох типів: білки-ферменти для самовідтворення молекул нуклеїнових кислот, білки-гемаглютиніни для розпізнавання клітин, білки-нейромінідази для руйнування рецепторів клітин, структурні білки для побудови капсиду. У вірусів немає власних білоксинтезуючих систем, тобто у них немає власних іРНК, тРНК, рибосом. Для вірусів характерна специфічність, що полягає у можливості взаємодії вірусів лише з певними рецепторами клітинних мембран. У життєвому циклі вірусів наявні 2 фази – позаклітинна (віріон) і внутрішньоклітинна (проявляє окремі ознаки живого, як-то мінливість, розмноження).

*Яке значення вірусів?* Віруси спричиняють різноманітні, часто масові (епідемічні) захворювання (іл. 141). У людини віруси вражають органи дихання (віруси грипу), травну (гастроентерити, гепатити) чи

Особливості вірусів
1. Неклітинна будова
2. Простий хімічний склад
3. Різноманітність геному
4. Проста будова
5. Відсутність синтезу білків
6. Відносна специфічність
7. Особливий життєвий цикл
8. Здатність до самозбирання



Іл. 140. Схематична будова вірусу тютюнової мозаїки:  
1 – серцевина;  
2 – капсомери;  
3 – капсид



Іл. 141. Різноманітність вірусів: 1 – аденовірус; 2 – вірус грипу; 3 – бактеріофаг Т-4

нервову (поліомієліт, енцефаліти, сказ) системи, шкіру та слизові оболонки (кір, герпес, папіломи, вітряна віспа), пригнічують імунні реакції організму (СНІД), призводять до ракових захворювань (онковіруси). У тварин віруси спричиняють ящур, чумку собак, чуму курей, у рослин – жовтушність, мозаїчність, плямистість, некрози, пухлини тощо.

Основними заходами боротьби з вірусними хворобами є: а) ізоляція хворих організмів від здорових (карантин); б) лікування з допомогою хімічних антивірусних препаратів (хіміотерапія); в) профілактичні щеплення для підвищення стійкості організму (імунізація).

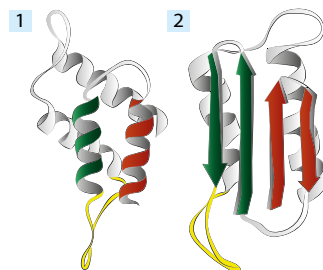
Людина використовує віруси у біологічному методі боротьби зі шкідливими видами (личинками кровосисних комарів, гусеницями шовкопрядів тощо). Віруси використовують і в генетичній інженерії для перенесення генів до клітин бактерій. Учені вважають, що віруси відіграють велику роль в еволюції організмів, оскільки можуть передавати спадкову інформацію від одних особин цих організмів до інших, як у межах одного виду, так і між різними.

Отже, віруси є давньою, важливою та недостатньо вивченою формою життя.

### Що є спільного та відмінного між субвірусними частинками?

**Пріони** (від англ. *proteinaceous infectious particles* – білкові заразні частинки) – особливий клас інфекційних агентів, які є низькомолекулярними білковими частинками без нуклеїнової кислоти (іл. 142). Ці частинки є збудниками важких захворювань ЦНС, м'язової, кровоносної та інших систем у людей і ряду вищих тварин (так звані повільні інфекції) і завжди закінчуються летально. Відкриті пріони в 1982 р. американським біологом С. Прузінером (нар. 1992). Найвідоміші пріонні інфекції, пов'язані з ураженням головного мозку: *губчаста енцефалопатія, фатальне сімейне безсоння, хвороба Куру* та ін.

**Віроїди** – неклітинні форми життя, які являють собою низькомолекулярну одноланцюгову кільцеву РНК, що не кодує білків. Віроїди було відкрито в 1971 р. Т. Дінером (нар. 1926). Ці субмікроскопічні частинки, на відміну від РНК-вірусів, білкової оболонки не мають. Віроїди потрапляють в клітину рослини-хазяїна під час вегетативного розмноження, за допомогою комах або механічним шляхом у разі пошкодження тканин. Більшість вчених вважають, що вони походять від інтронів або мобільних генетичних елементів. Віроїдними хворобами є веретеноподібність бульб картоплі, хвороба жовтих плям рису та ін.



Іл. 142. Два варіанти просторової структури пріонного білка:  
1 – нормальна структура (переважають альфа-спіралі);  
2 – патологічна структура (переважають бета-листки)

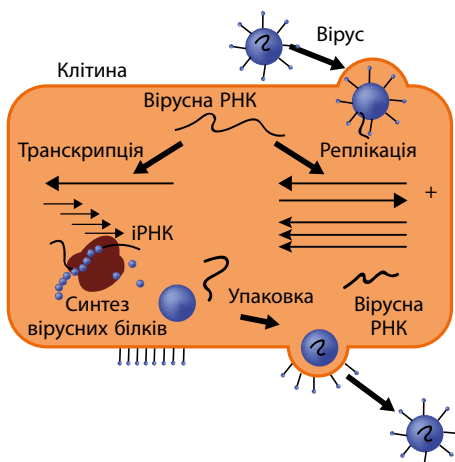
Отже, пріони й віроїди є заразними субвірусними частинками, що мають різну хімічну природу.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Робота з ілюстрацією

Розгляньте схему життєвого циклу вірусу грипу та визначте сутність таких стадій, як: *прикріплення до клітини, проникнення в клітину, транскрипція, трансляція, реплікація, збірка вірусних частинок, вихід з клітини*. Застосуйте знання й поясніть, чому створення ефективних антивірусних ліків є дуже важким завданням.



### Завдання на застосування знань

Для бактеріофагів типовою ознакою є використання генів бактерій, в яких вони паразитують і розмножуються. Науковці відкрили бактеріофаг WO, який у своєму геномі має частину ДНК павука чорна удова та гени, що пригнічують імунну систему павука. Цей факт є досить дивним, тому що гени тварин ще не було знайдено в геномі бактеріофагів. Запропонуйте власні пояснення цього факту та судження щодо єдності органічного світу.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Здоров'я

Грип (інфлюєнца) – вірусне захворювання, що супроводжується ураженням слизових оболонок верхніх дихальних шляхів. Найчастіше грип поширюється у вигляді епідемій та пандемій. Внаслідок найгіршої з них – епідемії іспанського грипу – 1918-го року загинули від 50 до 100 мільйонів людей. Сьогодні ситуація є такою, що звичайний вірус сезонного грипу спричиняє до 500 тисяч смертей щороку. Які етіологія та основні засоби боротьби з грипом?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке система органічного світу? 2. Назвіть принципи побудови сучасних систем органічного світу. 3. Що таке неклітинні форми життя? 4. Наведіть приклади неклітинних форм життя. 5. Що таке пріони? 6. Що таке віроїди?
7 – 9	7. У чому сутність принципів побудови системи органічного світу? 8. Назвіть особливості та значення вірусів. 9. Що є спільного та відмінного між відкритими субвірусними частинками?
10 – 12	10. Доведіть, що віруси є необхідною й важливою частиною біорізноманіття Землі.

## § 52. БАКТЕРІЇ. АРХЕЇ

Основні поняття й ключові терміни: **БАКТЕРІЇ. АРХЕЇ.**

Пригадайте! Що таке система органічного світу?



### Поміркуйте!

Роль модельних об'єктів у біології важко переоцінити – на них тримається вся наука. Багато з цих біологічних об'єктів є загальновідомими – практично всі знають горох посівний, дрозодилу, жабу чи мишей. Однак є й такі, про які й зовсім не чули. Це кишкова паличка (*Escherichia coli*). До якої групи організмів вона належить?



### ЗМІСТ

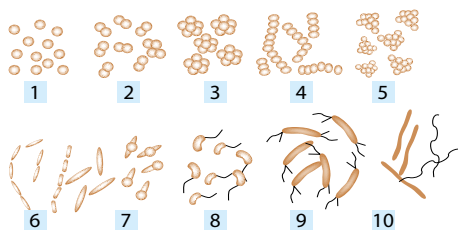
#### Які особливості, різноманітність та значення бактерій?

**БАКТЕРІЇ** (*Bacteria*) – група мікроскопічних, одноклітинних організмів, у яких немає ядра та мембранних органел. Уперше ці мікроскопічні організми побачив під мікроскопом **А. ван Левенгук** (1632–1723). З того часу й розпочався розвиток науки **мікробіології**.



Вихідними предками бактерій та усіх існуючих організмів були археїонти – анаеробні гетеротрофні прокаріотичні організми, які виникли близько 3,5–3 млрд років тому.

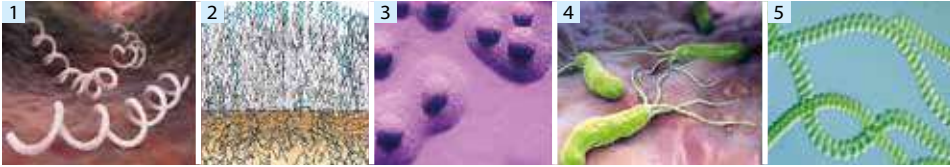
Які ж найзагальніші особливості будови та життєдіяльності бактерій? Клітинна стінка містить полісахариди (муреїн), плазматична мембрана утворює внутрішньоклітинні впинання (фотомембрани, мезосоми), з органел у цитоплазмі є рибосоми, замість ядра – *нуклеоїд*, у багатьох – *плазмід*и (маленькі кільцеві молекули ДНК). За формою клітин їх поділяють на групи: *кулясті*, *паличкоподібні*, *звивисті* (іл. 143). Для бактерій характерна надзвичайна різноманітність типів й способів живлення: *фотоавтотрофне* (ціанобактерії), *хемоавтотрофне* (залізо-, сіркобактерії), *фотогетеротрофне* (пурпурні несірчані бактерії), *хемогетеротрофне* (сапротрофні, симбіотрофні бактерії). Більшість прокаріотів є *аеробами*, але є й численна група *анаеробів*, які дістають енергію, необхідну для життя, завдяки процесам бродіння. Рухаються за допомогою слизу або джгутиків. Розмножуються нестатево – поділом клітини



Іл. 143. Різноманітність бактерій за формою клітин: 1–5 – кулясті; 6, 7 – паличкоподібні; 8–10 – звивисті

навіл, іноді брунькуванням, дуже швидко (кожні 20–30 хв). У багатьох прокариотів відбувається утворення *спор* для життя за несприятливих умов, деякі здатні до інцистування для захисту й поширення.

На сучасному етапі відбувається переважно біохімічна еволюція бактерій: вони здатні опановувати нові адаптаційні зони, виробляючи нові ферменти для засвоєння нових поживних речовин.



Іл. 144. Різноманітність бактерій: 1 – бліда спірохета; 2 – колонія актиномицетів; 3 – мікоплазма пневмонії; 4 – хелікобактер; 5 – спіруліна

Найбільш поширеною філогенетичною класифікацією є система, що ґрунтується на зіставленні послідовностей нуклеотидів у рРНК. У цій системі усі без'ядерні організми розділено на 26 філогенетичних гілок: 23 гілки представлено бактеріями, три – археями. Найвідомішими групами бактерій є: *спірохети* (наприклад, бліда спірохета – збудник сифілісу); *актинобактерії* (наприклад, стрептоміцети); *мікоплазми* (наприклад, мікоплазма пневмонії людини); *протеобактерії* (наприклад, кишкова паличка, сальмонела, холерний вібріон, чумна паличка, хелікобактер); *ціанобактерії* – група одноклітинних, колоніальних прокариотів, які здатні до фотосинтезу з виділенням кисню та азотофіксації (наприклад, спіруліна, носток, анабена, мікроцистіс) (іл. 144).

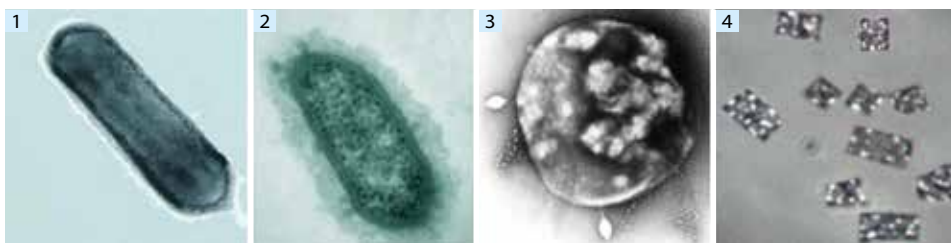
### РОЛЬ БАКТЕРІЙ У ПРИРОДІ ТА ЖИТТІ ЛЮДИНИ

У природі
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мінералізація органічних решток (наприклад, сапротрофні бактерії – редуценти)</li> <li>• Санітарна роль на Землі (наприклад, бактерії гниття)</li> <li>• Роль у колообізі речовин (наприклад, залізобактерії, азотофіксуючі бактерії, нітрифікуючі бактерії, сіркобактерії та ін.)</li> <li>• Ґрунтоутворення (наприклад, бактерії гниття)</li> <li>• «Цвітіння» води (наприклад, ціанобактерії)</li> <li>• Азотофіксація (наприклад, ціанобактерії та деякі азотофіксуючі бактерії)</li> <li>• Утворення нафти та газу (наприклад, метанобактерії)</li> </ul>
У житті людини
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Спричиняють хвороби (наприклад, туберкульоз, тиф, правець, холеру)</li> <li>• Виробляють антибіотики (наприклад, бактерії роду стрептоміцети)</li> <li>• Біометод боротьби з комахами-шкідниками</li> <li>• Підвищення врожайності рослин (наприклад, використання бактеріальних добрив – азотобактерину, фосфобактерину тощо)</li> <li>• У процесах бродіння (наприклад, для отримання молочних продуктів)</li> <li>• Як лабораторні об'єкти (наприклад, кишкова паличка)</li> <li>• Знешкодження забруднювачів (наприклад, актиномицети)</li> </ul>

Отже, життя на Землі неможливе без бактерій, оскільки з ними пов'язані хімічні перетворення, що не можуть здійснити ні археї, ні еукаріоти.

## Яке наукове й практичне значення архей?

**АРХЕЇ** (від грец. *археос* – старий) – мікроскопічні одноклітинні без'ядерні організми, що відрізняються від бактерій та еукаріотів. Це найменш вивчена і, можливо, найдавніша група клітинних організмів (іл. 145). Ці організми відкрито у 1977 р. К. Воузом і Дж. Фоксом. На сьогодні описано близько 50 видів археїв із доволі незвичною формою клітин у вигляді квадрата, куба, паралелепіпеда. Але за формою клітин відрізнити їх від бактерій дуже складно. Основні особливості археїв пов'язані з хімічним складом і процесами життєдіяльності. Це відсутність у клітинній стінці пептидогліканів, наявність у геномі інтронів та унікальних нуклеотидних послідовностей у генах рРНК і тРНК. Окрім того, основою клітинної мембрани архей є мономолекулярний шар ліпідів, лише серед архей є види, здатні до утворення метану під час життєдіяльності, завдяки особливим білкам ДНК є стійкою до денатурації, у них не утворюються спори та ін. Археї розмножуються нестатево: поділом навпіл, фрагментацією та брунькуванням.



Іл. 145. Представники архей: 1 – нітрозопумілулус, який має паличкоподібну форму; 2 – метанобревібактер Сміта – найпоширеніша метаногенна археобактерія кишечника людини; 3 – сульфолобус, якого атакують бактеріофаги; 4 – галоквадратум, який може жити в дуже солоній воді

Багато архей поширені там, де життя інших організмів неможливе. Деякі живуть за дуже високих температур, часто вище від 100 °С, як ті, що їх знайшли в гейзерах і чорних курцях. Інших знайдено в дуже холодних середовищах або в надзвичайно солоній, кислій або лужній воді. Основна роль архей у природі пов'язана з їхньою участю в колообігу Нітрогену й Карбону. Багато симбіотичних видів архей знайдено в травних трактах жуйних тварин, термітів, людей, де вони розщепляють целюлозу. Археї не патогенні, і невідомо, щоб які-небудь з них спричиняли. Метаногенні археї використовують у виробництві біогазу, для очищення стічних вод. Ферменти архей зберігають свою активність і в умовах високої температури, що застосовують у біотехнології.

Отже, відкриття архей є важливою подією в біології, оскільки дають змогу зрозуміти еволюцію життя та існування біосфери на сучасному етапі її розвитку.

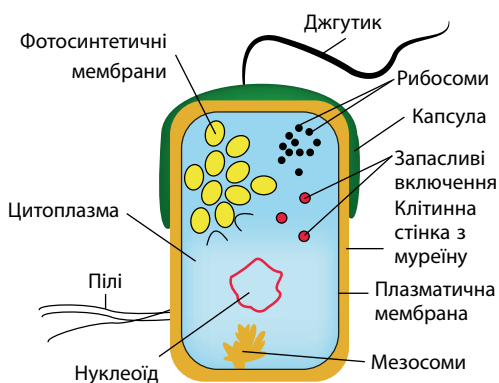


### **ДІЯЛЬНІСТЬ**

#### **Робота з ілюстрацією**

Визначте значення позначених елементів будови узагальненої клітини бактерій та заповніть таблицю в робочому зошиті.

Назва елементів будови	Значення
1. Джгутик	
2. Рибосоми	
3. Включення	
4. Плазмалема	
5. Клітинна стінка	
6. Нуклеоїд	
7. Мезосоми	
8. Цитоплазма	
9. Пілі, або фімбрії	
10. Фотомембрани	



### Пошукове завдання

**Зооглея** (від грец. *зоо* – тварина і *глейос* – слиз) – слизисті утвори, що утворюються, здебільшого, завдяки співіснуванню бактерій з іншими організмами. До найбільш поширених культурних видів зооглеї належать молочний гриб та чайний гриб.

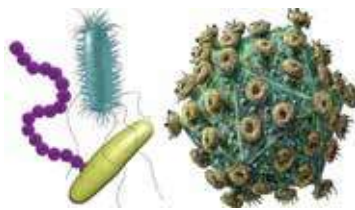
Які ж організми беруть участь у формуванні цих видів зооглеї? Яке значення мають ці форми життя для людини?



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Здоров'я

Знати відмінності вірусних і бактеріальних інфекцій необхідно у зв'язку з тим, що ці інфекції лікуються по-різному. Так, лікування бактеріальних інфекцій проводять за допомогою антибіотиків. Вірусні ж інфекції не підлягають лікуванню антибіотиками, оскільки вони не діють на них. Чим різняться симптоми бактеріальних та вірусних інфекцій? У чому полягає сутність таких заходів боротьби з бактеріальними інфекціями, як дезінфекція, пастеризація та стерилізація?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Хто такі бактерії? 2. Наведіть приклади бактерій. 3. Назвіть найзагальніші ознаки бактерій. 4. Хто такі археї? 5. Наведіть приклади архей. 6. Назвіть декілька найзагальніших ознак архей.
7 – 9	7. Які особливості та різноманітність бактерій? 8. Яке значення бактерій? 9. Яке наукове й практичне значення архей?
10 – 12	10. Доведіть значення бактерій та архей для еволюції життя на Землі.

## § 53. ЕУКАРІОТИ

### Основні поняття й ключові терміни: ЕУКАРІОТИ. РОСЛИНИ. ГРИБИ. ТВАРИНИ.

**Пригадайте!** Що таке ядро?



#### Новини науки

Перед вами на ілюстраціях тварина, гриб і рослина: псадірела водяна, губка-ліра, стапелія жовто-пурпурова. За якими ознаками можна визначити їхню належність до трьох основних груп еукаріотів?



#### ЗМІСТ

#### Які особливості будови, життєдіяльності та еволюції рослин?

**ЕУКАРІОТИ** (*Eukaryota*) – одно- та багатоклітинні організми, які в своїх клітинах мають ядро та мембранні органели. До одноклітинних еукаріотів належать одноклітинні твариноподібні, одноклітинні водорості, одноклітинні грибоподібні організми, яких можна об'єднати в групу Протисти (від грец. *протистос* – найперший). Багатоклітинними еукаріотами є рослини, гриби і тварини. У процесі еволюції предки еукаріотів виникли завдяки симбіогенезу бактеріальних клітин й формуванню двомембранних органел. Через те геном еукаріотичних клітин може бути ядерним, пластидним та мітохондріальним.

**РОСЛИНИ** (*Plantae*) – багатоклітинні еукаріотичні організми, найзагальнішими особливостями яких є пластиди, фотоавтотрофне живлення та прикріпленій спосіб життя. Майже в усіх рослин клітини є тригеномними – з ядерним, мітохондріальним та пластидним геномами. Окрім того, у рослинних клітин є клітинна стінка з целюлози та запасливі включення у вигляді крохмальних зерен. Вищі рослини мають твірні, провідні, механічні, основні та покривні тканини, що утворюють вегетативні та генеративні органи. Реагують рослинні організми на впливи середовища за допомогою тропізмів і настій, а регуляція процесів життєдіяльності відбувається за участю фітогормонів.

Предками рослин були джгутикові прокаріоти, які вступили у симбіоз із ціанобактеріями. Від них близько 1,5 млрд років тому виникли одноклітинні **глаукофітові водорості** (іл. 146). Науковці вважають, що глаукофіти (від грец. *глаукос* – синьо-зелений і *фітос* – рослина) є підтвердженням походження рослин від бактерій. Ці водорості мають унікальні хлоропласти (ціанели) з досить примітивними



Іл. 146. Глаукофітова водорість Ціанофора (*Cyanophora paradoxa*) – модельний організм у генетиці



ознаками: шар муреїну між мембранами, яскраве синьо-зелене забарвлення, здатність до азотофіксації та ін. Від глаукофітових водоростей утворилися одноклітинні *зелені й золотисті водорості*. Вони вже мали ядро, пластиди і статеве розмноження. Згодом виникли багатоклітинні водорості, від яких відокремилися мохи. Першими наземними рослинами вважаються риніофіти, які походять від зелених або бурих водоростей. Від риніофітів окремими еволюційними гілками відійшли плауни, хвоці, папороті й голонасінні. Згодом від насінних папоротей утворилися голонасінні, від голонасінних еволюціонували покритонасінні.

Основними напрямками еволюції рослин були: багатоклітинність, формування нестатевого та статевого поколінь та становлення двох еволюційних напрямів розвитку наземних рослин (гаметофітного й спорофітного), запліднення без води, виникнення насінини, формування квітки, плоду і подвійного запліднення.

За даними 2016 р., на Землі є 390 900 видів рослин, що їх об'єднують в окреме царство в межах домену Еукаріоти. У царстві Рослини для вивчення в школі найчастіше виокремлюють такі групи: Нижчі рослини (Діатомові водорості, Бурі водорості, Червоні водорості, Зелені водорості) і Вищі рослини (Мохоподібні, Хвоцеподібні, Плауноподібні, Папоротеподібні, Голонасінні, Покритонасінні). Для класифікації рослин застосовують такі основні систематичні категорії, як царство, відділ, клас, порядок, родина, рід та вид.

Отже, рослини є давньою та різноманітною групою еукаріотів.

### Які особливості еволюції та систематики грибів?

**ГРИБИ** (*Fungi*) – багатоклітинні гетеротрофні еукаріотичні організми, найзагальнішими ознаками яких є осмотичне живлення та прикріплений спосіб життя. Клітини грибів мають клітинну стінку з хітину, запасують глікоген. У грибів дуже добре розвинуте везикулярне транспортування, що забезпечує виділення ферментів для позаклітинного розщеплення органіки. Прості поживні речовини надходять у клітину в процесі осмотичного живлення без утворення травних вакуолей. У грибів двогеномні клітини, в яких представлено ядерний та мітохондріальний геноми, а розміри самого геному значно менші, ніж у рослин й тварин.

Вегетативне тіло переважної більшості грибів являє собою систему вкритих клітинними оболонками ниток (гіфів), яка називається грибноцею (міцелієм). Диференційовані тканини та вегетативні органи чітко не виражено. Органи нестатевого розмноження грибів називають спорангіями. Вони розміщені поодинокі або зібрані у складні структури.



Іл. 147. Різноманітність грибів: 1 – шапінковий білий гриб; 2 – паразитичні ріжки жита; 3 – трутовик сірчано-жовтий; 4 – дріжджеві гриби сахароміцети; 5 – цвілевий гриб пеніцил; 6 – лишайник золотянка стінна

Гриби мають поліфілетичне походження від різних джгутикових. Перші достовірні рештки грибів відомі з девону, але виникли ще в архейській ері. Щодо систематики грибів, то досі точаться запеклі суперечки в колі фахівців, які пропонують різні підходи. Науковці досягли єдності лише в розподілі грибів на справжні гриби та грибоподібні організми.

Сьогодні описано приблизно 70 тис. видів грибів, проте їх очікуване різноманіття, за оцінками різних авторів, становить від 300 тис. до 1,5 млн видів. Основними екологічними групами, що мають для людини найбільше значення, є шапінкові гриби, гриби-паразити, цвілеві гриби, дріжджеві гриби та ін. (іл. 147). Лишайникам не надають у системі грибів статусу певного таксона, оскільки існують погляди про незалежність походження різних груп лишайників. За прийнятою в Україні системою, справжні гриби поділяють на 10 груп, серед яких виокремимо відділи Міксомікота, Оомікота, Хітридіомікота, Зигомікота, Аскомікота, Базидіомікота.

Отже, гриби – це давні еукаріотичні організми, поєднані в окреме царство.

### Які особливості еволюції та основні групи тварин?

**ТВАРИНИ** (*Animalia*) – багатоклітинні еукаріотичні організми, найзагальнішими особливостями яких є хемогетеротрофне живлення та активний рух (локомоція). Для них характерні двогеномні клітини (ядерний і мітохондріальний геноми), змінна форма тіла, обмежений ріст, подразливість у вигляді рефлексів, відсутність клітинної стінки і наявність глікокаліксу, запасання глікогену, наявність двох чи трьох зародкових листків, стадій бластули і гастрული в зародковому розвитку.

Вважається, що тварини походять від одноклітинних джгутикових, а їх найближчі відомі живі родичі – це комірцеві жгутиконосці, морфологічно подібні до хоаноцитів деяких губок. Молекулярні дослідження визначили місце тварин у надгрупі Задньоджгутикові. Ця назва позначає розташування джгутика в рухомій клітині (як у сперматозоонів більшості тварин), тоді як інші еукаріоти здебільшого мають передній джгутик.

Основними напрямками еволюції тварин є виникнення багатоклітинності, поява різних органів й систем органів, розвиток рухливості та систем регуляції. В еволюції тварини ароморфозів з'являлося набагато більше, ніж у представників будь-якого іншого царства.

Найвідоміші типи тварин виникають під час кембрійського періоду, близько 542 млн років тому («кембрійський вибух»).

Отже, тварини є найрізноманітнішою і найчисленнішою групою еукаріотів.

ЦАРСТВО ТВАРИНИ	
<b>Первинні багатоклітинні</b>	
Тип	Губки
Тип	Пластинчасті
<b>Справжні багатоклітинні</b>	
Розділ	Радіально-симетричні, або Кишковопорожнинні
Тип	Кнідарії
Тип	Реброплави
Розділ	Двобічносиметричні
Тип	Плоскі черви
Тип	Круглі черви
Тип	Кільчасті черви
Тип	Молюски
Тип	Членистоногі
Тип	Голкошкірі
Тип	Хордові



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

На конкретних прикладах порівняйте три групи еукаріотів. Зробіть висновок про подібність й відмінності та їхні причини.

### ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОСЛИН, ТВАРИН Й ГРИБІВ

Ознака	Рослини	Тварини	Гриби
Геном			
Особливості будови клітин			
Тканини			
Органи			
Живлення			
Активний рух			
Основні групи			

### Біологія + Екологія

Зозулинцеві (Орхідні) – це Дводольні рослини, які відрізняються складністю будови квітів та екологічними взаємодіями із запилювачами і грибами в мікоризі. Для орхідей характерна мімікрія – властивість імітувати зовнішній вигляд або інші ознаки інших непов'язаних організмів або неживих об'єктів. Яке значення для рослин має мімікрія квітів? Яке значення орхідей у природі та житті людини?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Здоров'я

*Протозойні хвороби* (від грец. *протос* – перший, і *зоон* – тварина) – захворювання, спричинені одноклітинними твариноподібними (амебіаз, малярія, лямбліоз, токсоплазмоз, лейшманіоз, сонна хвороба). Деякими паразитами людина заражається із власної вини. Але є й такі одноклітинні, які проникають в організми за допомогою тварин – комарів, мух, кліщів та інших. Які є засоби боротьби з протозойними хворобами?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке еукаріоти? 2. Що таке рослини? 3. Що таке гриби? 4. Назвіть основні групи грибів. 5. Хто такі тварини? 6. Назвіть основні групи тварин
7 – 9	7. Які особливості будови, життєдіяльності та еволюції рослин? 8. Які особливості еволюції та систематики грибів? 9. Назвіть особливості еволюції та основні групи тварин.
10 – 12	10. Доведіть єдність органічного світу, що проявляється через його розмаїття.

## Узагальнення теми 7. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

*Біорізноманіття – це сітка життя, в якій виокремлюють гени, види й екосистеми.*

*Конвенція про біологічне різноманіття*

**БІОРІЗНОМАНІТТЯ** – це розмаїття організмів, видів та їхніх угруповань. Вивченням біорізноманіття займається **диверсикологія**. Основними типами біорізноманіття є: **генетичне, видове та екосистемне**. Всі типи біорізноманіття пов'язані між собою (табл. 15, 16).



**Таблиця 15. РІЗНОМАНІТНІСТЬ ФОРМ ЖИТТЯ**

Неклітинні форми життя	Клітинні організми
Віруси Субвірусні частинки: – пріони; – віроїди	Домен БАКТЕРІЇ Домен АРХЕЇ Домен ЕУКАРІОТИ: – одноклітинні організми, здатні до фотосинтезу; – грибоподібні організми; – одноклітинні твариноподібні; – рослини; – гриби; – тварини

**Таблиця 16. РІЗНОМАНІТНІСТЬ РОСЛИН, ГРИБІВ Й ТВАРИН**

РОСЛИНИ	ГРИБИ	ТВАРИНИ
Нижчі рослини: • Червоні водорості • Зелені водорості • Діатомові водорості • Бурі водорості Вищі рослини: • Мохоподібні • Хвоцеподібні • Плауноподібні • Папоротеподібні • Голонасінні • Покритонасінні	Слизовики Справжні гриби: • Міксомікота • Оомікота • Хітридіомікота • Зигомікота • Аскомікота • Базидіомікота Лишайники	Первинні багатоклітинні • Губки • Пластинчасті Справжні багатоклітинні Розділ Радіально-симетричні, або Кишковопорожнинні • Кнідарії • Реброплави Розділ Двобічносиметричні • Плоскі черви • Круглі черви • Кільчасті черви • Молюски • Членистоногі • Голкошкірі • Хордові
Визначальні ознаки 1. Клітини тригеномні 2. Пластиди 3. Фотоавтотрофне живлення 4. Прикріплений спосіб життя 5. Клітинна стінка з целюлози 6. Запасливий полісахарид – крохмаль	Визначальні ознаки 1. Клітини двогеномні 2. Відсутність пластид 3. Гетеротрофність й осмотичне живлення 4. Прикріплений спосіб життя 5. Клітинна стінка з хітину 6. Запасливий полісахарид – глікоген	Визначальні ознаки 1. Клітини двогеномні 2. Відсутність пластид 3. Гетеротрофність 4. Активний спосіб життя 5. Глікокалікс 6. Запасливий полісахарид – глікоген





## Тема 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

У краплині води відбивається Всесвіт.

Арабське прислів'я

### § 54. ЕКОСИСТЕМА. РІЗНОМАНІТНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ

**Основні поняття й ключові терміни:** ЕКОСИСТЕМА. Екосистемне різноманіття.

**Пригадайте!** Що таке біологічні системи?



#### Вступна вправа

Установіть послідовність біологічних систем та отримайте прізвище британського еколога, який у 1935 р. запропонував концепцію екосистеми: Л – екосистема; І – біосфера; Т – клітина; Н – популяція; С – вид; Е – організм.

1	2	3	4	5	6



#### ЗМІСТ

#### **Який склад та основні властивості екосистем?**

Сучасні екологічні дослідження здійснюються в таких напрямках: вивчення впливу екологічних чинників на організми (*факторальна екологія*), дослідження екологічних взаємозв'язків на рівні популяцій (*популяційна екологія*), пізнання закономірностей існування та розвитку природних угруповань та біосфери в цілому (*біогеоценологія*, або *синекологія*). Як окремий розділ екології синекологію було виділено на Міжнародному ботанічному конгресі у 1910 р. Синекологія – це розділ екології, об'єктом і предметом пізнання якої є екосистеми та їхні внутрішні й зовнішні зв'язки. А що таке екосистеми?

**ЕКОСИСТЕМА** – сукупність організмів різних видів та середовища їхнього існування, що пов'язані з обміном речовин, енергії та інформації. Визначальним чинником існування екосистеми є автотрофні організми, що засвоюють енергію Сонця з ефективністю близько 1%. Прикладами еко-



Іл. 148. Ставок як приклад екосистеми

стем, що можуть мати різні розміри, є краплина води, домашній акваріум, ставок, широколистяний ліс (*ил. 148*). Але в будь-якій екосистемі виокремлюють дві частини – абіотичну і біотичну. Абіотична частина (або біотоп) є комплексом чинників неживої природи, неорганічних й органічних речовин, що в загальній взаємодії формують певні кліматичні, ґрунтові, рельєфні, гідрологічні умови екосистеми. Біотичну частину (біоценоз) формують живі організми, що проживають в екосистемі. Її утворюють угруповання рослин (фітоценози), угруповання тварин (зооценози) та угруповання мікроорганізмів (мікробіоценози).

Екосистеми є відкритими для зовнішнього обміну речовин, енергії та інформації, але внаслідок саморегуляції здатні підтримувати динамічну стабільність упродовж тривалого часу. Єдність і функціональний зв'язок абіотичного й біотичного компонентів забезпечується внутрішніми закономірними переміщеннями речовин, енергії та інформації.

Отже, екосистема є сукупністю абіотичного й біотичного компонентів, для якої характерні цілісність, відкритість, стійкість та саморегуляція.

### Чи залежить стійкість екосистеми від її структури?

Під структурою екосистеми розуміють сукупність компонентів цілісної системи, що умовно виділяються за певними критеріями. Будь-яка екосистема має просторову, видову та екологічну структури.

*Просторова структура* визначається розташуванням елементів абіотичної та біотичної частин у просторі екосистеми. Оскільки засвоєння енергії Сонця в екосистемі пов'язане з рослинами, то просторова структура визначається переважно ярусним розташуванням рослин. Виділяють ярусність надземну і підземну. Через ярусне розташування рослин в угрупованнях найповніше використовуються природні умови (світло, тепло, ґрунт) та співіснують мешканці екосистеми.

*Видова структура* екосистеми визначається видовою різноманітністю, тобто кількістю популяцій та видів, а також співвідношенням особин цих видів. Саме цей показник забезпечує стійкість та саморегуляцію екосистем.

*Екологічна структура* – це співвідношення популяцій різних видів, які виконують певні функції в екосистемі. Цими групами є продуценти, консументи та редуценти (*ил. 149*). Їхня наявність є обов'язковою умовою існування будь-якої екосистеми.

*Продуценти* – популяції автотрофних організмів, здатних синтезувати органічні речовини з неорганічних. Це зелені рослини, ціанобактерії, фото- і хемосинтезуючі бактерії. У водних екосистемах основними продуцентами є водорості, а на суші – насінні рослини.

*Консументи* – популяції гетеротрофних організмів, які жив-



Іл. 149. Схема взаємодії компонентів екосистем

ляться безпосередньо або через інші організми готовою органічною речовиною, синтезованою автотрофами. Розрізняють консументи I порядку (гетеротрофні рослиноїдні організми, паразити рослин) та консументи II і наступних порядків (хижаки, паразити тварин, а також сапрофаги).

**Редуценти** – популяції гетеротрофних організмів, які в процесі життєдіяльності розкладають мертві органічні речовини до мінеральних, котрі потім використовуються продуцентами. Це гетеротрофні сапрофітні організми – бактерії і гриби, які виділяють ферменти на органічні рештки і поглинають продукти їх розщеплення.

Отже, загальна структура екосистеми визначається просторовим, видовим та екологічним розмаїттям груп, що є обов'язковою умовою її існування.

### Як досліджується екосистемне різноманіття?

**Екосистемне різноманіття** – це розмаїття екосистем, що визначається різноманітністю природних умов та діяльністю людини.

За масштабами екосистеми поділяються на *мікроекосистеми* (трухляві пні, мертві стовбури дерев, мурашники тощо) і *макроекосистеми* (екосистеми тундри, тайги, степу, пустелі, саван, лісів, а також морські екосистеми). За походженням екосистеми поділяють на *природні* (наприклад, ліси, річки, озера) й *штучні* (наприклад, сади, парки, городи, поля, штучні водойми). Різноманітність природних систем визначають умови природних зон і передусім освітлення й температура. Існування штучних екосистем залежить від людини, яка з урахуванням природних умов організовує їхнє формування. За походженням розрізняють *наземні* (широколисті ліси, степи, луки), *прісноводні* (озера, ставки, водосховища, річки, струмки, джерела, болота), *морські* (прибережні води, бухти, протоки, гирла річок).

Дослідження екосистем починається зі *спостережень*, що їх здійснюють за допомогою приладів. Часто на обладнаних ділянках екосистем проводять комплексні й довгострокові спостереження, що є основою *екологічного моніторингу*. Широко застосовує екологія і *експериментальні методи*, за допомогою яких зіставляються результати спостережень за змінами на контрольній та дослідній ділянках екосистем. У зв'язку зі складністю екосистем науковці використовують *екологічне моделювання* із вивченням спрощених копій екологічних об'єктів. Наприклад, акваріум можна розглядати як модель озера. *Методи екологічної індикації* застосовують для визначення стану та властивостей екосистем за видовим складом і співвідношенням між собою певних (еталонних) груп видів. Так, індикаторами для визначення сірчистого газу в повітрі є лишайники і хвойні породи, важких металів – слива й квасоля, забруднення водойм – одноденки, личинки комарів, двостулкові молюски, п'явки, малощетинкові черви, вищі ракоподібні.

Отже, екосистеми класифікують за різними критеріями, і для їхнього дослідження застосовують найрізноманітніші методи.

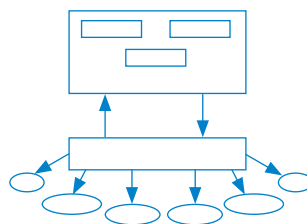




## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Робота зі схемою

Заповніть у робочому зошиті схему «Склад екосистеми», використавши поняття: 1) продуценти; 2) консументи; 3) редуценти; 4) біотична частина (біоценоз); 5) колообіг речовин, енергії та інформації; 6) абіотична частина (біотоп); 7) органічні сполуки; 8) неорганічні сполуки; 9) світло; 10) температура; 11) ґрунт; 12) повітря.



### Біологія + Наука

**Біотестування** – це визначення дослідним шляхом впливу шкідливих чинників на живі організми шляхом реєстрації змін певного біологічного показника. Тест-об'єктами можуть бути крес-салат, медична п'явка, хлорела, інфузорії, цвілеві гриби, але найчастіше в біотестуванні використовують дафній. Які особливості будови й життєдіяльності дафній зумовлюють їхнє використання як тест-об'єктів?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Екологія

«Африканізована» медоносна бджола була виведена генетиком У. Керром у Бразилії шляхом схрещування африканських бджіл з різними європейськими підвидами цієї комахи. Нову породу відрізняли не тільки рідкісна витривалість і медоносність, а й надзвичайна агресивність. Під час одного з експериментів 26 бджолиних сімей випадково опинилися на волі й поширилися у лісах по всій Південній Америці. Нині вони «наступають» на Мексику і США. Для яких екосистем (природних чи штучних) вторгнення цієї бджоли буде небезпечнішим і чому? Зробіть висновок про цілісність й саморегуляцію екосистем.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке екосистема? 2. Наведіть приклади екосистем. 3. Що таке структура екосистеми? 4. Назвіть основні види структури екосистеми. 5. Що таке екосистемне різноманіття? 6. Назвіть методи дослідження процесів у екосистемах.
7 – 9	7. Який склад та основні властивості екосистем? 8. Чи залежить стійкість екосистеми від її структури? 9. Як досліджують екосистеми?
10 – 12	10. Поясніть структуру екосистем.

*Енергія не може бути ні народжена, ні знищена, вона може бути лише трансформована з однієї форми в іншу.  
Закон збереження енергії*

## § 55. ЕКОСИСТЕМИ ТА ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

**Основні поняття й ключові терміни:** **Ланцюги живлення. Правило екологічної піраміди. Колообіг речовин і потік енергії.**

**Пригадайте!** Що таке екосистема?



### **Поміркуйте!**

Що пов'язує ці організми між собою?



### **ЗМІСТ**

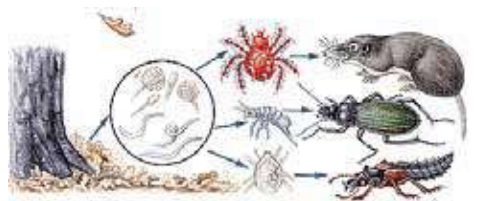
#### **Які зв'язки є визначальними у функціонуванні екосистеми?**

Всередині екосистеми обмін речовин, енергії та інформації здійснюється завдяки діяльності продуцентів, консументів й редуцентів, пов'язаних між собою харчовими зв'язками. Наприклад, у лісі гусінь споживає листя, їх поїдають синиці, на яких полює яструб. Така послідовність називається ланцюгом живлення, а кожна його ланка – трофічним рівнем. **Ланцюг живлення** (трофічний ланцюг) – це послідовний ряд живих організмів, пов'язаних харчовими зв'язками, який відображає передачу речовини та енергії в екосистемі. Термін «ланцюг живлення» запропонував Ч. Елтон у 1934 р. Першою ланкою більшості ланцюгів живлення є **продуценти**, якими є автотрофні організми. Наступні ланки трофічних ланцюгів займають гетеротрофні **консументи**: рослиноїдні, м'ясоїдні та всеїдні тварини. Рештки організмів ще містять органічні речовини й енергію, тому можуть бути використані **редуцентами**. Це сапротрофні бактерії, гриби й тварини. Таким чином, функціональними компонентами екосистем є продуценти, консументи й редуценти.

За джерелом надходження енергії до консументів ланцюги живлення поділяють на пасовищні та детритні. **Пасовищні**, або ланцюги виїдання (іл. 150), – це ряд організмів, який починається із зелених рослин (наприклад, трава – зелений коник – ящірка – яструб). **Детритні**, або ланцю-



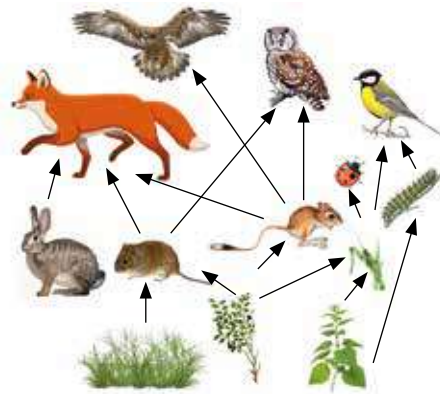
Іл. 150. Трофічні рівні ланцюгів виїдання: листя рослин – рослиноїдні комахи – хижі комахи – комахоїдні птахи – хижі птахи



Іл. 151. Трофічні рівні ланцюгів розщеплення: опале листя (детрит) – ґрунтові сапротрофи (бактерії, гриби, амеби, інфузорії, черви) – ґрунтові сапрофаги (хижі комахи, кліщі) – хижі комахи, комахоїдні ссавці

ги розщеплення (іл. 151), – це ряд організмів, що починається з мертвої органічної речовини (наприклад, опале листя – дощовий черв'як – кріт – лисиця).

У будь-якій екосистемі різні ланцюги живлення не існують окремо один від одного, а взаємопереплетені, оскільки один і той самий вид одночасно може бути ланкою різних ланцюгів живлення. Переплітаючись, ланцюги живлення формують *мережу живлення (трофічну мережу)* (іл. 152).



Іл. 152. Трофічна мережа діброви

Отже, функціонування екосистем забезпечується харчовими зв'язками, що поєднують продуцентів, консументів та редуцентів у ланцюги й мережі живлення.

### Які основні закономірності функціонування екосистем?

**ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ** – сукупність процесів, що забезпечують діяльність, існування та розвиток екосистеми в часі. Основними закономірностями функціонування екосистем є такі.

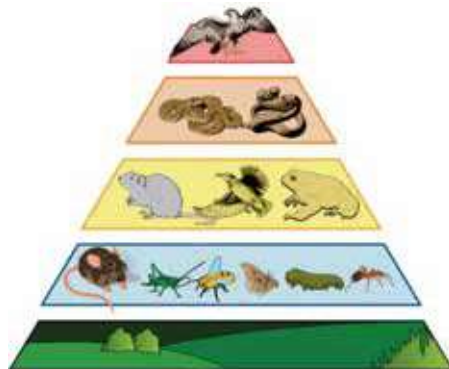
1. **Правило екологічної піраміди** (закон піраміди енергії Р. Ліндемана (1942), правило «десяти відсотків»): екологічна ефективність кожної наступної ланки приблизно в 10 разів менша попередньої внаслідок втрат енергії на кожному трофічному рівні.

Графічно це правило можна зобразити у вигляді піраміди, складеної з окремих блоків (іл. 153). **Екологічна піраміда** – це графічне відображення трофічної структури ланцюга живлення. Залежно від показника, покладеного в основу, є різні види екологічних пірамід:

- *піраміда чисел* – відображає кількість особин у кожному рівні ланцюга живлення; може бути оберненою;
- *піраміда біомаси* – кількість органічної речовини; лише прямого типу;
- *піраміда енергії* – кількість енергії в їжі; лише прямого типу.

2. **Закон односпрямованості потоку енергії**: енергія, що її отримує екосистема, передається в одному напрямку від продуцентів до консументів та редуцентів.

Оскільки із зворотним потоком (від редуцентів до продуцентів) надходить мізерна кількість від вихідної енергії (не більш ніж 0,25 %), говорити про колообіг енергії не можна. Ця закономірність ілюструє другий закон термодинаміки: будь-який вид енергії врешті-решт перетворюється в теплоту.



Іл. 153. Екологічна піраміда

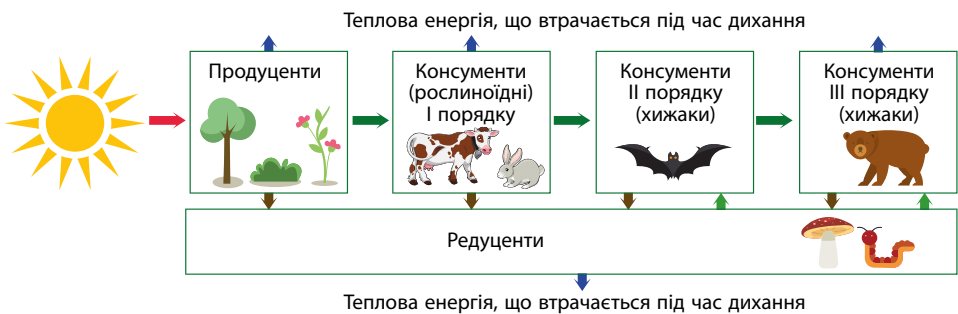
3. Закон внутрішньої динамічної рівноваги: речовина, енергія, інформація та процеси, що їх пов'язують, перебувають у тісному взаємозв'язку. Зміна одного з показників неминуче призводить до змін інших за умови збереження фундаментальних властивостей – саморегуляції, самооновлення та самовідтворення.

Отже, основними закономірностями функціонування екосистем є правило екологічної піраміди, закон односпрямованості потоку енергії та закон внутрішньої динамічної рівноваги.

### Що є основною умовою функціонування екосистем?

**Колообіг речовин і потік енергії в екосистемі** – це перенесення речовин та енергії в екосистемі, що здійснюється за участі продуцентів, консументів та редуцентів. Джерелом енергії для переважної більшості екосистем нашої планети є Сонце. Його енергію поглинають зелені рослини і «зв'язують» у органічні речовини, які утворюються в процесах фотосинтезу. Далі ця зв'язана Сонячна енергія у вигляді зеленої органічної маси (первинна продукція) поїдається рослиноідними тваринами, які, в свою чергу, слугують поживою для хижаків.

Для розуміння суті колообігу речовин і потоку енергії в екосистемах слід запам'ятати, що колообіг речовин в екосистемі має циклічний характер, а потік енергії – лінійний. Поживні елементи і сполуки, що надходять до організмів з абіотичної частини, врешті-решт до нього й повертаються у вигляді решток чи продуктів життєдіяльності живих істот. У колообігу речовин бере участь величезна кількість хімічних елементів і сполук, але найважливішими з них є колообіг води, Оксигену, вуглекислого газу. Потік енергії в екосистемах має іншу спрямованість. Енергія Сонця надходить до організмів, які перетворюють її у хімічну, механічну, світлову, і при цьому перетворення одного виду енергії в інший, згідно з другим законом термодинаміки, супроводжується втратою у вигляді теплоти. Врешті-решт вся енергія, що надійшла до живого компонента екосистеми, розсіюється в середовищі (іл. 154).



Іл. 154. Обмін речовин та енергії в екосистемі

Отже, в екосистемах відбувається постійний колообіг речовин і лінійний потік енергії, що є обов'язковою умовою їхнього існування.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на застосування знань

Розпізнайте названі організми за екологічною роллю в мережах живлення екосистем: 1) конюшина лучна; 2) коники зелені; 3) миша

польова; 4) заєць-русак; 5) жук-гробарик; 6) яблуня лісова; 7) равлик виноградний; 8) суніці; 9) жук-сонечко; 10) личинки мух; 11) ліщина; 12) бактерії гниття. За допомогою таблиці порівняйте роль продуцентів, консументів та редуцентів у екосистемах. Складіть декілька пасовищних ланцюгів живлення.

### ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУЦЕНТІВ, КОНСУМЕНТІВ І РЕДУЦЕНТІВ

Ознака	Продуценти	Консументи	Редуценти
Організми			
Тип живлення			
Роль в екосистемах			

### Практичні вправи «Побудова екологічних пірамід»

Схематично зображуючи екологічну піраміду, кожен рівень показують у вигляді прямокутника, довжина або площа якого відповідає чисельним значенням ланки харчового ланцюга, їх біомасі чи енергії. Розташовані в певній послідовності й обраному масштабі, прямокутники створюють різні за формою піраміди.

**Вправа 1.** На підставі правила екологічної піраміди визначте, скільки фітопланктону необхідно, щоб в Арктиці зміг вирости та існувати один білий ведмідь масою 400 кг (ланцюг живлення: фітопланктон – зоопланктон – риби – тюлені – білий ведмідь)? Побудуйте пряму екологічну піраміду біомаси.

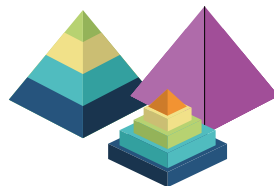
**Вправа 2.** Джгутикові одноклітинні тварини є паразитами бліх, середовищем життя для яких є рослиноідні ссавці. Побудуйте піраміду чисельності для ланцюга живлення: трав'янисті рослини (10000) – рослиноідні ссавці (1) – блохи (100) – одноклітинні тварини-паразити (1000). Побудуйте обернену екологічну піраміду чисельності.



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Геометрія

Як визначається площа піраміди? Чому екологічна закономірність, що пов'язана з передачею енергії в ланцюгах живлення, отримала назву правила екологічної піраміди, а не правила екологічного трикутника?



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке ланцюги живлення? 2. Наведіть приклади ланцюгів живлення. 3. Що таке функціонування екосистеми? 4. Назвіть закономірності функціонування екосистем. 5. Що таке колообіг речовин і потік енергії? 6. Яке значення колообігу речовин і потоку енергії в екосистемах?
7 – 9	7. Які зв'язки є визначальними у функціонуванні екосистем? 8. Які закономірності функціонування екосистем? 9. Що є основною умовою функціонування екосистем?
10 – 12	10. Застосуйте знання функціонування екосистем для обґрунтування заходів їх збереження.

Усі екологічні чинники, якщо вони діють із постійною інтенсивністю, є водночас чинниками еволюції.

З підручника «Загальна біологія»

## § 56. ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ

**Основні поняття й ключові терміни:** ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ. Обмежувальний чинник. Екологічна валентність.

**Пригадайте!** Що таке екологія?



### Знайомтеся!

**Тихохідки**, або водяні ведмедики, поширені повсюдно і витримують температури від  $-273$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ , дози радіації – у 570 тисяч рентгенів. Науковці пояснюють таку витривалість тим, що тихохідки «напозичали» близько 18% ДНК у організмів-екстремофілів – архей, бактерій, мохів й грибів. На вашу думку, чи є якісь екологічні чинники, впливи яких вони не витримують?



### ЗМІСТ

**Чим визначається різноманітність екологічних чинників?**

**ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ** – це усі компоненти навколишнього середовища, які впливають на живі організми та їх угруповання. Прикладом екологічних чинників є світло, температура, взаємний вплив організмів тощо. Чинники середовища називають екологічними лише в тому випадку, якщо вони для живих систем мають певне значення. Яке ж біологічне значення екологічних впливів? Під дією чинників середовища відбуваються формування пристосувань на різних рівнях організації життя (*адаптаційне значення*), зміни пристосувань у відповідь на зміни середовища (*модифікаційне значення*). Дія світла чи звука є джерелом інформації про стан середовища (*сигнальне значення*), магнітні впливи забезпечують визначення місцеперебування чи напрямків переміщення у просторі (*біонавігаційне значення*), температурний вплив сприяє або навпаки обмежує поширення тощо. Уся сукупність впливів екологічних чинників є основною причиною генетичного, видового й екосистемного біорізноманіття.

В екології виокремлюють кілька груп екологічних чинників, що класифікують: за походженням (космічні, техногенні), за середовищем виникнення (атмосферні, гідрологічні, едафічні, або ґрунтові), за характером впливу (фізичні, хімічні, біологічні) та ін. Залежно від особливостей змін екологічні чинники поділяють на: *періодичні* (наприклад, добові зміни температури), *неперіодичні* (наприклад, виверження вулканів).

Але найпоширенішою є класифікація екологічних чинників за природою впливу: *абіотичні* (вплив чинників неживої природи), *біотичні* (вплив чинників живої природи) та *антропоічні* (прямий та опосередкований вплив діяльності людини).

Екологічні чинники		
Абіотичні	Біотичні	Антропогенні
<p><i>Кліматичні</i> (вплив світла, температури, вологості)  <i>Атмосферні</i> (вплив повітря)  <i>Едафічні</i> (вплив ґрунту)  <i>Гідрологічні</i> (вплив води)  <i>Топографічні</i> (вплив рельєфу)</p>	<p><i>Симбіотичні</i> (мутуалізм, коменсалізм, паразитизм)  <i>Нейтральні</i>  <i>Антагоністичні</i> (хижацтво, виїдання, конкуренція)</p>	<p><i>Техногенні</i> (вплив галузей промисловості)  <i>Антропогенні</i> (безпосередній вплив людини)</p>

Отже, різноманітність екологічних чинників пов'язана з різноманітністю умов довкілля, що впливають на існування живого та визначають біологічне різноманіття.

### Як екологічні чинники діють на організми?

Незважаючи на різноманітність екологічних чинників, існують певні загальні закономірності їхнього впливу на організми й угруповання. Якими ж є ці основні закономірності?

- **Правило адаптивності:** у відповідь на вплив умов середовища у організмів у процесі еволюції формуються пристосування (наприклад, адаптація риб до життя у воді).
- **Закон оптимуму:** кожен чинник позитивно впливає на життєдіяльність організмів лише у певних межах. Стан організму, популяції чи екосистеми, за якого вони виявляють найвищі показники життєдіяльності, описують поняттям *екологічний оптимум*, а умови, в яких організми з найменшими енергетичними затратами зберігають властивий їм обмін речовин, називаються *оптимальними*.
- **Правило взаємодії екологічних чинників:** за сумісної дії на організм одні чинники можуть посилювати чи послаблювати впливи інших чинників. Так, впливи температури середовища може посилювати підвищена вологість.
- **Правило обмежувального чинника:** життєдіяльність виду обмежується тим чинником, дія якого є найбільш віддаленою від оптимальної (іл. 155). *Обмежувальний (лімітуючий) чинник* – це чинник середовища, який найбільше відхиляється від оптимуму дії серед всіх інших факторів і виходить за межі витривалості. Автором цієї закономірності є німецький хімік Ю. Лібіх (1803–1873), який сформулював її як закон мінімуму ще в 1840 р. Найчастіше лімітуючими чинниками є вода, температура, їжа. Так, життєдіяльність струмкової форелі обмежується вмістом кисню у воді, життя північних оленів залежить від глибини снігового покриву.
- **Правило екологічної ніші:** організми пристосовуються до всієї сукупності чинників, що діють на них, тобто кожний вид має свою *екологічну нішу* – сукупність всіх чинників середовища, за яких можливе існування виду.

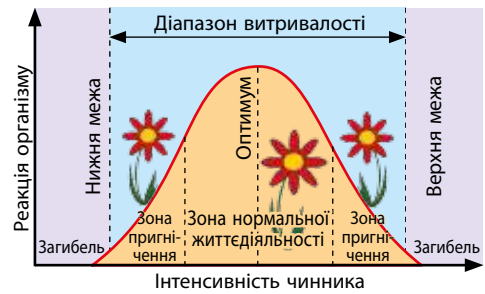


Іл. 155. Діжка Лібіха, що ілюструє обмежувальний чинник

Отже, існування організмів визначається комплексним впливом екологічних чинників.

### Як впливає на організм той чи інший екологічний чинник?

На організм одночасно впливають багато різних чинників, і дію кожного із них можна подати у вигляді загальної схеми (іл. 156). Весь діапазон мінливості чинника, в межах якого можлива життєдіяльність організмів, називають **зоною екологічної валентності** (діапазоном витривалості). Мінімальні й максимальні значення чинника, за якими життєдіяльність особин стає неможливою і вони гинуть, називаються межами витривалості.



Іл. 156. Схема дії екологічного чинника

Розрізняють **нижню** й **верхню межі витривалості**. У 1913 р. американський зоолог В.Шелфорд (1877 – 1968) у досліджах з комахами дійшов висновку, що **як мінімум, так і максимум екологічного впливу може бути обмежувальним чинником**. В екології ця закономірність має назву **закону толерантності Шелфорда**.

Ті значення чинника, що є найсприятливішими для життєдіяльності організмів і за яких спостерігаються ріст й розмноження організмів, називають оптимальними, а відповідні значення чинника – **оптимумом**. Ці значення утворюють **зону нормальності життєдіяльності**. Між зоною оптимуму і межами витривалості розташовані **зони пригнічення** (зони песимуму, або стресові зони). Організми за цих значень чинника живуть, але не ростуть і не розмножуються.

**Екологічна валентність** (екологічна толерантність) – здатність організмів успішно протистояти дії зовнішніх чинників у певному інтервалі даного біотопу, або, іншими словами, адаптованість видів до певних умов існування. Кількісно вона охоплює діапазон між нижньою і верхньою межами витривалості. Екологічна валентність різних видів може значно різнитися. Так, північні олені витримують коливання температури повітря від  $-55$  до  $+30$  °С, а тропічні корали гинуть у разі зміни температури на  $5-6$  °С.

За екологічною валентністю організми поділяють на стенобіонтів та еврибіонтів. Стенобіонти (від грец. *стенос* – вузький та *біос* – життя) – організми, які можуть жити лише за дуже незначної зміни чинників середовища. Це симбіонти, мешканці морських глибин, печер, лісів високогір'я (наприклад, колібрі, осоїди, коала, форель, риби-вудильники). Еврибіонти (від грец. *еврі* – широкий та *біос* – життя) – організми, що можуть жити за значних змін чинників середовища. Це здебільшого мешканці помірних широт (наприклад, пацюки, таргани, свині, бурій ведмідь, ворони).

Отже, для кожного чинника, що діє на організм, існує зона екологічної валентності, зона нормальності життєдіяльності, зони пригнічення і межі витривалості.



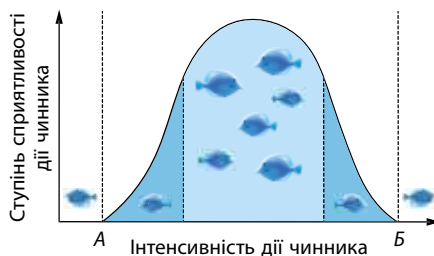


## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

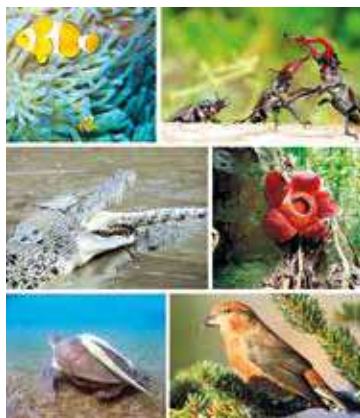
Розгляньте ілюстрацію, проаналізуйте запропоновані твердження і вкажіть правильні.

1. Межі витривалості виду позначено точками А і Б.
2. Затемнені ділянки відповідають зонам пригнічення.
3. Між зонами пригнічення розташована зона екологічної валентності.
4. Між межами витривалості А і Б – зона нормальної життєдіяльності



## Біологія + Екологія

Пригадайте й проаналізуйте названі приклади взаємовідносин організмів, зіставте їх з ілюстраціями та визначте види біотичних чинників: А – мутуалізм, Б – канібалізм, В – коменсалізм, Г – паразитизм, Д – виїдання, Е – конкуренція; 1 – крокодил-самець поїдає молодого крокодила, 2 – рибка-клоун і актинія, 3 – шишкар живиться насінням ялини, 4 – черепаха й риби-прилипали, 5 – рафлезія і корені ліани в тропічному лісі, 6 – турнір жуків-оленів. Доведіть комплексний вплив екологічних чинників на організм.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Наука

Визначте внесок учених (на ілюстрації зліва направо В. Вернадський, В. Шелфорд, Ю. Лібіх, Е. Геккель) у розвиток екології. Яке значення мають знання екологічних закономірностей у практичній діяльності людини?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке екологічні чинники? 2. Назвіть екологічні чинники. 3. У чому сутність комплексного впливу чинників на організм? 4. Назвіть основні закономірності дії екологічних чинників. 5. Що таке обмежувальний чинник? 6. Що таке екологічна валентність?
7 – 9	7. Чим визначається різноманітність екологічних чинників? 8. Як екологічні чинники діють на організми? 9. Як впливає на організм окремий екологічний чинник?
10 – 12	10. Яке значення знань екологічних закономірностей для діяльності людини?

## § 57. СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ

Основні поняття й ключові терміни: **СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ.**

Пригадайте! Що таке екологічні чинники?



### Знайомтесь

*Соня садова (Eliomys quercinus)* – єдиний вид гризунів родини соневих у фауні України, який зрідка трапляється у хвойно-широколистих лісах і садах Полісся й Лісостепу. Занесено до Червоної книги України як зникаючий вид. Зміна яких умов їхнього середовища існування є причиною такого стану цього виду?



### ЗМІСТ

**Якими є компоненти середовища існування?**

**СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ** – це частина простору, в якому мешкають особини, популяції й угруповання організмів різних видів. Середовище існування утворене певними екологічними чинниками, що чинять прямий або опосередкований вплив на організми. Температура, солоність води, світло, вітер, вологість є екологічними чинниками, що створюють *умови існування організмів*. А такі чинники, як їжа, вода, гумус, кисень, що їх організми використовують для життєдіяльності, є *ресурсами середовища існування*.

Найголовнішою закономірністю у взаємодії організмів із середовищем їхнього життя є нерозривний стійкий двобічний зв'язок. Середовище існування є джерелом речовин, енергії та інформації, змінює живе, формує адаптації, сприяє виникненню нових популяцій й видів. Водночас й організми змінюють середовище існування, і роль їх у цьому є надзвичайно великою. Грунтоутворення, біофільтрація, азотофіксація, утворення осадових порід, мінералізація решток – це лише незначний перелік тих процесів, які впливають на ресурси та умови середовища існування. Ця закономірність називається **законом єдності середовища та організмів**. Її автор – видатний український науковець **В.І.Вернадський** (1863–1945).

Основними типами середовищ існування для організмів нашої Землі у природі є *наземно-повітряне, водне, ґрунтове та гостальне* (організм хазяїна). Організми можуть жити в одному або декількох середовищах. Наприклад, риби пристосовані до водного середовища, амфібії живуть на суходолі, а розмножуються у воді, пінгвіни чи ластоногі живляться у воді, а розмножуються на суходолі. Багато комах і амфібій починають життя в одному середовищі, а продовжують в іншому.

У подібних умовах середовища існування в різних видів виробляються подібні адаптаційні комплекси, що є основою для виділення життєвих форм організмів. У вищих рослин розрізняють такі життєві

форми, як дерева, кущі, трави, а у тварин – наземні, підземні, деревні, повітряні та водяні.

Отже, середовище існування є частиною природи, з умовами й ресурсами якої організми постійно взаємодіють.

### Які особливості вирізняють середовища існування?

**Наземно-повітряне середовище існування** – це абіотичне найрізноманітніше за своїми умовами існування середовище життя організмів. Світло є основним чинником, що зумовлює наявність адаптивних біоритмів: *добових* (відкривання і закривання квіток, сон у тварин), *місяцевих* (закопування крабів у пісок перед припливом), *сезонних* (ліняння у птахів, листопад у рослин), *річних* (масові розмноження сарани). Значення світла для різних організмів пов'язане з ультрафіолетовими, видимими й інфрачервоними променями. Світло є чинником для явищ **фотоперіодизму** (здатність організмів реагувати на тривалість світлового періоду доби) та **біологічного годинника** (здатність організмів реагувати на плин часу). Температура є досить часто обмежувальним чинником. Вона впливає на швидкість процесів обміну речовин й визначає механізми терморегуляції. Значення води як екологічного чинника виявляється її участю в процесах випаровування, транспортування речовин, запліднення тощо. У повітрі найбільший вміст  $O_2$  та  $CO_2$ , що важливі для дихання, фотосинтезу, регуляції життєдіяльності. У цьому середовищі найпоширенішими тваринами є **аеробіонти** (більшість літаючих комах, птахів), наземні (плазуни, ссавці), **дендробіонти** (сося садова, деревні квакші), а з рослин – голо- та покритонасінні (іл. 157).

Адаптації мешканців забезпечують швидке й активне переміщення (міграції, перельоти), здобування й збереження води, жирів, вуглеводів, захист від перегрівання чи замерзання, інтенсивний фотосинтез тощо.

**Водне середовище існування** – це рідке абіотичне середовище існування. Умови існування в межах середовища визначаються, в першу чергу, фізичними властивостями води. Це висока теплоємність, низька теплопровідність, розширення перед замерзанням, висока густина, поверхневий натяг, текучість, прозорість, висока розчинність та ін. Тому температурний режим середовища є відносно сталим. Освітленість водойм швидко зменшується з глибиною. Як правило, на глибинах понад 250 м фотосинтезуючі організми існувати не можуть. Через слабку розчинність вміст кисню у воді є незначним. У прісній і особливо морській воді значно більшим є вміст  $CO_2$  (у 150 разів більше, ніж в атмосфері), що позначається на фотосинтезі водоростей і формуванні захисних



Іл. 157. Мешканці наземно-повітряного середовища існування: 1 – калина; 2 – горобець хатній



Іл. 158. Мешканці водного середовища існування: 1 – ряска; 2 – рак річковий

вапнякових утворів (раковин, панцирів) безхребетних. Мешканців водойм називають *гідробіонтами* і серед них виокремлюють такі екологічні групи як нейстон, планктон, нектон і бентос. Найпоширенішими групами водного середовища є водорості, кишковопорожнинні, в'ійчасті черви, ракоподібні, молюски, голкошкірі, риби (іл. 158). Основними адаптаціями гідробіонтів є: у тварин – активний рух, пристосування для збільшення плавучості, зяброве дихання, зовнішнє запліднення, біолоюмінесценція, біофільтрація тощо; у рослин – збільшена поверхня тіла, слабкий розвиток провідних й механічних тканин, розвиток міжклітинників та ін.

**Ґрунтове середовище існування** – це тверде абіотичне середовище існування. Ґрунт як середовище існування характеризується високою щільністю, вода і повітря містяться в порожнинах між часточками ґрунту, склад повітря відрізняється від атмосферного (вміст  $\text{CO}_2$  в 10–100 разів вищий, а кисню – в декілька разів менший, ніж в атмосфері), відсутність впливу світла, вологість завжди вища, ніж повітря, невелика амплітуда добових і річних коливань температури та ін. Мешканці ґрунтового середовища – *едафобіонти* (іл. 159). У верхніх шарах ґрунту живуть ціанобактерії, водорості, гриби, лишайники, кореневі системи рослин. Серед тварин найбільше представництво мають безхребетні (ґрунтові амеби, інфузорії, черви, кліщі, комахи). Основними адаптаціями є мінеральне живлення, зменшені розміри й тонкі покриви тіла, риючі кінцівки, вертикальні міграції, слабка пігментація тіла, гетеротрофне живлення та ін.



Іл. 159. Мешканці ґрунтового середовища:  
1 – білий гриб; 2 – дощовий черв'як

**Гостальне середовище існування** – це біотичне середовище існування, пов'язане з живими організмами. Особливості цієї частини простору визначаються будовою тіла та умовами внутрішнього середовища організмів-хазяїв (рН, температура). Гостальне середовище вирізняють стабільність температурних умов, захисні речовини й тканини, низький вміст кисню, відсутність впливу світла та ін. У такому середовищі немає потреби здобувати і відшукувати їжу, що позначається на будові організмів. Мешканці середовища живуть всередині організмів (*ендобіонти*) або на поверхні тіла (*екзобіонти*). Залежно від характеру взаємозв'язків між партнерами формуються різні типи симбіозу. Через те мешканцями гостального середовища є мутуалісти, коменсали, паразити і напівпаразити (іл. 160). Основними адаптаціями мешканців цього середовища є взаємозалежне живлення, спрощення чи втрата органів, розвинута статева система, значна плодючість, органи прикріплення, складні життєві цикли, анаеробне дихання тощо.



Іл. 160. Типові симбіонти: 1 – омела біла; 2 – ксанторія настінна

Отже, середовища існування різняться за особливостями дуже різних чинників, але визначальними є особливості впливу світла, температури, води й повітря.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

Порівняйте середовища існування та зробіть висновок про причини подібності та відмінностей між ними.

Ознака	Наземно-повітряне	Водне	Ґрунтове	Гостальне
Тип середовища				
Особливості				
Мешканці				
Адаптації				

### Біологія + Символіка

Фенек (*Vulpes zerda*) – це найменша тварина родини Псових роду Лисиця. Вона є логотипом і кодовою назвою браузера *Mozilla Firefox*, фігурує у творі А. де Сент-Екзюпері «Маленький принц», є символом екології Тунісу. Ця тварина є ілюстрацією екологічного правила Бергмана та Аллена. За допомогою екологічного словника визначте суть екологічних закономірностей.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Екологія

Визначте середовище існування зображених представників тваринного світу. Назвіть в одного з них (на вибір) адаптації до впливу екологічних чинників. На конкретному прикладі доведіть справедливість закону єдності організму й середовища.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке середовище існування? 2. Назвіть типи середовищ існування. 3. Що таке наземно-повітряне середовище існування? 4. Які особливості водного середовища існування? 5. Наведіть приклади мешканців ґрунтового середовища існування? 6. Наведіть приклади адаптацій організмів гостального середовища.
7 – 9	7. Якими екомпоненти середовища існування? 8. Які особливості вирізняють середовища існування? 9. Назвіть адаптації організмів до середовища існування.
10 – 12	10. Доведіть взаємозв'язок організмів із середовищем існування.

Так усе колись минеться, все що вдіє людський дух,  
Неодмінним зостається лиш невинний, вічний рух.

В. Самійленко

## § 58. ЕКОСИСТЕМИ ТА ЇХНЯ СТАБІЛЬНІСТЬ

**Основні поняття й ключові терміни:** **СТАБІЛЬНІСТЬ ЕКОСИСТЕМИ. Екологічна сукцесія. Штучні екосистеми.**

**Пригадайте!** Що таке екосистеми?



### **Поміркуйте!**

У 1884 р. французький хімік і фізик *Анрі Луї Ле Шательє* (1850–1936) сформулював принцип, відповідно до якого *якщо на систему, що перебуває в стані рівноваги, подіяти зовнішнім чинником, то рівновага зміщується у напрямі процесу, який послаблює цю дію*. Чи можна застосувати цей принцип до екосистем?



### **ЗМІСТ**

#### **Як забезпечується стабільність екосистем?**

**СТАБІЛЬНІСТЬ (СТІЙКІСТЬ) ЕКОСИСТЕМИ** – здатність екосистеми зберігати свою структуру й функціонування під дією зовнішніх чинників. Будь-яка екосистема, чи трухлявий пеньок, чи велика річка, має внутрішні механізми саморегуляції для підтримання сталості складу й функціонування, тобто екологічного гомеостазу, але у різних екосистем він буде різним. Виникає запитання, чому?

Основною умовою стабільності екосистем є видове різноманіття. Види-продуценти забезпечують утворення великої кількості первинної органічної речовини, від якої залежать наступні ланки ланцюгів живлення. Велика кількість їжі сприяє існуванню консументів декількох порядків, серед яких є взаємозамінні види, подібні за своїми екологічними функціями. Завдяки цьому виникають розгалужені трофічні мережі, що забезпечують функціонування екосистеми, якщо зменшується кількість окремих видів. І нарешті, значна кількість видів-редуцентів здійснює повну мінералізацію органічних решток до неорганічних сполук, що їх можуть знову використовувати продуценти. *Таким чином, чим більша різноманітність видів у екосистемі, тим більшими будуть її стабільність й тривалість існування.*

Екосистеми є динамічними структурами із багатьох видів продуцентів, консументів, редуцентів, пов'язаних між собою трофічними ланцюгами. Рівновага у системах «хижак – жертва», «запилювачі – квіткові рослини», «фітофаг – рослина», «паразит – хазяїн» установлюється як еволюційні відносини упродовж багатьох тисяч років. За цей час види адаптуються один до одного і до середовища існування.

Основні умови стабільності екосистем
1. Значне видове різноманіття
2. Висока первинна біопродукція
3. Складність ланцюгів живлення
4. Розгалуженість трофічних мереж
5. Повнота мінералізації решток

Екосистема тільки прагне до стабільності, але ніколи її не досягає: по-перше, змінюються зовнішні умови, по-друге, види змінюють середовище існування.

Залежно від здатності екосистем підтримувати свою динамічну рівновагу їх поділяють на *динамічно стійкі* (екосистема стійко функціонує в широкому діапазоні змін навколишніх впливів і має багато взаємозамінних видів) і *динамічно нестійкі* (екосистема функціонує в обмеженому діапазоні змін навколишніх впливів і має небагато взаємозамінних видів). Так, кораловий риф, струмок, ставок є прикладами нестійких екосистем, а широколистяний ліс, степ, тайга, буковий карпатський праліс – стійких (іл. 161).



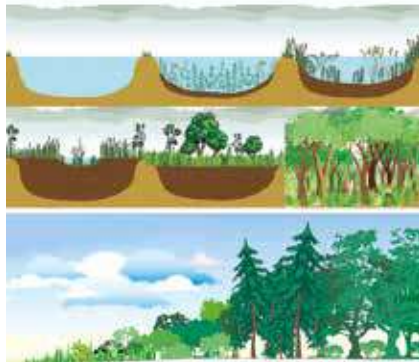
Іл. 161. Кораловий риф (1) і буковий карпатський ліс (2)

Отже, стабільність екосистем залежить від механізмів саморегуляції екосистеми, які пов'язані із видовим біорізноманіттям.

### Яке значення та етапи екологічних сукцесій?

Стабільність екосистем забезпечується механізмами саморегуляції за більш чи менш стабільних умов довкілля. Але у випадку зміни цих умов у них відбуваються зміни.

**Екологічні сукцесії** (лат. *successio* – наступність) – *спрямовані послідовні зміни угруповань організмів на певній ділянці середовища, які призводять до відновлення чи перетворення екосистеми відповідно до природних умов.* Засновником теорії сукцесій є **Ф.Клементс** (1874–1945). Причинами сукцесій можуть бути: зміни клімату, природні катаклізми (вулкани, землетруси, повені), вимирання або акліматизація видів, неповнота колообігу речовин, вплив людини, що є основним чинником змін сучасних екосистем (іл. 162).



Іл. 162. Приклади сукцесійних змін

За особливостями формування сукцесії поділяють на первинні й вторинні. **Первинні сукцесії** – це поява і розвиток угруповань у місцях, де їх раніше не було (наприклад, розвиток екосистем на скельних породах, зсувах, відмілинах річок, вулканічних островах). **Вторинні сукцесії** – це відновлення природних угруповань після певних порушень (наприклад, відновлення лісів після пожеж чи вирубки, степів – після розорювання). Таким чином, *екологічні сукцесії є механізмами появи, розвитку, самопідтримки та відновлення екосистем!*

Якими є основні етапи формування сукцесій?

- Процес сукцесії починається із заселення лишайниками, нижчими грибами і рослинами. Згодом на цих ділянках формуються чи відновлюються зооценози та мікробіоценози.
- Угрупування організмів, які існують на початку сукцесій, називаються *піонерними*. Вони зазвичай нестійкі, з незначним видовим різноманіттям, нескладними ланцюгами живлення, слабкою мінерілазацією решток тощо.
- Піонерні угруповання швидко змінюються *проміжними угрупованнями*. Це також нестійкі угруповання, але в них збільшується видове різноманіття, розгалужуються трофічні мережі тощо.
- Завершуються сукцесії, як правило, формуванням *зрілих (клімаксних) екосистем* з максимально можливим у даних природних умовах ступенем стійкості.

Отже, постійні зміни середовища життя спричиняють сукцесії, кінцевою метою яких є досягнення стабільного стану.

### Які особливості відрізняють штучні екосистеми від природних?

**Штучні екосистеми** – це збіднене видами угруповання рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, створене людиною. Їхнє призначення полягає в забезпеченні людини їжею й сировиною, створенні умов проживання, організації наукових досліджень та ін. Існування штучних екосистем можливе тільки за постійного, науково обґрунтованого догляду з боку людини.

Однією з визначальних особливостей штучних екосистем є переважання одного чи декількох домінуючих видів організмів, що позначається на довжині трофічних ланцюгів, складності трофічних мереж тощо. В таких екосистемах діє в основному штучний добір, спрямований на максимальну продуктивність організмів, потрібних людині. Штучні екосистеми мають обмежений видовий склад, не здатні до саморегуляції, нестійкі за своєю природою, оскільки в умовах стресу вони є дуже вразливими для конкурентів, збудників хвороб, паразитів, хижаків тощо. Людина повинна постійно втручатися у структуру та функціонування екосистем для того, щоб запобігти небажаним змінам.



Іл. 163. Поле поруч з луками як приклад дотримання екологічної культури у бізнесі

Створюючи штучні екосистеми людина має розуміти їхні особливості та організовувати ландшафти таким чином, щоб не порушувалась стабільність природних великих екосистем. Сади чи поля мають чергуватися з лісами, природними водоймами, луками та біогеоценозами інших типів (іл. 163). Все це забезпечуватиме те різноманіття, що є запорукою стабільності окремих екосистем і природи загалом.

Отже, штучні екосистеми мають ту саму структуру (абіотичну та біотичну частини), умови існування (видове різноманіття, ланцюги живлення тощо), але позбавлені такої властивості, як стабільність й стійкість у часі.





## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на порівняння

Порівняйте за допомогою таблиці в робочому зошиті природні й штучні екосистем та сформулюйте висновок про їхню стабільність у часі.

Ознака	Екосистеми	
	природні	штучні
Тип екосистем (за стійкістю)		
Причини виникнення		
Видове біорізноманіття		
Трофічні сітки		
Ступінь біопродуктивності		
Саморегуляція		
Джерело енергії		
Колообіг речовин й потік енергії		
Панівна форма добору		



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Екологія

У сучасній екології з'явився термін види-агресори (від лат. *aggressio* – напад). Ці види швидко поширюються на нових територіях і витісняють аборигенні види. Так, серед рослин до такої групи відносять *борщівник Сосновського* (іл. 164, 1), амброзію полинолисту, гірчак повзучий та ін. Серед тварин – мохнаторукий китайський краб, риби срібний карась і *ротан-головешка* (іл. 164, 2), молюск рапана, реброплав мнеміопсис та ін. Не маючи ворогів і будучи надзвичайно плідними, вони швидко створюють численні популяції й активно впливають на екосистеми. Чому екосистеми під їхнім впливом змінюються? Зробіть висновок про цілісність і саморегуляцію екосистеми.



Іл. 164. Приклади видів-агресорів:  
1 – борщівник Сосновського;  
2 – ротан-головешка



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке стабільність екосистем? 2. Назвіть види екосистем за стійкістю. 3. Що таке екологічна сукцесія? 4. Які причини сукцесій? 5. Що таке штучні екосистеми? 6. Наведіть приклади штучних екосистем.
7 – 9	7. Як забезпечується стабільність екосистем? 8. Яке значення та етапи екоसукцесій? 9. Які особливості відрізняють штучні екосистеми від природних?
10 – 12	10. Застосуйте знання і на конкретних прикладах порівняйте природні й штучні екосистеми.

## § 59. БІОСФЕРА ЯК ЦІЛІСНА СИСТЕМА

**Основні поняття й ключові терміни:** БІОСФЕРА. Жива речовина. Біологічний колообіг речовин й перетворення енергії.

**Пригадайте!** Що таке геологічні оболонки Землі?



### Знайомтеся!

**Володимир Іванович Вернадський** (1863–1945) – геніальний український науковець, засновник біогеохімії, творець вчення про біосферу. Він писав: «На земній поверхні немає хімічної сили, могутнішої за своїми кінцевими наслідками, ніж живі організми, взяті загалом». На вашу думку, чому?



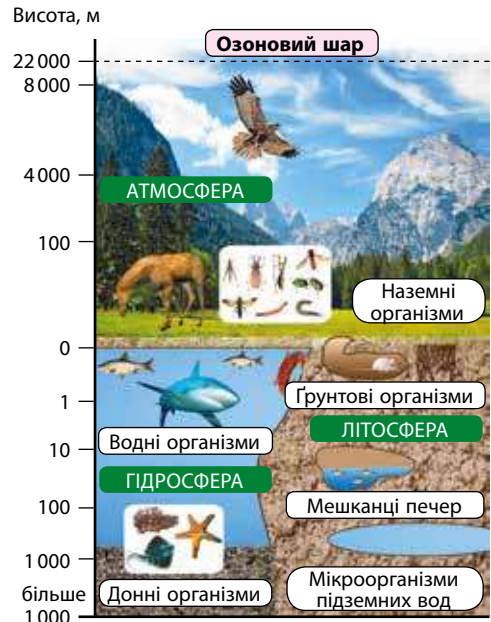
### ЗМІСТ

#### Які особливості біосфери?

**БІОСФЕРА** – особлива оболонка Землі, населена живими істотами (іл. 165). Перші уявлення про біосферу як «зону життя» дав Ж. Б. Ламарк, термін запропонував австрійський вчений **Е. Зюсс** (1875), а цілісне вчення про біосферу створив наш видатний співвітчизник **В. І. Вернадський** («Біосфера», 1926). Дослідженнями біосфери займається **біосферологія**.

Які ж особливості біосфери як біологічної системи найвищого рівня організації живої матерії?

1. Біосфера охоплює три геологічні оболонки – літосферу, атмосферу та гідросферу. Межами біосфери є нижні шари атмосфери до висоти близько 11 км, вся гідросфера і верхній шар літосфери до глибини 3–11 км.



Іл. 165. Біосфера

Б І О С Ф Е Р А		
Абіотичний компонент	←	Біотичний компонент
Речовина атмо-, гідро- та атмосфери	Біогенна міграція елементів	Жива речовина (продуценти, консументи, редуценти)
	→	

2. У структурі біосфери виокремлюють абіотичний та біотичний компоненти, що пов'язані переміщенням елементів. Живі організми концентрують, перерозподіляють хімічні елементи, синтезують з них й

розкладають хімічні сполуки. У науці ця закономірність називається законом Вернадського, або законом біогенної міграції хімічних елементів: *міграція хімічних елементів на земній поверхні та в біосфері в цілому здійснюється або за безпосередньої участі живої речовини, або ж в середовищі, особливості якого зумовлені живою речовиною.*

3. Структурними елементами біосфери є 7 типів речовини: 1) *жива* (сукупність усіх організмів на Землі); 2) *біогенна* (речовина, утворена й перероблювана організмами: вугілля, нафта, кисень атмосфери тощо); 3) *косна* (абіотична речовина, утворена без участі живого – лава, попіл вулканів); 4) *біокосна* (біогенно-абіотична речовина, продукти розкладу і переробки косної речовини організмами – ґрунт); 5) *радіоактивна*; 6) *космічна*; 7) *розсіяні атоми*.

4. Елементарними одиницями біосфери є екосистеми в усій своїй різноманітності, об'єднані біологічним колообігом речовин й перетворенням енергії. Через те біосферу розглядають як єдину глобальну складну екосистему планети Земля.

5. Біосфера існує з часу появи життя на Землі й на сучасному етапі свого розвитку поступово переходить у *ноосферу* – стан біосфери, за якого визначальними чинниками стає розумова діяльність й праця людини, а характерною рисою – екологізація всіх сфер життя.

Отже, біосфера є найвищою та найскладнішою біологічною системою Землі.

### **Які функції живої речовини зумовлюють їх значення?**

**Жива речовина (біота)** – *вся сукупність живих організмів на планеті.* На її частку припадає всього 0,01 % від маси всієї біосфери (97 % – рослини і 3 % – тварини та інші організми), проте саме з нею пов'язані найважливіші процеси, що відбуваються в усіх оболонках Землі. *«Можна без перебільшення стверджувати, що стан планети, біосфери цілком перебуває під впливом життя і визначається живими організмами»*, – писав В.І.Вернадський. Якими ж є функції живої речовини?

- **Газова** – вплив живих організмів на газовий склад атмосфери (наприклад, утворення кисню під час фотосинтезу, виділення вуглекислого газу під час дихання).
- **Концентраційна** – поглинання живими організмами певних хімічних елементів і їх накопичення (наприклад, накопичення молюсками у черепашках Кальцію, діатомовими водоростями, хвощами, злаками – сполук Силіцію, морськими водоростями – Йоду);
- **Окисно-відновна** – живі організми окиснюють та відновлюють певні сполуки (наприклад, залізо-, сіркобактерії перетворюють сполуки Феруму та Сульфур).
- **Біохімічна** – синтез і розщеплення білків, ліпідів, вуглеводів, нуклеїнових кислот, яких у природі до появи живого не існувало.

Основними властивостями живої речовини, від яких залежить реалізація цих функцій, є: обмін речовин, ріст, самовідтворення, здатність нагромаджувати і передавати енергію по ланцюгах живлення, зміна абіотичного середовища, адаптивність та ін.

Жива речовина на Землі розподілена нерівномірно. Найбільше скупчення організмів спостерігається на межі трьох оболонок: атмо-,

гідро- і літосфери (у тропічних лісах і тропічній літоралі). На суходолі різноманітність життя є вищою, ніж у воді через різноманітніші умови середовища життя та більшу ефективність використання сонячної енергії на суходолі, що становить 0,1%. У Світовому океані життя має більшу біомасу, але різноманітність його менша через стабільність умов водного середовища та менший ККД використання сонячної енергії в океані (0,04%).

Отже, саме жива речовина охоплює й перебудовує процеси в біосфері та є найпотужнішою геологічною силою, що зростає з плином часу.

### Як відбувається біологічний колообіг й перетворення енергії в біосфері?

**Біологічний колообіг речовин** – це переміщення, розподіл і концентрація хімічних елементів і речовин у біосфері, що відбуваються за допомогою живих організмів. Біологічний колообіг речовин у природі, на відміну від геологічного, є швидким і розімкненим (частина елементів відкладається у вигляді порід органічного походження). За участі мікроорганізмів, рослин, тварин, грибів й людини колообіг речовин здійснюється через повітря ( $\approx 98\%$ ) і через воду ( $\approx 2\%$ ). У загальному біологічний колообіг речовин в біосфері, як і в екосистемах, має циклічний характер.

На сьогодні спостерігаються порушення колообігу речовин у біосфері, балансу між біологічним та геологічним колообігами, головними причинами яких є штучне прискорення вивітрювання порід і прискорені темпи загибелі біоти, а також створення людиною речовин, які надалі не можуть бути використані організмами. Серед найважливіших циклів виокремимо колообіг  $H_2O$ ,  $CO_2$ , Оксигену, Нітрогену і Фосфору (іл. 166).

**Біологічне перетворення енергії** – це перетворення сонячної енергії у біосфері, що відбувається за допомогою живих організмів. Біосфера більшу частину енергії одержує у вигляді променистої енергії Сонця, і незначна частка є тепловою енергії процесів у земній корі. Лише 0,1% сонячної енергії, що потрапляє на Землю, вловлюється продуцентами, використовується в процесі фотосинтезу й запасується у вигляді хімічної енергії вуглеводів. Ця зв'язана енергія далі використовується консументами й редуцентами в ланцюгах живлення, і за її рахунок жива речовина виконує внутрішню роботу – концентрує, трансформує, акумулює й перерозподіляє хімічні елементи в земній корі. У процесі цих перетворень частина енергії втрачається у вигляді теплоти, тому перетворення енергії у біосфері має лінійний характер.

Отже, біосфера є біологічною системою, що поглинає енергію космосу та спрямовує її на внутрішню роботу, яка забезпечує існування та розвиток природи Землі.



Іл. 166. Колообіг  $CO_2$  в біосфері



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Наведіть приклади організмів, які беруть участь у перетворенні оболонок Землі та доведіть планетарну роль живої речовини.

### Біологія + Хімія

Нітроген входить до складу амінокислот, білків, нуклеїнових кислот, АТФ тощо і разом з тим він є найбільш лімітуючим з усіх інших біогенних елементів. Розгляньте



### Значення живої речовини для Землі

Значення	Приклади організмів
Утворення осадових порід	
Утворення корисних копалин	
Руйнування гірських порід	
Утворення ґрунту	
Утворення кисню й озону	
Вплив на концентрацію азоту	
Вплив на концентрацію CO <sub>2</sub>	
Заболочування	

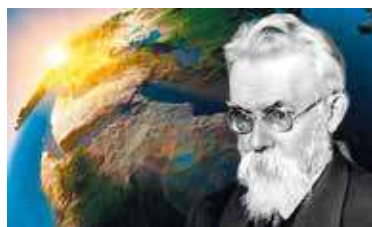
ілюстрацію, визначте сутність процесів, що становлять основу колообігу Нітрогену в біосфері. Підготуйте презентацію «Колообіг Нітрогену в біосфері та його особливості». Які хімічні властивості нітрогену?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Наука

В. І. Вернадський дуже багато зробив для відродження України. Він був першим президентом Академії наук, його ім'ям названо Національну бібліотеку України. На думку вченого, неминучим єдино правильним є підхід до біосфери як до цілісної глобальної екосистеми, єдиного живого організму. Таке розуміння біосфери особливо важливе тепер, коли вплив людини на природу досягнув небувалих й загрозливих масштабів. Зробіть висновок про значення природних угруповань для збереження рівноваги у біосфері й розвитку ноосфери.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біосфера? 2. Хто є автором вчення про біосферу? 3. Що таке жива речовина? 4. Назвіть функції живої речовини. 5. Що таке біологічний колообіг? 6. Який характер перетворень енергії у біосфері?
7 – 9	7. Які особливості біосфери? 8. Яке значення живої речовини? 9. Як відбувається біологічний колообіг речовин та перетворення енергії у біосфері?
10 – 12	10. У чому суть планетарної ролі живої речовини?

## § 60. БІОСФЕРА ТА ЇЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ

**Основні поняття й ключові терміни:** Екологічні проблеми. Екологічні катастрофи. Екологічна криза.

**Пригадайте!** Що таке біосфера?



### Із власного досвіду

Більшість екологічних закономірностей вдало узагальнив у 1974 р. американський еколог **Б. Коммонер** (1917–2012). «Якщо ми хочемо вижити, то маємо зрозуміти причини катастрофи, що наближається», – говорив науковець. Закони екології він сформулював у вигляді чотирьох афоризмів: 1) усе пов'язано з усім; 2) усе має кудись подітися; 3) природа «знає» краще; 4) ніщо не дається задарма. Наведіть приклади з повсякденного життя, що ілюструють кожний із законів Б. Коммонера.



### ЗМІСТ

#### Як впливає людина на сучасну біосферу?

Протягом усієї своєї історії людство поступово посилювало вплив на природу, усе більше порушуючи екологічну рівновагу й створюючи екологічні проблеми.

**Екологічні проблеми** – це такі зміни стану довкілля, які можуть погіршити (прямо або опосередковано) природні умови. Вони можуть мати статус місцевих чи регіональних екологічних проблем, але деякі спричиняють вплив на всю біосферу Землі й загрожують людству. В наш час науковці-екологи виокремлюють такі найважливіші глобальні проблеми, як: 1) *забруднення середовища* (відходами виробництва, нафтопродуктами, отрутохімікатами, мінеральними добривами, синтетичними матеріалами тощо); 2) *потепління клімату*; 3) *кислотні опади*; 4) *руйнування озонового шару*; 5) *спустелення територій*; 6) *зменшення біорізноманіття*.

Сигналами неблагополуччя біосфери і нерозумної господарської діяльності людини в наш час все частіше стають екологічні катастрофи.

**Екологічні катастрофи** – швидкі й небезпечні зміни природних умов, за яких стан довкілля стрибкоподібно змінюється в несприятливий бік. Сумними прикладами таких подій були Бхопальська аварія на хімічному заводі в Індії (1984), Чорнобильська аварія в Україні (1986), аварія на ядерній електростанції «Фукусіма-1» в Японії (2011). На жаль, число та частота великих екологічних катастроф у світі зростають: за десятиріччя з 1960 до 1970 рр. їх трапилося 14, а за десятиріччя з 1980 до 1990 рр. зареєстровано вже 70.

Наприкінці ХХ ст. людство почало відчувати наближення глобальної екологічної кризи, яка, на відміну від попередніх криз, охопила всю планету та зумовлена техногенними причинами. **Екологічна криза** –

глибоке порушення природної екологічної рівноваги та напружений стан взаємин між людиною і природою. До розвитку глобальної сучасної екологічної кризи призвели два чинники – **демографічний** та **промислово-енергетичний**. Кількість населення Землі зростає (1830 р. – 1 млрд, 1994 р. – 5,5 млрд, а на 1 квітня 2017 р. – 7,5 млрд), відбувається різке зростання промислового виробництва, виробництва енергії. Але є й інші серйозні причини поглиблення екологічної кризи: занепад духовності, низький рівень екологічної культури та екологічної освіти.

Людина має зрозуміти свої помилки у відносинах з довкіллям та спрямувати сили на зміну ставлення до природи й виправлення завданої шкоди. Інакше екологічна криза переросте в незворотну екологічну катастрофу на Землі.

Отже, антропогенний вплив на біосферу зріс настільки, що спричинив глобальну екологічну кризу.

### Якими є основні напрями охорони біосфери?

Людина і біосфера невіддільні одне від одного. Біосфера забезпечує людину необхідними для життя речовинами та енергією. Людина дбає про біосферу: виявляє турботу про її мешканців, охороняє середовище їх існування. Нині питання охорони біосфери хвилює всіх людей на Землі, оскільки кожний із нас відчуває наслідки антропогенної деградації природи.

Одним із напрямів охорони біосфери є **збереження біорізноманіття**. Учені виявляють види та угруповання організмів, яким загрожує небезпека, з'ясовують, скільки їх залишилося в природі і де саме, розробляють заходи щодо охорони довкілля. Перелік видів організмів, які потребують охорони, наводять у Червоних книгах. Першу Міжнародну Червону книгу видали у 1966 р. В Україні у 2009 р. вийшло вже третє видання **Червоної книги України**, до якої занесено 542 види тварин, 826 видів рослин і грибів. Для охорони угруповань українські ботаніки першими в світі запропонували створити Зелені книги. У 1987 р. з'явилася **Зелена книга України**, до якої було занесено 127 рідкісних й зникаючих угруповань. Найбільше серед них лісових (наприклад, ялинові ліси Полісся), водних (наприклад, формація латаття білого) та степових (наприклад, формації ковили української) ценозів (іл. 167).

Важливий крок на шляху захисту й збереження біосфери – **виділення й розвиток природно-заповідних територій**. Це створення заповідників, заказників, національних парків, пам'яток природи, дендропарків, зоопарків, ботанічних садів та ін. (іл. 168). Природно-заповідними територіями міжнародного значення, в яких охороняються усі шари біосфери, є біосферні заповідники. В Україні діють «Асканія-Нова», Чорноморський, Карпат-



Іл. 167. Лісові угруповання соснових жовторододендронових лісів із Зеленої книги України

ський, Дунайський і Чорнобильський радіаційно-екологічний (іл. 169). В Україні в 2004 р. прийнято Закон «Про створення екологічної мережі України», згідно з яким було розпочато роботу зі створення єдиної території з ділянками заповідної та малозміненої природи, що називається **екологічною мережею**. Програмою планується створення 29 національних природних парків і 7 біосферних заповідників, серед яких найбільшими будуть Сиваський, Велике філофорне поле Зернова, Нижньодніпровський, Поліський, Український лісостеповий. Площу 11 існуючих заповідників і парків буде збільшено.

Якою ж є роль заповідних територій у збереженні біологічного різноманіття? Це передусім: 1) збереження генофонду рослинного і тваринного світу; 2) забезпечення загальної екологічної рівноваги та відновлення біологічного колообігу речовин у природному середовищі; 3) проведення наукових досліджень, здійснення екологічного моніторингу, прогнозування змін довкілля та розробка наукових рекомендацій щодо охорони біосфери; 4) збереження типових й унікальних природних комплексів, біорізноманіття ландшафтів та «неживої природи».

**Екологічна освіта** в галузі навколишнього середовища розглядається нині педагогічною громадськістю як безперервний процес, що охоплює всі вікові, соціальні та професійні групи населення. Проте її центральною ланкою є школа, оскільки саме за шкільних років формування особистості відбувається найінтенсивніше.

Учені безперервно відшукують *нові шляхи збереження біосфери*. В останні десятиріччя розвиваються такі напрями, як тривале збереження генетичної інформації у формі кріобанків – глибоко заморожених клітин, формування насінних банків, повернення видів до місць їхнього попереднього мешкання та ін.

Отже, основними напрямками охорони біосфери є збереження біорізноманіття, виокремлення й розвиток природно-заповідних територій, екологічна освіта тощо.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Класифікуйте за таблицею наведені забруднювачі: 1) ВІЛ; 2) чадний газ від неповного згоряння; 3) електромагнітні поля високовольтних ліній електропередачі; 4) штучні ізотопи Цезію, Стронцію; 5) теплі води електростанцій; 6) шум транспорту; 7) оксиди Нітрогену ТЕС,



Іл. 168. Національний парк «Синевир» у Карпатах



Іл. 169. Біосферний заповідник «Асканія-Нова» в Херсонській області



ТЕЦ, металургійних заводів; 8) Кадмій у золі від спалювання сміття на звалищах; 9) пестициди; 10) скло, поліетиленові пакети, пластмасові пляшки; 11) стічні води цукрового заводу, м'ясокомбінату; 12) сполуки Хлору з цементного заводу. Оцініть антропоційний вплив на природні екосистеми своєї місцевості.

Хімічні	Біологічні	Фізичні	Механічні	Термічні	Радіаційні

### Біологія + Практика

Допомога доквіллю, або «зелене життя», – це дуже просто. Якщо кожен із нас приділить хоч трішки уваги цьому питанню, то зміни будуть значними. Обґрунтуйте десять запропонованих порад щодо допомоги із врятування життя на Землі.

Порада	Обґрунтування
1. Сортуй сміття	
2. Намагайся не використовувати поліетиленові пакети	
3. Купуй екоодяг з бавовни, льону, шовку тощо	
4. Використовуй енергозберезувальні лампи	
5. Вирощуй кімнатні рослини	
6. Використовуй сірники замість запальничок	
7. Віддавай речі на переробку	
8. Здавай макулатуру	
9. Економ воду	
10. Ходи пішки	



### СТАВЛЕННЯ

Проект на тему:

#### «ВИЯВЛЕННЯ РІВНЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ В ЕКОСИСТЕМАХ»

Вплив людини як екологічного чинника є надзвичайно сильним та різнобічним. Жодна екосистема на планеті не уникала цього впливу. Підготуйте проект, в якому визначте позитивний та негативний вплив людини на екосистеми вашої місцевості.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке екологічна криза? 2. Що таке екологічні проблеми? 3. Назвіть чотири глобальні екологічні проблеми біосфери. 4. Що таке Червона книга? 5. Що таке Зелена книга? 6. Назвіть категорії заповідних територій.
7 – 9	7. Яким є вплив людини на сучасну біосферу? 8. Якими є основні напрями охорони біосфери? 9. Яка роль заповідних територій у збереженні біорізноманіття, рівноваги у біосфері?
10 – 12	10. Застосуйте знання для визначення правил своєї поведінки в сучасних умовах навколишнього середовища.

## Узагальнення теми 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

*Жорстокість і неуцтво не думають про майбутнє.*

*М. Реріх*

**Надорганізмові біологічні системи** – це угруповання живих організмів, які взаємопов'язані між собою та з навколишнім середовищем. Такими системами є популяції, види, екосистеми й біосфера.

**Таблиця 17. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**

Назва	Екологічна характеристика системи
<b>Популяція</b> – сукупність особин одного виду, які тривалий час мешкають у певній частині його ареалу частково або повністю ізолювано від інших популяцій	Основними показниками, які характеризують популяції, є: чисельність, густина, біомаса, народжуваність, смертність і приріст. Для популяцій властивими є статеві, вікові, просторова, видова, етологічна структури
<b>Вид</b> – сукупність особин, що характеризуються спадковою подібністю ознак, вільно схрещуються і дають плодюче потомство, пристосовані до певних умов життя і займають у природі певний ареал	Кожен вид, поширений на певному <b>ареалі</b> , займає в біогеоценозі певну <b>екологічну нішу</b> , заселяє певну частину простору, яка називається <b>місцеіснуванням виду</b> , і може існувати лише завдяки зв'язкам з іншими видами
<b>Екосистема</b> – сукупність організмів різних видів та середовища їхнього існування, що пов'язані обміном речовин, енергії та інформації	У будь-якій екосистемі виокремлюють дві частини – абіотичну і біотичну. Необхідною умовою існування є <b>колообіг речовин та перетворення енергії</b> . Основними властивостями є <b>відкритість, саморегуляція, цілісність, незамкненість, стійкість</b>
<b>Біосфера</b> – особлива оболонка Землі, населена живими організмами	Елементарною одиницею є <b>екосистеми</b> , основною умовою існування біосфери є <b>біологічний колообіг речовин</b> , існує з часу появи життя на Землі, поступово переходить у <b>ноосферу</b> . Структурними елементами біосфери є речовина жива, біогенна, абіотична, біогенно-абіотична, радіоактивна, космічна, розсіяні атоми
<b>Надорганізмові системи вивчає наука ЕКОЛОГІЯ, в якій виділяють три основні напрями: екологію особин, популяційну екологію та біогеоценологію</b>	

### ОСНОВНІ ЕКОЛОГІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ

**Закон піраміди енергій, правило екологічної піраміди, закон 10 %** (закон Р. Ліндемана, 1942). *З одного трофічного рівня екологічної піраміди переходить на інший її рівень в середньому не більш ніж 10 % енергії.*

**Закон взаємодії екологічних чинників** (закон О. Мітчерліха, 1909). *У природі один екологічний чинник може впливати на інший, тому успіх виду в довкіллі залежить від взаємодії чинників.*

**Закон мінімуму** (закон лімітуючого чинника, закон Ю. Лібіха, 1840). *Найбільшу лімітувальну дію на організм, популяцію або угруповання справляють ті життєво важливі чинники зовнішнього середовища, кількість (концентрація) яких близька до мінімального критичного рівня.*

**Закон біогенної міграції атомів** (В. І. Вернадський). *Міграція хімічних елементів на земній поверхні й у біосфері в цілому здійснюється або за безпосередньої участі живої речовини (біогенна міграція), або відбувається в середовищі, геохімічні властивості якого зумовлені живою речовиною.*

## Самоконтроль знань

### Тест-оцінювання 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

- Під дією якого із чинників найчастіше зменшується врожай культурних рослин у південних областях України, де переважають найбільш плодючі ґрунти?  
**А** температура **Б** світло  
**В** кисень **Г** елементи живлення
- Зменшення розмірів тіла, тоненькі покриви тіла, вертикальні міграції, слабка пігментація тіла, гетеротрофний тип живлення характерні для мешканців середовища...  
**А** наземно-повітряного **Б** водного  
**В** ґрунтового **Г** гостального
- Група вільно схрещуваних особин одного виду, які проживають тривалий час на території ареалу і відносно ізольовані від інших таких самих груп.  
**А** популяція **Б** екотип **В** підвид **Г** вид
- Структура популяції, що проявляється особливостями поведінки.  
**А** статева **Б** вікова **В** просторова **Г** етологічна
- Сукупність особин, які мають спадкову подібність ознак, вільно схрещуються і дають плодюче потомство, пристосовані до певних умов життя і займають у природі ареал.  
**А** популяція **Б** екотип **В** підвид **Г** вид
- Найбільша кількість ярусів рослин є в такій екосистемі, як  
**А** ялиновий ліс **Б** сосновий ліс **В** широколистяний ліс **Г** міський парк
- Консументами I порядку є  
**А** їжак, ласка **Б** мураха, бабка **В** заєць, бджола **Г** павук, комар
- Гриби-сапротрофи є  
**А** консументами I порядку **Б** консументами II порядку  
**В** редуцентами **Г** продуцентами
- Ланцюги живлення зазвичай складаються з 5–6 ланок, оскільки  
**А** ресурси середовища обмежені  
**Б** хижаки не можуть жити хижаками  
**В** в ланцюгах живлення відбуваються втрати енергії  
**Г** редуценти не вправляються з функціями
- Біомаса кожного з наступних рівнів зменшується приблизно в 10 разів тому, що частина енергії...  
**А** витрачається на утворення нових рослинних тканин  
**Б** витрачається на життя і розсіюється у вигляді теплоти  
**В** виділяється з організмів разом з продуктами обміну  
**Г** витрачається на розмноження
- Поява і розвиток рослинних угруповань у місцях, де рослинності раніше не було, – це  
**А** первинні сукцесії **Б** регресуючі сукцесії  
**В** вторинні сукцесії **Г** антропогенні сукцесії
- Що характерно для штучних екосистем?  
**А** різний видовий склад  
**Б** саморегуляція  
**В** однотипність видового складу  
**Г** висока продуктивність багатьох видів

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



## Тема 9. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

...Ти завжди відповідаєш за тих, кого приручив.  
А. де Сент-Екзюпері

### § 61. ПОНЯТТЯ ПРО СЕЛЕКЦІЮ

**Основні поняття й ключові терміни:** СЕЛЕКЦІЯ. Одомашнення тварин. Культурні рослини. Центри походження культурних рослин.

**Пригадайте!** Що таке еволюція?



#### Поміркуйте!

Кількість видів дійсно одомашнених тварин є дуже невеликою – не більш ніж 25. Для одомашнення необхідно, щоб поміщена в неволю тварина принесла потомство. Тільки тоді можна зайнятися добром і, зберігаючи особини з найціннішими для людини властивостями, через багато століть отримати вже не просто приручену, а справжню свійську тварину. Яка наука займається вивченням можливостей одомашнення тварин і введення в культуру рослин?



#### ЗМІСТ

#### **Чому селекція є наукою?**

**СЕЛЕКЦІЯ** (від лат. *selectio* – добір) – наука про створення нових та поліпшення вже існуючих сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів. Наукові основи селекції закладено Ч. Дарвіном у працях «Походження видів» (1859) та «Зміна домашніх тварин і культурних рослин» (1868), в яких обґрунтовано основи селекційного створення нових форм. Важливим етапом подальшого розвитку селекції стало відкриття законів спадковості й мінливості. Великий внесок у розвиток селекції зробив М. І. Вавилов, автор закону гомологічних рядів й вчення про центри походження культурних рослин. Важливу роль у становленні селекції зіграли українські селекціонери Л. П. Симиренко, І. В. Мічурін, В. М. Ремесло, М. Ф. Іванов, М. М. Гришко та ін.

Чому селекція є наукою? *Предметом селекції* є вивчення закономірностей формування сортів рослин, порід тварин та штамів мікроорганізмів в створених людиною умовах. Селекція підпорядкована тим самим законам, що й еволюція видів у природі, однак природний добір частково замінений штучним. *Теоретичною базою* селекції є генетика, еволюційне вчення та екологія. Використовуючи еволюційну теорію, генетичні закони, вчення про чисті лінії й мутації, екологічні закономірності,

вчені-селекціонери розробили різноманітні методи виведення сортів, порід і штамів. До основних *методів селекції* належать добір, гібридизація, методи поліплоїдизації та експериментального мутагенезу. Інтеграція селекції з молекулярною біологією, цитологією, кріобіологією, біохімією відкрили нові перспективи розвитку. Все ширше використовуються можливості й методи біотехнології, молекулярної біології, генетичної інженерії, що значно пришвидшує селекційний процес.

Основними розділами сучасної селекції є селекція рослин, селекція тварин та селекція мікроорганізмів. Їх виокремлюють за особливостями будови й життєдіяльності організмів, що беруть участь в селекційній роботі.

Досягнення селекції застосовуються в рослинництві для вирощування культурних рослин, у тваринництві – для утримання домашніх тварин, в побуті – для естетичної насолоди, позитивних емоцій від хатніх тварин й декоративних рослин, в медицині – для отримання ліків, у біотехнології – для використання у харчовій, легкій, мікробіологічній, деревообробній промисловості та ін.

Отже, селекція – це наука, що має свої предмет, об'єкти і методи досліджень, зв'язки з іншими науками та практичне значення.

### **Яке значення одомашнення тварин і введення в культуру рослин?**

**Одомашнення**, або **доместикація** (від лат. *domesticus* – домашній) – *селекційний процес зміни тварин для використання людиною*. Більшість видів тварин, що вільно мешкають у природі, не можна одомашнити – на заваді стають їхні спадкові етологічні особливості. Деякі дикі тварини утримуються в неволі як домашні (наприклад, у палацах індійських королів, при дворі Карла Великого жили гепарди, яких використовували на полюванні), проте вони всього лише приручені, а не одомашнені. Такі тварини легко повертаються до життя в дикому середовищі.

Процес одомашнення диких тварин починається з відбору окремих особин для отримання потомства з певними ознаками, що зацікавили людину. У процесі селекції в організмів змінюються генетичні властивості й виникають так звані *доместикаційні ознаки* (наприклад, форма вух, довга чи коротка шерсть). Домашніх тварин виводять для отримання їжі, сировини, ліків, для естетичної насолоди тощо. Найчастіше домашніми ставали види птахів і ссавців, хоча є домашні тварини і серед безхребетних. Це шовковичний шовкопряд і бджола медоносна. З перспективою одомашнення селекціонери проводять дослідження з лосями, антилопами, оленями, яками, соболями, норками, лисицями та ін. Крім того, учені створюють все нові породи раніше одомашнених тварин.

**Культурні рослини** – *рослини, вирощувані людиною для отримання харчових продуктів, кормів, ліків, сировини*. Усі культурні рослини походять від дикорослих видів, які в більшості своїй збереглись до нашого часу. Деякі предкові види вже не трапляються в природі, як наприклад дика кукурудза. За час існування людства в культуру введено близько 3 тисяч культурних рослин, серед яких зернові, зернобобові, плодово-ягідні, цукрові, олійні, овочеві, лікарські, декоративні, то-



Іл. 170. Популярні в Україні сорти яблуни домашньої (*Malus domestica*):  
1 – Голден делішес; 2 – Чемпіон; 3 – Ренет Симиренка; 4 – Флоріна

нізуючі та інші рослини. Крім того, введено в культуру близько десятка видів водоростей (наприклад, аквакультури ламінарій, порфіри, філофори, хлорели). Вирощуванням й розведенням культурних рослин займається рослинництво. Використання різних методів селекції дало змогу селекціонерам створювати сорти культурних рослин з підвищеною врожайністю, холодостійкістю, посухостійкістю, стійкістю проти захворювань, новими смаковими якостями тощо (іл. 170).

Отже, завдяки селекції відбуваються одомашнення тварин й введення в культуру рослин.

### Яке значення має вчення про походження культурних рослин і одомашнення тварин?

**Центри походження культурних рослин** – географічні центри генетичного різноманіття культурних рослин. Дослідження, пов'язані з походженням культурних рослин, здійснював видатний вчений М.І. Вавилов. У праці «Вчення про походження культурних рослин після Дарвіна» (1939) він визначив 7 основних географічних центрів походження культурних рослин, які безпосередньо пов'язані з осередками давніх цивілізацій. Це: 1) **Південноазійський** (33%) (огірок, лимон, кокос, чорний перець, чай, апельсин); 2) **Східноазіатський** (20%) (рис, просо, яблуна, груша, персик, соя, грецький горіх, хурма); 3) **Південно-західноазіатський** (4%) (м'які пшениці, ячмінь, жито, фінік, горох, диня); 4) **Середземноморський** (11%) (капуста, буряк, морква, олива, виноград); 5) **Абіссінський** (4%) (тверда пшениця, кава, бавовник, кунжут); 6) **Центральноамериканський** (10%) (кукурудза, квасоля, соняшник, гарбуз, какао); 7) **Андійський** (8%) (картопля, помідор, хінне дерево, ананас, арахіс).

Вчення про центри походження й різноманітності культурних рослин дало змогу встановити географічні осередки генетичного різноманіття культурних рослин.

Питання про центри походження свійських тварин вивчено значно слабше порівняно з культурними рослинами тому, що диких предків багатьох тварин було винищено людиною. Дослідники припускають, що країни Близького Сходу і побережжя Середземного моря були батьківщиною великої рогатої худоби, кіз, овець, свиней, собак, ослів, степові райони Азії і Європи – коней, Єгипет – кішок, Індія – курей, Північна Америка – індиків, Південна Америка – лам та ін.

Отже, центри походження рослин і тварин дають науковцям інформацію про вихідну різноманітність рослин і тварин, що є однією з умов успішного створення сортів і порід.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на розвиток пошукових умінь

Визначте географічне розташування центрів походження та виберіть приклади культурних рослин, що походять із названих центрів. Заповніть у робочому зошиті таблицю.

#### ЦЕНТРИ ПОХОДЖЕННЯ І РІЗНОМАНІТНОСТІ КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН

Назва	Географічне розташування	Батьківщина культурних рослин
1. Південноазійський		
2. Східноазійський		
3. Південно-західноазійський		
4. Середземноморський		
5. Абіссінський		
6. Центральнопівнічноамериканський		
7. Андійський		

### Біологія + Практика

Селекціонери створили найрізноманітніші сорти помідорів, що відрізняються забарвленням, розмірами плодів, термінами досягання тощо. Є серед них і сорти, створені для промислового вирощування. Вони рівномірно досягають, що спрощує і збір врожаю, але у таких сортів плоди мають гірші смакові якості. На цьому конкретному прикладі оцініть переваги й недоліки сучасної селекції.



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Культура

Культ коня існував в українців. Зокрема, вершниками були язичницький бог громовиці і блискавки Перун та християнський святий Юрій-Георгій. У легенді про віщого Олега написано, що кінь як священна істота міг принести і успіх, і смерть. У багатьох козацьких піснях, думках, переказах кінь є братом та бойовим товаришем козака. А яка історія одомашнення цієї тварини (або іншої на вибір учня)?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке селекція? 2. Назвіть методи селекції. 3. Наведіть приклад домашніх тварин і культурних рослин. 4. Що таке одомашнення й культурні рослини? 5. Що таке центри походження культурних рослин? 6. Назвіть основні центри походження культурних рослин.
7 – 9	7. Чому селекція є наукою? 8. Яке значення одомашнення тварин і введення в культуру рослин? 9. Яке значення має вчення про походження культурних рослин і одомашнення тварин?
10 – 12	10. Застосуйте знання для оцінювання переваг й недоліків сучасної селекції.

## § 62. МЕТОДИ СЕЛЕКЦІЇ

**Основні поняття й ключові терміни:** Добір. Гібридизація. Вихідний матеріал селекції.

**Пригадайте!** Що таке селекція?



### Вступна вправа

Пес свійський (*Canis familiaris*) – культигенна тварина, тобто група, що не має відповідного організму в дикій природі. У наш час існують близько 400 порід собак, які зовсім не схожі одна на одну, але все це породи одного виду. Зіставте назви службових порід пса з ілюстраціями: А – доберман-пінчер; Б – боксер; В – ротвейлер; Г – мастиф; Д – ризеншнауцер; Е – сенбернар. Що таке породи? Якими методами вивели ці породи?



### ЗМІСТ

#### Чим відрізняються породи, сорти й штами від диких видів?

Об'єктами і кінцевим результатом селекційного процесу є породи, сорти і штами як штучно створені людиною популяції організмів. **Порода тварин** – це сукупність особин певного виду тварин, яка має спадкові особливості. У породі має бути достатня кількість тварин, інакше обмежується можливість застосування добору, що швидко призводить до виродження породи. Тварин, подібних за особливостями, живою масою, продуктивністю, плодючістю та іншими ознаками, прийнято об'єднувати у певні групи (класи). Так, всі породи собак сьогодні поділяють на службові, мисливські, спортивні та декоративні (іл. 171).



Іл. 171. Ганноверський кінь – спортивна порода

**Сорт рослин** – сукупність рослин певного виду, які різняться спадковими особливостями. Кожен сорт рослин має унікальне найменування та зберігає свої властивості під час багаторазового вирощування (іл. 172).



Іл. 172. Сорт томатів Де-барао золотий

**Штами мікроорганізмів** – чиста культура певного виду мікроорганізмів, у якій вивчено морфологічні й фізіологічні особливості. Штами виділяють з різних джерел (ґрунту, води, харчових продуктів). Через те один і той самий вид бактерій, дріжджів, мікроскопічних грибів може мати велике



число штамів, що різняться за властивостями, наприклад за чутливістю до антибіотиків.

Чим породи, сорти й штами відрізняються від диких видів? У штучно створених людиною форм значно більша різноманітність ознак, аніж у їхніх диких родичів. Так, у домашніх тварин чи культурних рослин зберігаються майже всі прояви рядів мінливості ознак, у них зменшено або збільшено розміри тіла, зменшено або збільшено продуктивність чи врожайність. Селекційний процес уможливлює існування організмів з крайніми варіантами норми реакції (наприклад, з видовженими чи короткими ногами), з рецесивними проявами ознак, що не сприяють нормальній життєдіяльності (наприклад, відсутність шерсті у кішок породи сфінкси). Це пояснюється тим, що селекціонери цілеспрямовано здійснюють добір тих ознак, що є цікавими для людини, а для створених організмів вони некорисні чи навіть шкідливі, через що вони не здатні існувати без постійної уваги людини.

Отже, порода тварин, сорт рослин та штами мікроорганізмів є групами організмів, що штучно створені людиною.

### **В чому суть основних методів селекції?**

**Добір** – процес створення порід, сортів, штамів шляхом систематичного збереження особин з певними, цінними для людини, ознаками. На початкових етапах одомашнювання людина здійснювала несвідомий (стихийний) добір без чітко визначеної мети. Якщо ж селекціонер бажає отримати певний сорт чи породу і здійснює відбір особин із необхідними якостями, то це вже буде свідомий (методичний) добір. В селекції застосовують ще масовий та індивідуальний добір. *Масовий добір* здійснюється за фенотипом і забезпечує вибір особин за зовнішніми ознаками. Якщо добір зводиться до виділення особин і перевірки їхніх генотипів за аналізом нащадків, то це індивідуальний добір.

**Гібридизація** – це процес одержання нащадків внаслідок поєднання генетичного матеріалу різних клітин або організмів. Схрещування можливе як у межах одного виду (внутрішньовидова споріднена і неспоріднена гібридизація), так і між особинами різних видів (міжвидова гібридизація).

**Споріднена гібридизація (інбридинг)** – це внутрішньовидове схрещування близькоспоріднених форм, яке сприяє підвищенню гомозиготності нащадків. За цієї форми схрещування слід враховувати негативні наслідки: часте пригнічення життєдіяльності внаслідок переходу більшості генів у гомозиготний стан. **Неспоріднена гібридизація (аутбридинг)** – це внутрішньовидове схрещування ліній, сортів, порід, яке зазвичай сприяє підвищенню гетерозиготності нащадків. Одним із результатів неспорідненої гібридизації є явище гетерозису, або «гібридної сили», за якого перше покоління гібридів має підвищену життєздатність і продуктивність порівняно з вихідними батьківськими формами.

**Міжвидова (відалена) гібридизація** – схрещування особин, які належать до різних видів і навіть родів з метою поєднання у гібридів цінних комбінацій спадкових ознак. Ця форма гібридизації часто

супроводжується *безплідністю гібридів*, що зумовлено відсутністю можливості кон'югації між гомологічними хромосомами. Найвідомішими прикладами міжвидових гібридів є: *трітікале* (пшенично-житній гібрид), *культурна слива* (алича і терен), *бістер* (гібрид білуги і стерляді), *мул* (гібрид кобили та осла), *ішак* (гібрид ослиці та коня), *нар* (гібрид двогорбого та одногорбого верблюду), *зубробізон* (гібрид зубрів з бізонами) та ін. (іл. 173).



Іл. 173. Міжвидові гібриди: 1 – гібрид лева і тигриці (лігр), 2 – гібрид тигра та левиці (тайгон)

Отже, основними методами селекції є добір та гібридизація, спрямовані на відбір та схрещування організмів з цінними для людини спадковими ознаками.

### Якими є особливості та методи селекції рослин і тварин?

**Селекція рослин** – розділ селекції, що займається створенням нових та поліпшенням існуючих сортів культурних рослин. У багатьох рослин при розмноженні утворюється велика кількість насіння, яке дає значну кількість різних нащадків. Через те доцільним і ефективним є застосування *масового добору* за зовнішніми ознаками. В селекції застосовують усі форми *гібридизації*: споріднену – для отримання чистих ліній, неспоріднену – для створення гетерозисних сортів, міжвидову – для отримання віддалених гібридів (наприклад, *йошта* (гібрид смородини й агрусу), *логанбері* (малина й ожина), *неші* (гібрид яблуни й груші)). Для рослин властиве вегетативне розмноження, що дає змогу поєднувати ознаки сортів завдяки щепленню, зберігати сортові ознаки у нащадків. Наявність запилення дає змогу науковцям використовувати *метод суміші пилку* для подолання несхрещування рослин. Більшість рослин не мають статевих хромосом, що уможливорює застосування *методу поліплоїдизації*, завдяки якому отримують рослини зі збільшеною кількістю хромосом, що кратна гаплоїдному набору. Поліплоїдні рослини відрізняються більшими розмірами, високою врожайністю і активнішим обміном речовин. Поліплоїдію використовує також для подолання стерильності міжвидових гібридів, що вперше довів ще у 1924 р. Г. Д. Карпеченко на прикладі гібрида редьки (*Raphanus*) та капусти (*Brassica*). У рослин природним явищем є більша частота соматичних мутацій, тому селекціонери застосовують *метод штучного мутагенезу*, зумовлений спрямованою дією мутагенів для одержання індукованих мутацій.

**Селекція тварин** – розділ селекції, що займається створенням нових та поліпшенням існуючих порід домашніх тварин. Основні принципи селекції тварин не відрізняються від принципів селекції рослин. Нові породи тварин одержують на основі спадкової мінливості, застосовують *добір* й *гібридизацію*, на прояв ознак впливають умови середовища тощо. Проте є й особливості, що зумовлено природою організму тварин: наявність лише статевого розмноження, пізня

статева зрілість, нечисленне потомство, наявність статі та ін. Так, в зв'язку з нечисленними нащадками застосовують *індивідуальний добір*, для визначення спадкових якостей самців за ознаками, що у них не проявляються (наприклад, кількість чи жирність молока), застосовують *метод підбору плідників за нащадками*. Значно рідше застосовують *метод поліплоїдизації та віддаленої гібридизації*, оскільки статеві хромосоми впливають на можливість кон'югації гомологічних хромосом.

Отже, особливості розділів селекції пов'язані з особливостями будови та життєдіяльності груп організмів, з якими здійснюють селекцію.



### ДІЯЛЬНІСТЬ

#### Завдання на закріплення знань

За допомогою підручника в робочому зошиті визначте суть основних методів та заповніть таблицю.

Назва методу	Суть
1. Добір	
2. Гібридизація:	
3. Штучний мутагенез	
4. Поліплоїдизація	



### СТАВЛЕННЯ

#### Біологія + Рослиництво

Логанбері – малино-ожиневий гібрид, міжвидовий гібрид малини червоної і ожини садової. Характеризується відсутністю шипів, більшою масою ягоди, високою врожайністю, кращими смаковими якостями, декоративністю, меншою сприйнятливістю до хвороб, морозостійкістю. Генетики вважають такі гібриди дуже перспективним напрямом у селекції цих культур, вважаючи, що від ожини нові сорти успадковують високу врожайність, невибагливість до ґрунту та умов обробітку, а від малини – її зимостійкість і незначну колючість стебел. Оцініть переваги й недоліки використання людиною міжвидових гібридів.



### РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке порода, сорт і штам? 2. Наведіть приклади сортів рослин й порід тварин. 3. Що таке добір? 4. Що таке гібридизація? 5. Що таке селекція рослин? 6. Що таке селекція тварин?
7 – 9	7. Чим відрізняються породи, сорти й штами від диких видів? 8. Які основні методи селекції порід, сортів і штамів? 9. Які особливості й методи селекції рослин і тварин?
10 – 12	10. Доведіть, що схрещування в поєднанні з добром – найбільш ефективний шлях селекційної роботи.

## § 63. БІОТЕХНОЛОГІЯ

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

**Пригадайте!** Що таке генетика, молекулярна біологія, мікробіологія?



### **Поміркуйте!**

У світі виготовляють сотні сортів сиру, найвідомішими з яких є бринза, камамбер, рокфор, пармезан, чеддер, моцарела та ін. Їх тип, консистенція і аромат залежать від молока, бактерій і цвілевих грибів, обробки тощо. Ароматизаторами можуть слугувати трави, спеції, деревний дим. Чому сироваріння є біотехнологією?



### **ЗМІСТ**

#### **Чому сучасна біотехнологія є наукою?**

Біотехнологія виникла як *сукупність способів використання живих істот і біологічних процесів для промислового виробництва*. З найдавніших часів людина використовувала організми для випікання хліба, приготування кисломолочних продуктів, фарбування одягу тощо. Але лише завдяки дослідженням *Л.Пастера (1822–1895)* біотехнологія набула наукової основи. Цей французький науковець вивчав процеси бродіння, що є основою виноробства й пивоваріння, врятував шовківництво, виявивши причину хвороб шовкопряда, запропонував метод запобіжних щеплень для профілактики інфекційних захворювань, метод пастеризації для зберігання харчових продуктів тощо. У 40–50-ті роки ХХ ст., коли було здійснено біосинтез пеніцилінів, почалася ера антибіотиків, що дала поштовх розвитку *мікробіологічної промисловості*. У 60–70-ті рр. ХХ століття почала бурхливо розвиватися *клітинна інженерія*. Зі створенням у 1972 р. групою *П.Берга* в США першої гібридної молекули ДНК *in vitro* формально пов'язане народження *генетичної інженерії*. Загострення екологічних проблем стало причиною появи *екологічної інженерії*, спрямованої на отримання людиною чистої води, повітря, продуктів (іл. 174).

Сучасна біотехнологія як наука нерозривно пов'язана, в першу



Іл. 174. Схема основних напрямів сучасної біотехнології

чергу, з біологією, хімією, фізикою, технікою та інженерією. Її об'єктами є віруси, бактерії, гриби, клітини рослин, тварин, людини та біомолекули. Для досліджень у біотехнології застосовують найрізноманітніші методи, серед яких *метод культивування біооб'єктів у біореакторах* (ферментаторах), *метод вирощування клітинних чи тканинних культур* в особливих умовах, методи генетичної інженерії, методи мікробіологічного синтезу та ін.

За допомогою біотехнології можна отримати екологічно чисту й дешевшу продукцію, й тому вона витіснятиме обмежені ресурсами і екологічно шкідливі сучасні хімічні технології.

Отже, **БІОТЕХНОЛОГІЯ** – це комплекс наук, технічних засобів, методів, спрямованих на одержання і використання клітин мікроорганізмів, тварин і рослин, а також продуктів їхньої життєдіяльності у промисловості.

### Якою є сучасна біотехнологія?

Сучасна біотехнологія найширше застосовується в сільському господарстві, харчовій промисловості, медицині, фармакології та охороні природи. За рівнем організації біотехнологію можна умовно класифікувати за такими галузями:

- **нанобіотехнологія** – технологія наночастинок, що мають розміри від 1 до 100 нм (наприклад, технологія адресної доставки ліків за допомогою *ліпосом* – ліпідних бішарових структур, вміст яких є водним розчином речовини для лікування хвороб);
- **цитотехнологія** – клітинна технологія (наприклад, вирощування *гібридом* – клітинних гібридів В-лімфоцитів і ракових клітин меланоми для отримання моноклональних антитіл; отримання проти-вірусних білків-*інтерферонів* способом вирощування на штучному середовищі лейкоцитів периферійної крові людини; отримання людського *інсуліну* за допомогою клітин кишкової палички);
- **гістотехнологія** – тканинна технологія (наприклад, вирощування шкіри, органів для трансплантації, вирощування клітинних культур на поживних середовищах);
- **ембріотехнологія** – зародкова технологія (наприклад, пересаджування ембріональних стовбурових клітин пуповинної крові для лікування променевої хвороби; штучне запліднення й штучне осіменіння для подолання безпліддя й розведення зникаючих видів; репродуктивна технологія екстракорпорального запліднення);
- **біотехнологія культивування організмів** (наприклад, біотехнологія вирощування печериць й гливи, їстівних молюсків на устричних фермах, клонального мікророзмноження рослин);
- **біоінженерна технологія** із застосуванням технічного підходу (наприклад, тестування ДНК з використанням біочипів, створення штучних суглобів, кардіостимуляторів, апаратів ниркового діалізу чи серцевого кровообігу).

Отже, сучасна біотехнологія демонструє майже необмежені можливості використання організмів у різних галузях діяльності людини.

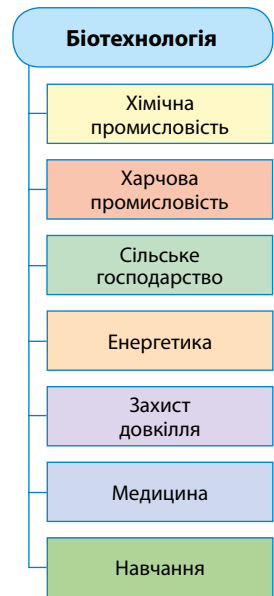
## Яке значення біотехнології?

Сучасна біотехнологія має величезні перспективи для вирішення екологічних проблем, ліквідації дефіциту їжі й боротьби з голодом, отримання сировини й енергії для промисловості, збереження здоров'я людини та ін. (іл. 175). За допомогою біотехнології здійснюються:

- одержання харчових продуктів (наприклад, кефірів, йогуртів, сухого молока, хліба, соків);
- отримання сортів рослин (наприклад, виведення сортів пшениці призвело до «зеленої революції» в Мексиці, створення сортів рису з вегетаційним періодом 120 днів значно поліпшило рівень життя населення Азії);
- отримання лікарських препаратів (наприклад, вакцин, антибіотиків, вітамінів, ферментів за допомогою грибів й бактерій);
- діагностика спадкових хвороб людини (наприклад, технології культивування лімфоцитів, діагностика ембріона на ранній стадії внутрішньоутробного розвитку, створення тест-систем для генної діагностики);
- розробка безвідходних технологій для очищення середовища (наприклад, використання бактерій для розкладу штучних полімерних матеріалів чи пестицидів);
- створення технологій отримання енергії (наприклад, використання метанобактерій для отримання біогазу, створення пального із цукрової тростини чи кукурудзи);
- отримання кормів для поліпшення умов вирощування сільськогосподарських тварин (наприклад, дріжджові гриби синтезують кормові білки із парафінів нафти);
- створення засобів догляду й захисту рослин (наприклад, створення бактеріальних добрив і біогумусу);
- створення тварин-біореакторів, що виробляють речовини для лікування хвороб (наприклад, корів чи кіз, які даватимуть з молоком білок для лікування інсультів).

Використання біотехнології може мати і негативні наслідки. Це шкідливий вплив на природу мутагенів, втрата біосистемами здатності до саморегуляції, зміна геномів організмів й генофонду популяцій та ін. Наслідками неконтрольованого поширення генетично змінених об'єктів у довкіллі може бути збільшення кількості стійких до антибіотиків мікроорганізмів, підвищення концентрації алергенів у природі, порушення рівноваги природних екосистем, підвищення рівня шкідливості мікроорганізмів, мутаційні зміни та поширення захворювань організмів тощо.

Отже, сучасна біотехнологія має величезні перспективи й переваги, але існує й реальна небезпека негативних наслідків від втручання людини в природні системи.



Іл. 175. Основні галузі застосування біотехнології



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Наведіть приклади, що підтверджують значення біотехнології у різних галузях діяльності людини.

### Біологія + Латина

У біології досить часто використовуються латинські вирази, що позначають особливості проведення досліджень. Зіставте найпоширеніші вирази із визначенням їхньої суті та отримайте прізвище угорського інженера, який у 1917 р. запропонував термін *біотехнологія*.

Галузь	Приклади
Медицина	
Сільське господарство	
Енергетика	
Фармацевтика	
Харчова промисловість	
Охорона природи	

1	2	3	4	5

1 <i>In vitro</i> («в склі»)	E <sub>2</sub> Проведення дослідів у живій тканині поза організмом у штучному середовищі (наприклад, вирощування стовбурових клітин у культурі)
2 <i>In vivo</i> («в живому»)	K Розгляд явища чи об'єкта на місці, в природних умовах, без перенесення в середовище (наприклад, гібридизація хромосом)
3 <i>Ex vivo</i> («з життя»)	I Розгляд явища чи об'єкта до народження (наприклад, ультразвукове дослідження плода)
4 <i>In situ</i> («на місці»)	E <sub>1</sub> Проведення дослідів поза організмом (наприклад, екстракорпоральне запліднення яйцеклітин поза межами організму)
5 <i>In utero</i> («в матці»)	P Проведення дослідів у живій тканині в живому організмі (наприклад, експерименти на лабораторних тваринах)



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Медицина

**Екстракорпоральне запліднення** (від лат. *extra* – ззовні, *corpis* – тіло) – репродуктивна технологія, що її використовують у випадках безпліддя. Синонімами є «запліднення *in vitro*», «штучне запліднення», в англійській мові позначається аббревіатурою *IVF (in vitro fertilisation)*. Засновниками технології є кембриджські дослідники Р.Едвардс і П.Стептоу.



В Україні безпліддя є серйозною проблемою: майже кожна п'ята пара – безплідна, причому 70% – це жіноче безпліддя, 20% – чоловіче. Яким є ваше ставлення до цієї та інших уже традиційних галузей біотехнології?



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке біотехнологія? 2. Укажіть основні напрями сучасної біотехнології. 3. Назвіть основні галузі використання біотехнології. 4. Назвіть основні групи біотехнології. 5. Наведіть приклади речовин, що їх одержують за допомогою біотехнології.
7 – 9	7. Чому сучасна біотехнологія є наукою? 8. Якою є сучасна біотехнологія? 9. Яке значення біотехнології?
10 – 12	10. Які позитивні та негативні наслідки біотехнології?

## § 64. ОСНОВИ ГЕНЕТИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**Основні поняття й ключові терміни:** ГЕНЕТИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ. Генотерапія.  
**Пригадайте!** Що таке селекція?



### Новини науки

Американські науковці вилікували двох самців мавп виду *саймірі звичайний* (*Saimiri sciureus*) від вродженого дальтонізму. Вчені зробили це за допомогою штучних вірусів, перемістивши ген людського білка йодопсину в клітини мавп. Ці результати мають практичне значення, оскільки стало зрозуміло, що можна здійснювати лікування дальтонізму і в людини. А який напрям науки займається такими дослідженнями?



### ЗМІСТ

#### Чим генетична інженерія відрізняється від класичної селекції?

Генетична інженерія – це дуже молодий напрям науки на межі молекулярної біології, генетики й біотехнології, метою якого є створення організмів із новими комбінаціями спадкових ознак. Народився цей напрям досліджень в 1972 р., коли **Пол Берг** уперше поєднав у пробірці ДНК вірусу SV40 (спричиняє появу пухлин у мавп) з ДНК бактеріофага лямбда (паразитуює в клітинах кишкової палички). Так було отримано першу рекомбінантну ДНК (рекДНК) – молекула ДНК, яка поєднує в собі генетичний матеріал, виділений з різних біологічних джерел. Це стало початком розробки біотехнології одержання рекДНК, що є основою генетичної інженерії. У своєму інтерв'ю на сайті Нобелівського комітету Пол Берг говорив: *«Не зовсім коректно називати мене батьком генної інженерії. Ми зробили лише перший крок на шляху до неї»*. Далі відбулись відкриття ферментів, що розрізають і зшивають ланцюги ДНК, методів визначення послідовності нуклеотидів ДНК (метод секвенування), методів клонування генів та ін. Ці дослідження дають змогу конструювати генетичні структури й отримувати організми з потрібними ознаками.



Іл. 176. Американський біохімік П. Берг (1926)

У чому ж переваги генетичної інженерії перед селекцією? Під час створення нових порід, сортів чи штамів селекція стикається з такими проблемами, як несхрещуваність видів, некерованість ззовні процесами рекомбінації ДНК, непередбачуваність комбінацій ознак серед нащадків та ін. Селекція у своїх дослідженнях спирається на добір ознак та внутрішньовидову гібридизацію. На все це витрачається дуже багато часу, використовуються різні мутагени для штучного мутагенезу і не завжди результати відповідають очікуваним сподіванням.



Перевагою генетичної інженерії є швидка, цілеспрямована і контрольована зміна ознак з використанням генетичного матеріалу не лише організмів одного виду, а й різних неспоріднених видів. Так, генетичні структури бактерій можуть переноситись у клітини рослин, а гени людини – у клітини бактерій. Методи генетичної інженерії дають змогу значно прискорити селекційні процеси: термін отримання нових форм організмів скоротився до 3–4 років замість 10–12 років, необхідних із застосуванням методів селекції. І ще одна перевага полягає в тому, що генетична інженерія досліджує процеси рекомбінації й отримання нових генетичних структур *поза організмом*, оскільки молекулярна біологія довела, що природні механізми збереження стабільності геному змінити неможливо і небезпечно.

Поняття «генетична» та «генна» інженерія часто вживаються як синоніми, хоча перший із них ширшим і передбачає маніпуляції не лише з окремими генами, а й з більшими фрагментами геному, включаючи цілі хромосоми.

Отже, **ГЕНЕТИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ** – напрям науки, метою якого є створення генетичних структур та організмів з новими комбінаціями спадкових ознак.

### Які методи генетичної інженерії?

Для створення організмів з генетично зміненою спадковістю в генетичній інженерії застосовують специфічні ферменти та методи (іл. 177).

Для отримання генів, їх поєднання з векторами (плазмідами чи вірусами) в генетичній інженерії використовують ферменти: *ревертази* (ферменти, які каталізують синтез нитки ДНК на матриці іРНК), *рестриктази* (ферменти, які розрізають нуклеотидні послідовності в певних місцях), *лігази* (ферменти, які поєднують нуклеотидні послідовності). Основними методами генетичної інженерії є: 1) *методи отримання генетичного матеріалу* (для отримання генів шляхом хімічного чи матричного синтезу, виділення природних генів із геномів, створення рекДНК); 2) *методи копіювання і розмноження генів* (для розмноження молекул ДНК у складі плазмід чи молекул ДНК вірусів); 3) *методи перенесення і вклю-*



Іл. 177. Окремі етапи створення трансгенного сорту кукурудзи

чення генетичного матеріалу в геном (для перенесення генів за участі плазмід-векторів, вірусів-векторів чи за допомогою ліпосом).

Отже, сутність сучасних досліджень генетичної інженерії полягає в тому, що рекомбінацію генів здійснюють *in vitro*, потім спрямовано переносять генетичні структури в клітини організму, далі закріплюють ці гени в ДНК та забезпечують передачу інформації.

### Яка роль генетичної інженерії у сучасних біотехнології і медицині?

Завдяки генетичній інженерії особливо швидко розвиваються сільськогосподарський та медичний напрями досліджень.

В сільському господарстві генетична інженерія відкрила перспективи створення трансгенних організмів із заздалегідь запланованими властивостями. За останні 15 років пройшли польові випробування близько 25 000 різних трансгенних культурних рослин. Для поліпшення властивостей культур науковці намагаються зробити їх стійкими до засухи, заморозків, шкідників, а також щоб могли фіксувати азот. Розвинуто індустрію трансгенних тварин, які широко використовуються для наукових цілей, як джерело органів для трансплантації, як виробники білків, для тестування вакцин та ін. Одним з найперспективніших напрямів є «вирощування ліків на фермі» – отримання з молока трансгенних тварин великої кількості білків, що застосовуються у медицині. За участі штамів мікроорганізмів вже сьогодні отримують *інсулін, інтерферони, гормон росту, ферменти, вітаміни, вакцини, антитіла* та ін.

Генетична інженерія допомагає медикам боротися з хворобами. Розвивається **генотерапія** – 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*. 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.

Нині у світі близько 400 проектів проходять клінічні випробування, серед яких проекти лікування гемофілії та пухлин мозку вже на завершальному етапі.

З метою запобігання інфекційним хворобам створюються **ДНК-вакцини** – генетичні структури, що після введення в клітину забезпечують синтез білків, призначених для формування імунних реакцій – гуморального та клітинного імунітету.

Зазначимо, що генетична інженерія може призвести до утворення небезпечних типів ДНК. Через те усім спеціалістам, які проводять дослідження та впроваджують у життя здобутки генетичної інженерії, слід мати на увазі теоретичний ризик того, що штучно створені генетичні структури можуть сприяти виникненню небезпечних організмів з непередбаченою інфекційністю й негативним впливом на екологію.

Отже, генетичні структури, створені за допомогою генетичної інженерії, можуть значною мірою сприяти розв'язуванню проблем людства.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

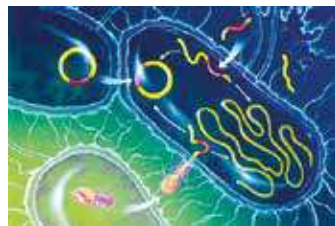
Завдяки генетичній інженерії нині застосовуються різні біосинтетичні речовини. Зіставте назви цих речовин із їхніми визначеннями та отримайте прізвище науковця, який розробив метод визначення послідовності нуклеотидів ДНК.

1	2	3	4	5	6

1 Інсулін	E <sub>2</sub> Речовини, які формують специфічний гуморальний імунітет
2 Ціанкобаламін	Г Речовини, які формують неспецифічний гуморальний імунітет
3 Соматотропін	С Гормон підшлункової залози, що регулює вміст глюкози в крові
4 Інтерферони	Н Гормон гіпофіза, що впливає на ріст організму
5 Антитіла	Р Препарати, за участі яких формується штучний активний імунітет
6 Вакцини	E <sub>1</sub> Водорозчинний вітамін, що необхідний для кровотворення

### Біологія + Фізика

Векторами в генетичній інженерії називають молекулу нуклеїнової кислоти, що здійснює доставку генетичного матеріалу до клітини та забезпечує його реплікацію чи експресію. Векторами найчастіше слугують плазмиди (кільцеподібні молекули ДНК) та молекули ДНК бактеріофагів. Що таке вектори в фізиці?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Здоров'я

Картопля – одна із найпопулярніших у нашій країні культур. На жаль, велика кількість її врожаїв втрачається через колорадського жука. Це змушує землеробів використовувати різноманітні хімічні засоби. Генетична інженерія поставила за мету створити високоврожайні та стійкі до колорадського жука сорти картоплі. Застосуйте свої знання та оцініть переваги та можливі ризики застосування таких сортів картоплі для здоров'я людини.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке генетична інженерія? 2. Хто є батьком генетичної інженерії? 3. Назвіть основні методи генетичної інженерії. 4. Які основні етапи генетичної інженерії трансгенних організмів? 5. Що таке генотерапія? 6. Що таке ДНК-вакцини?
7 – 9	7. Чим генетична інженерія відрізняється від класичної селекції? 8. Як створюються організми з новими ознаками? 9. Яка роль генетичної інженерії у біотехнології та медицині?
10 – 12	10. Оцініть на конкретному прикладі переваги та можливі ризики застосування трансгенних сортів рослин для здоров'я людини.

## § 65. ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ (ГМО)

**Основні поняття й ключові терміни:** ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ. Генетично модифіковані харчові продукти.

**Пригадайте!** Що таке генетична інженерія?



### Поміркуйте!

У одному із законопроектів Верховної Ради України пропонується встановити, що суб'єкти господарювання, які вводять в обіг харчові продукти з ГМО, повинні відображати на етикетці продукту інформацію про наявність у них ГМО, якщо їх частка перевищує 0,9 %. Згідно з чинними нормами усі харчові продукти мають маркуватися написом «З ГМО» або «Без ГМО». Що це за маркування і для чого його використовують?



### ЗМІСТ

#### Як отримують генетично модифіковані організми?

Генетично модифіковані організми стали реальністю з кінця 1970 рр., коли з'явилися перші бактерії із вбудованими генами *інсуліну*. Це була перша спроба використання ГМО з метою терапії людини білками-продуктами. Для цього в геном кишкової палички вбудували ген людського інсуліну. В результаті невибагливі й дешеві в утриманні бактерії синтезують людський інсулін, який для людини не є чужорідною речовиною. І ось вже майже 40 років препарати штучного інсуліну активно використовують в усьому світі.

Генетична модифікація відрізняється від природного та штучного мутагенезу спрямованістю змін генотипу. При цьому генетичний матеріал переносять з одного організму в інший, застосовуючи *технологію рекомбінантних ДНК*. Створення рекДНК відбувається завдяки *методам молекулярного клонування* – отриманню багатьох копій молекули ДНК *in vivo*. Під час використання цих вже класичних методів поруч із вбудованим геном, як правило, вставляється маркер. Маркерами можуть бути, наприклад, гени флуоресцентних білків, світіння яких помітне в ультрафіолетовому випромінюванні.

Генетично модифіковані організми за переважною більшістю ознак не відрізняються від вихідних форм, не мають відхилень, здатні до повноцінного розмноження і, що є важливим для людини, передають вбудовані в них спадкові характеристики наступним поколінням.

Отримані трансгенні організми вирощують спочатку в лабораторії, потім на дослідних майданчиках і після серій обов'язкових тестів на безпеку, які тривають протягом декількох років, рекомендують до випуску на ринок.

Отже, **ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ (трансгенні організми)** – організми, які мають у складі свого геному чужорідні гени інших організмів.

## Яке значення генетично модифікованих організмів?

Широкомасштабне використання трансгенних організмів розпочалося 1996 р. Для охорони природи, в харчовій промисловості, в медицині використовуються *трансгенні мікроорганізми*, які:

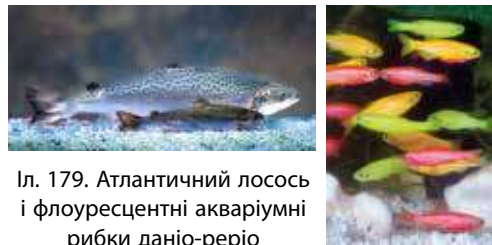
- розкладають нафту після техногенних катастроф (штами метано-бактерій);
- синтезують кормові білки, ліки (інсулін, інтерферони);
- продукують антибіотики (пеніциліни, цефалоспорины, стрептоміцини, що синтезують цвілеві гриби з родів Пеніциліум та Цефалоспоріум, бактерії роду Стрептоміцети);
- продукують закваски для виготовлення біокефірів та біойогуртів (штами молочнокислих бактерій) та ін.

Для потреб сільського господарства, медицини, садівництва створено *трансгенні рослини*, серед яких переважають генетично модифіковані сільськогосподарські рослини: соя (54%), кукурудза (28%), бавовна й ріпак (по 9%), картопля (до 1%). Крім зазначених культур на незначних площах вирощують генетично модифіковані сорти помідорів, гарбуза, тютюну, буряку, льону. Вже створено й проходять випробування та процедуру реєстрації трансгенні сорти рису і пшениці. Завдяки генетичній інженерії отримують культурні сорти, які є стійкими до комах-шкідників (ген ендотоксину бактерій *Bacillus thuringiensis* робить картоплю неїстівною для колорадського жука), до гербіцидів (гени агробактерій роблять їх стійкими до хімічних препаратів), до морозів (бактерії «*ice-minus*», що живуть у рослинах для запобігання утворенню кристалів льоду). Є й серед трансгенних рослин лікарські й декоративні (*іл. 178*).

Одним із найважливіших завдань генетичної інженерії є створення *трансгенних тварин* з підвищеною продуктивністю і стійкістю до захворювань, які застосовуються в тваринництві і медицині. Створюються тварини-біореактори, які виробляють продукти медичного значення. Трансгенні миші в медицині дають важливу інформацію про розвиток захворювань, що дуже важливо для генотерапії. Виведено генетично модифікованих риб, які використовуються як домашні тварини (наприклад, флуоресцентні рибки даніо-реріо (*Danio rerio*) чи у рибних господарствах (*іл. 179*). Так, особини атлантичного лосося із вбудованим в геном додатковим гормоном росту від чавичі значно більші за звичайних і вдвічі швидше досягають товарної маси.



Іл. 178. У 2004 р. створено генетично модифікований сорт троянд *Blue Moon*



Іл. 179. Атлантичний лосось і флуоресцентні акваріумні рибки даніо-реріо

Отже, генетично модифіковані організми застосовуються в сільському господарстві, харчовій промисловості, медицині та охороні природи.

## Які можливі ризики використання генетично модифікованих харчових продуктів?

**Генетично модифіковані харчові продукти** – це харчові продукти, отримані з генетично модифікованих організмів. Чи є безпечними продукти з ГМО? Дискусії з цього приводу не вщухають.

Одним з можливих ризиків вживання генетично модифікованої їжі розглядається її потенційна *алергенність*. Якщо новий ген вбудовують в геном організму, то кінцевим результатом є синтез у рослині нового білка, який може бути новим у раціоні. Але кожен генетично модифікований продукт, перш ніж потрапить до споживача, проходить процедуру оцінювання його алергійного потенціалу. Якщо продукт у процесі розробки виявляє алергійні властивості, то запит на комерціалізацію може бути відкликано. Наприклад, у 1996 р. компанія *Pioneer Hi-Bred* розробляла кормову сою з підвищеним умістом амінокислоти метіоніну. Для цього використали ген бразильського горіха, який, як згодом виявилось, чинив алергійну дію. Алергія, викликана білком бразильського горіха (*Bertholletia excelsa*) в модифікованій сої, була такого самого характеру, як і алергічна реакція на звичайні бразильські горіхи. В даному випадку всьому виною був сильний алергенний білок горіха.

Існує теоретична небезпека *горизонтального перенесення чужих генів* у геном людини. Досліди на мишах засвідчують, що фрагменти неперетравленої ДНК будь-якої їжі можуть проникати в кров, потрапляти в печінку і навіть проникати крізь плацентарний бар'єр. Але жодного випадку вбудовування генів чужорідної ДНК у геном потомства не спостерігалось.

Існують у суспільстві й погляди про *негативний вплив трансгенних рослин на довкілля*. Для прикладу наводять дослідження про те, що в лабораторних умовах згодовування пилку Bt-кукурудзи гусеницям метелика монарха уповільнює ріст та підвищує смертність личинок. Однак глибші й ширші дослідження щодо оцінювання ризику показали, що вплив пилку Bt-кукурудзи на популяцію метелика монарха в природних умовах є дуже низьким.

Таким чином, можливі ризики щодо використання ГМО є в суспільстві значно перебільшеними. Вчені-біохіміки, фізіологи і молекулярні біологи Національної академії наук США і ще 11 наукових спільнот з різних країн світу, лауреати Нобелівських премій стверджують, що з наукового погляду не існує жодної відмінності між рослинами, отриманими з використанням генної інженерії, і рослинами, виведеними традиційними методами селекції.

Отже, проблеми безпеки та застосування ГМО мають розв'язуватися на рівні індивідуального продукту – за допомогою різних тестів, які підтверджують відповідність досліджуваної продукції існуючим стандартам і нормам.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Нещодавно науковці вивели генетично модифікований сорт помідорів. Унаслідок високого вмісту антоціанів ці помідори мали неприродний фіолетовий колір. Такі помідори мають тривалий термін зберігання, стійкі проти «сірої гнилі», показали протираковий ефект в дослідженнях на мишах. А чому цей сорт є генетично модифікованим?



### Біологія + Сільське господарство

Рис золотий – генетично модифікований сорт рису посівного (*Oryza sativa* L.). Для модифікації рису посівного було взято два гени: ген *psy* від нарциса (*Narcissus pseudonarcissus*) і ген *crt1* від ґрунтової бактерії (*Erwinia uredovora*). Рослини можуть синтезувати й накопичувати в ендоспермі бета-каротин,



що є попередником вітаміну А. За даними ЮНІСЕФ, дефіцит цього вітаміну є причиною смерті від 1 до 2 млн осіб щорічно. А яке значення вітаміну А в організмі людини?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Практика

Порівняйте переваги та ризики використання генетично модифікованих організмів та генетично модифікованих харчових продуктів та висловіть власні судження про можливість використання трансгенних організмів діяльності людини.

Переваги	Можливі ризики



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Які організми є генетично модифікованими? 2. Наведіть приклади ГМО. 3. Наведіть приклади речовин (продукції), які одержують із ГМО. 4. Назвіть галузі діяльності людини, в яких ГМО застосовується найширше. 5. Що таке генетично модифіковані харчові продукти? 6. Наведіть основні ризики використання ГМО
7 – 9	7. Як отримують ГМО? 8. Яке значення ГМО? 9. Які можливі ризики використання генетично модифікованих харчових продуктів?
10 – 12	10. Поміркуйте про можливість використання трансгенних організмів.

## § 66. КЛІТИННА ІНЖЕНЕРІЯ

**Основні поняття й ключові терміни:** КЛІТИННА ІНЖЕНЕРІЯ. Клонування організмів.

**Пригадайте!** Що таке біотехнологія?



### Новини науки

Вирощення кісток із стовбурових клітин – результат дослідницької роботи лікарів і біологів Донецького інституту невідкладної і відновної хірургії ім. В.К. Гусака. На сьогодні команда спеціалістів працює в Києві, ставлячи на ноги поранених бійців. Методику, що ґрунтується на клітинній інженерії, розробив В.Оксимець спільно з Д.Зубовим та Р.Васильєвим. Що ж таке клітинна інженерія?



### ЗМІСТ

#### Чим займається клітинна інженерія?

**КЛІТИННА ІНЖЕНЕРІЯ** – це галузь науки, завданням якої є створення нових клітин та отримання тканин, органів й організмів з клітинного матеріалу. «Клітинна», тому що маніпуляції здійснюються з окремими клітинами, а «інженерія» – конструюються нові клітини на основі їхньої гібридизації, реконструкції та культивування. Перевагами клітинної інженерії є те, що вона дає змогу експериментувати з клітинами, а не з цілими організмами, і навіть отримувати з клітин тканини та організми із заданими властивостями. Так, у вищезгаданому прикладі кісткову тканину й кістки вирощують зі стовбурових клітин, виділених із кісткового мозку чи жирової тканини.

До недавнього часу клітинну інженерію вважали лише методом біотехнології чи галуззю генетичної інженерії. Початок стрімкого розвитку клітинної інженерії відносять до 1960-х років, коли було створено перші гібридні клітини (Б.Ефруссі, Г.Харріс, П.Карлсон) та перші методи конструювання клітин нового типу.

Основними методами сучасної клітинної інженерії є:

- **метод гібридизації соматичних клітин** – поєднання соматичних клітин різних тканин або організмів для отримання нових комбінацій ознак;
- **метод культури клітин (тканин)** – виділення й пере-



Іл. 180. Схема створення химерних мишей методом злиття ембріонів



несення клітин з організму на поживні середовища для отримання культури клітин. **Клітинні культури** – це генетично однорідні популяції клітин, що ростуть у сталих умовах середовища. Метод використовується для визначення мутагенної дії чинників довкілля, діагностики захворювань, картування хромосом, вирощування стовбурових клітин, отримання калюсних культур;

- **метод злиття ембріонів на ранніх стадіях** – для створення химерних організмів (наприклад, химерних мишей) (іл. 180);
- **метод клонування організмів** – отримання із застосуванням нестатевих способів розмноження клонів, що складаються з генетично однорідних клітин.

Отже, клітинна інженерія як наукова галузь займається конструюванням клітин і організмів із заданими властивостями.

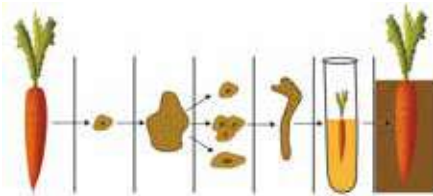
### Які досягнення клітинної інженерії?

Найвідомішим досягненням клітинної інженерії є *технології моноклональних антитіл*. Поєднують пухлинні клітини і лімфоцити та отримують *гібридоми*, що мають властивості обох батьківських клітинних ліній: подібно до ракових клітин вони здатні необмежений час ділитися, подібно до лімфоцитів – синтезувати моноклональні антитіла певної специфічності, що їх застосовують у медицині.

Основною метою сучасних досліджень клітинної інженерії є *технологія вирощування органів людини*. В Україні розроблено й застосовуються в повсякденній практиці технології відновлення судин, вирощування шкіри, кісток, хрящів на основі застосування стовбурових клітин пуповинної крові.

Поєднання клітин різних видів чи різних зародків на ранніх стадіях їхнього розвитку є основою *технології отримання химерних клітин і химерних організмів*. Отримання та дослідження химерних клітин (наприклад, гібридних клітин миші й курки, людини й миші) використовують для картування генів, вивчення сумісності тканин у разі трансплантації органів, розуміння причин виникнення пухлин тощо. **Химерні організми (химери)** – організми, в яких тканини складаються зі спадково неоднакових клітин або клітинних систем. У природі химерні організми зазвичай виникають унаслідок соматичних мутацій чи порушення мітозу (природні химери, що їх називають мозаїками). Штучні химери отримують завдяки тканинній трансплантації у тварин або щеплення у рослин.

У фармацевтичній промисловості широкого поширення набула *технологія рослинних клітинних культур* (іл. 181). Для цього групу клітин з рослини (бруньки, стебла тощо) поміщають у стерильне поживне середовище, де вони «омолоджуються» і починають посилено розмножуватися й рости. Внаслідок поділу клітин виникає своєрідна тканина, яка називається *калюсною*. З неї,



Іл. 181. Отримання моркви методом культури тканин

наприклад, можна виростити на живильному середовищі велику кількість клітин женьшеню, родіоли рожевої, діоскореї, які є джерелом лікарських речовин.

У селекції рослин застосовується *технологія клонального мікророзмноження рослин*. Цим способом із невеликих частин рослини отримують до 1 млн рослин на рік. Клональне мікророзмноження використовують для оздоровлення та швидкого розмноження рідкісних, цінних та новостворених сортів культурних рослин. Таким шляхом вже отримують картоплю, грецький горіх, виноград, садові суниці, ремонтантні сорти малини, ожини.

Отже, досягнення клітинної інженерії використовують для розв'язування широкого кола теоретичних й практичних проблем біології, медицини, сільського господарства, селекції.

### Чому клонування організмів є методом клітинної інженерії?

**Клонування організмів** (від грец. *клон* – гілка) – отримання багатьох ідентичних за формою і функціями генетично однакових нащадків однієї клітини або одного організму. У випадку одноклітинних організмів цей процес є достатньо простим. Однак для клонування багатоклітинних організмів потрібно докласти значно більше зусиль – це набагато важче завдання. Крім того, такі клітини розвиваються дуже повільно у звичайних умовах. Основою клонування є явище **тотипотентності** – здатність однієї клітини багатоклітинного організму давати початок цілому новому організму шляхом поділу. Технологія пересаджування ядер соматичних клітин в яйцеклітину, з якої власне ядро було вилучене, й наступні вирощування та отримання організму набула широкого застосування як *соматичне клонування*. У 1996 р. генетикам з Рослінського інституту, що біля Единбурга (Шотландія), вдалося створити першу в світі тварину шляхом клонування – легендарну вівцю Доллі. При цьому вчені використали клітину молочної залози дорослої вівці як донора ядра, з яйцеклітини вилучили власне ядро і замінили ядром клітини молочної залози однієї і тієї самої вівці. Потім виростили бластоцисту і пересадили її до матки тієї самої вівці. І ця вівця народила «доньку» на ім'я Доллі, яка була клоном материнського організму (іл. 182). Була також клонована трансгенна вівця Поллі з активним геном одного з чинників зсідання крові людини, при цьому продукт цього гена виділявся з молоком. Під час клонування кіз було створено ГМО, у яких активно працював ген людського тромбіну. Таким чином, клоновані трансгенні організми можуть слугувати живим «фармацевтичним заводом», який природним шляхом виробляє ті чи інші речовини, що їх використовують для лікування захворювань людини.



Іл. 182. Послідовність етапів клонування вівці Доллі

У клітинній інженерії розрізняють ще *ембріональне клонування*. Великий науковий інтерес становлять дослідження з утворенням химерних ембріонів шляхом поєднання бластомерів, взятих із зародків різних організмів. Вчені вже виростили перші в світі ембріони-химери, що складаються з клітин людини й свині. Ці ембріони можуть допомогти створити технологію вирощування людських органів всередині тварин.

Отже, клонування організмів пов'язане з маніпуляціями на рівні клітин для отримання нащадків однієї клітини або одного організму.



## ДІЯЛЬНІСТЬ

### Завдання на застосування знань

Наведіть приклади найпоширеніших на сьогодні цитотехнологій, галузей діяльності людини та проблем, на розв'язування яких націлено ці досягнення клітинної інженерії. Заповніть таблицю в робочому зошиті.

Цитотехнологія	Галузь	Проблеми
1.		
2.		

## Біологія + Практика

Як показує життя, в природі можливо все. Наприклад, ось таке миле й симпатичне створіння на прізвисько Венера. Забарвлення шерсті Венери створено самою природою. Однак крім забарвлення мордочки у Венери ще й різні очі! Одне око рудувате, а інше – небесно-блакитне. Як могло виникнути в природі таке створіння?



## СТАВЛЕННЯ

### Біологія + Наука

Доктор Мічіо Кайку в своїй праці «Фізика майбутнього» писав: *«У майбутньому продовження тривалості життя не залежатиме від легендарного фонтану молодості. Імовіріше, цього досягнуть, поєднуючи такі методи: вирощування нових органів на заміну старим, що зносилися чи захворіли, за допомогою клітинної інженерії і стовбурових клітин»*. Застосуйте знання та оцініть перспективи та наслідки розвитку клітинної інженерії.



## РЕЗУЛЬТАТ

Оцінка	Завдання для самоконтролю
1 – 6	1. Що таке клітинна інженерія? 2. Назвіть методи клітинної інженерії. 3. Наведіть приклади цитотехнологій. 4. Хто такі химерні організми? 5. Що таке клонування? 6. Наведіть приклади клонованих організмів.
7 – 9	7. Чим займається клітинна інженерія? 8. Які досягнення клітинної інженерії? 9. Чому клонування організмів є методом клітинної інженерії?
10 – 12	10. Які перспективи розвитку клітинної інженерії?

## Самоконтроль знань

### Тест-оцінювання 9. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

- I. Виберіть один правильний варіант відповіді (1 бал за правильну відповідь).**
1. Хто із науковців є автором виразу: «Селекція – це еволюція, яка спрямовується волею людини»?  
**А** Ч. Дарвін      **Б** М. І. Вавилов      **В** Г. Д. Карпеченко      **Г** І. В. Мічурін
2. Що відбувається з плодючістю віддалених гібридів?  
**А** збільшується      **Б** не змінюється  
**В** зменшується      **Г** вони, зазвичай, безплідні
3. Чому біологічним наслідком спорідненого схрещування є послаблення або навіть виродження нащадків?  
**А** у гомозиготних організмів зростає ймовірність прояву домінантних алелів  
**Б** у гомозиготних організмів збільшується ймовірність прояву летальних алелів  
**В** зменшення резерву спадкової мінливості  
**Г** посилення генетичного потоку генів
4. Який термін запропонував в 1917 р. угорський інженер К. Ерекі, коли описував процес виробництва свинини?  
**А** генотерапія      **Б** біотехнологія  
**В** генна інженерія      **Г** химерний організм
5. Назвіть ферменти для поєднання (зшивання) нуклеотидних послідовностей.  
**А** лігази      **Б** ліази      **В** ревертази      **Г** рестриктази
6. Технологія штучного запліднення для подолання безпліддя належить до  
**А** цитотехнології      **Б** гістотехнології  
**В** ембріотехнології      **Г** технології клонування
7. Чим відрізняються трансгенні організми від химерних?  
**А** містять генетично різнорідні клітини      **Б** містять чужорідні для цього виду гени  
**В** містять генетично однорідні клітини      **Г** містять модифіковані клітини організму
8. Чим відрізняється клітинна інженерія від генної?  
**А** припускає втручання в генетичний апарат і створює реДНК  
**Б** не припускає втручання в генетичний апарат і створює рекомбінантні клітини  
**В** не припускає втручання в генетичний апарат і створює реДНК  
**Г** припускає втручання в генетичний апарат і створює рекомбінантні клітини
- II. Установіть відповідність (2 бали):**
9. Центр походження рослин      Види рослин  
**1** Середземноморський      **А** Вишня, яблуня, соя  
**2** Передньоазійський      **Б** Груша, абрикос, горох  
**3** Середньоазійський      **В** Диня, виноград, інжир  
**4** Китайський      **Г** Маслини, буряк, цибуля  
**Д** Гарбуз, квасоля, кукурудза
10. Назва міжвидового гібрида      Вид, який їх утворив  
**1** бістер      **А** гібрид між левом-самцем і тигром-самкою  
**2** лігр      **Б** гібрид між самкою осла і самцем коня  
**3** мул      **В** гібрид білуги і стерляді  
**4** ішак      **Г** гібрид яка і великої рогатої худоби  
**Д** гібрид між самкою коня і ослом-самцем

## УЗАГАЛЬНЕННЯ КУРСУ

### Аксиоми – це концентрований досвід людства.

Б. А. Медніков

*Аксиома* (від грец. *аксіома* – загальноприйняте) – основні вихідні положення теорії, що приймаються без доведень і з яких логічними засобами одержують весь інший її ЗМІСТ. У переносному значенні те, що не потребує жодних доведень. Біологія також має свої аксиоми, які визначають загальні властивості біологічних систем.

1. Усі живі організми являють собою єдність фенотипу і програми для його побудови (генотипу), яка передається спадково з покоління в покоління (аксіома А. Вейсмана).
2. Генетична програма створюється матричним шляхом. Як матриця, на якій вибудовується ген майбутнього покоління, використовується ген попереднього покоління (аксіома М. К. Кольцова).
3. У процесі передачі з покоління в покоління генетичні програми з різних причин змінюються випадково й нецілеспрямовано, і лише випадково такі зміни можуть виявитися вдалим в даному середовищі (1-ша аксіома Ч. Дарвіна).
4. Випадкові зміни генетичних програм у процесі становлення фенотипу багаторазово посилюються (аксіома М. В. Тимофеева-Ресовського).
5. Багаторазово посилені зміни генетичних програм зазнають добору, який здійснюють умови зовнішнього середовища (2-га аксіома Ч. Дарвіна).



Аксиоми біології визначають всі основні властивості живої природи.

Живі організми мають ознаки й властивості, яких немає в більшості неживих систем. Переважна більшість із них окремо трапляється й у неживих системах. Однак лише всі разом узяті, вони характеризують особливу форму руху матерії – життя. Перелічимо основні властивості й ознаки живого на основі структурно-функціонального підходу.

Основні загальні властивості живих систем	
Структурна організація	Функціональна організація
1. Єдність хімічного складу	1. Обмін речовин, енергії та інформації
2. Клітинна будова	2. Саморегуляція
3. Рівневість	3. Самовідтворення
4. Дискретність (перервність) – живі системи складаються з окремих частин	4. Самооновлення
5. Цілісність – біосистеми є єдиним цілим взаємозалежних і взаємодіючих частин	5. Ріст
	6. Індивідуальний розвиток (онтогенез)
	7. Подразливість
	8. Пристосованість
	9. Історичний розвиток (філогенез)

Живій матерії властиві різні рівні організації її структур, між якими існує складна супідрядність. Виокремлюють такі основні структурні рівні життя.

**Молекулярний рівень.** Якою складною не була б жива система, в кінцевому підсумку до її складу входять біологічні макромолекули. Саме тут проходить межа між живим і неживим. Із цього рівня починаються процеси життєдіяльності: обмін речовин і перетворення енергії, передача й реалізація спадкової інформації та ін.

**Клітинний рівень.** Клітина є структурною і функціональною одиницею всіх живих організмів, а також одиницею їхнього розвитку. На цьому рівні поєднуються процеси перетворення речовин та енергії, а також процеси передачі й реалізації спадкової інформації.

**Організмний рівень.** Елементарною одиницею цього рівня є особина. Тканини, органи й системи органів існують не самі по собі. Виникаючи й формуючись у процесі онтогенезу, вони спеціалізуються на виконанні певних функцій, що спільно забезпечують існування організму як єдиного цілого. У такий спосіб онтогенетичний рівень забезпечує існування особини в процесі індивідуального розвитку, тобто від моменту зародження до припинення існування.

**Популяційно-видовий рівень.** Об'єднання особин у популяції, а популяцій – у види приводить до появи нових властивостей, відмінних від властивостей попередніх рівнів організації. Популяції і види як надорганізмові утворення можуть існувати упродовж тривалого часу, а також здатні до самостійного історичного розвитку. На цьому структурному рівні організації живої матерії безпосередньо починається процес еволюції органічного світу.

**Екосистемний рівень.** Популяції різних видів завжди співіснують у певному середовищі, яке містить як біотичні, так і абіотичні компоненти. Таке поєднання організмів різних видів і різної складності організації з чинниками середовища їх існування являє собою біогеоценоз (екосистему), яка є ареною еволюційних перетворень.

**Біосферний рівень.** Екосистеми, поєднуючись, утворюють біосферу – систему, яка охоплює всі явища життя на Землі. На цьому рівні відбувається біологічний колообіг речовин і перетворення енергії, пов'язані із життєдіяльністю всіх організмів.

Кожний з перелічених рівнів має свої закономірності й методи дослідження, отже, є досить специфічним. Те, що можна виокремити певні рівні організації живої матерії, свідчить про її дискретність. У той самий час усі ці рівні тісно пов'язані між собою, що свідчить про єдність живої природи.



## ЗМІСТ

Як працювати з підручником? .....	3
<b>ВСТУП</b>	
§ 1. Біологія як наука .....	4
§ 2. Біологічні системи. Біологічне пізнання .....	8
<b>Тема 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ ТА БІОЛОГІЧНІ МОЛЕКУЛИ</b>	
§ 3. Хімічний склад клітини. Неорганічні сполуки .....	12
§ 4. Вода та її властивості .....	16
§ 5. Органічні молекули живого. Біополімери .....	20
§ 6. Вуглеводи: властивості та роль .....	24
§ 7. Ліпіди: властивості та біологічна роль .....	28
§ 8. Білки, їхня організація та функції .....	32
§ 9. Нуклеїнові кислоти .....	36
§ 10. Молекулярний рівень організації життя .....	40
<i>Узагальнення теми 1. Хімічний склад клітини та біологічні молекули</i> .....	44
<i>Самоконтроль знань</i> .....	45
<b>Тема 2. СТРУКТУРА КЛІТИНИ</b>	
§ 11. Клітина та її дослідження .....	46
§ 12. Клітина та її структура .....	50
§ 13. Клітинна мембрана .....	54
§ 14. Цитоплазма та основні клітинні органели .....	58
§ 15. Ядро: структурна організація та функції .....	62
§ 16. Різноманітність клітин .....	66
<i>Узагальнення теми 2. Структура клітини</i> .....	70
<i>Самоконтроль знань</i> .....	71
<b>Тема 3. ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ</b>	
§ 17. Обмін речовин та енергії .....	72
§ 18. Розщеплення органічних речовин у живих організмах .....	76
§ 19. Клітинне дихання, його біохімічні механізми .....	80
§ 20. Фотосинтез: світлова та темнова фази .....	84
§ 21. Хемосинтез. Потік речовин, енергії та інформації з клітини .....	88
<i>Узагальнення теми 3. Принципи функціонування клітини</i> .....	92
<i>Самоконтроль знань</i> .....	93
<b>Тема 4. ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b>	
§ 22. Ген та його будова .....	94
§ 23. Геном про- та еукаріотів .....	98
§ 24. Хромосоми, їхні функції та будова .....	102
§ 25. Транскрипція. Основні типи РНК .....	106
§ 26. Генетичний код. Біосинтез білка .....	110
§ 27. Подвоєння ДНК. Репарація пошкоджень ДНК .....	114
§ 28. Поділ клітин. Клітинний цикл. Мітоз .....	118
§ 29. Мейоз. Рекомбінація ДНК .....	122
§ 30. Статеві клітини та запліднення .....	126
§ 31. Закономірності індивідуального розвитку .....	130
§ 32. Періоди онтогенезу в багатоклітинних організмів .....	134
<i>Узагальнення теми 4. Збереження та реалізація спадкової інформації</i> .....	138
<i>Самоконтроль знань</i> .....	139

## **Тема 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК**

§ 33. Генетика. Методи генетичних досліджень .....	140
§ 34. Закони Менделя. Домінування ознак. Розщеплення ознак .....	144
§ 35. Закони Менделя. Незалежне успадкування ознак .....	148
§ 36. Взаємодія генів .....	152
§ 37. Зчеплення генів. Кросинговер .....	156
§ 38. Генетика статі. Успадкування, зчеплене зі статтю .....	160
§ 39. Мінливість. Модифікаційна мінливість .....	164
§ 40. Комбінаційна та мутаційна мінливість .....	168
§ 41. Мутації. Мутагенез .....	172
§ 42. Медична генетика .....	176
<i>Узагальнення теми 5. Закономірності успадкування ознак</i> .....	180
<i>Самоконтроль знань</i> .....	181

## **Тема 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ**

§ 43. Еволюція органічного світу .....	182
§ 44. Теорія еволюції .....	186
§ 45. Еволюційні чинники .....	190
§ 46. Популяція. Мікроеволюція. Вид. Видоутворення .....	194
§ 47. Макроеволюція .....	198
§ 48. Еволюція людини .....	202
§ 49. Походження та історичний розвиток життя .....	206
<i>Узагальнення теми 6. Еволюція органічного світу</i> .....	210
<i>Самоконтроль знань</i> .....	211

## **Тема 7. БІОРІЗНОМАНІТТЯ**

§ 50. Основи еволюційної філогенії та систематики .....	212
§ 51. Система органічного світу. Віруси .....	216
§ 52. Бактерії. Археї .....	220
§ 53. Еукаріоти .....	224
<i>Узагальнення теми 7. Біорізноманіття</i> .....	228
<i>Самоконтроль знань</i> .....	229

## **Тема 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**

§ 54. Екосистема. Різноманітність екосистем .....	230
§ 55. Екосистеми та їх функціонування .....	234
§ 56. Екологічні чинники .....	238
§ 57. Середовище існування .....	242
§ 58. Екосистеми та їхня стабільність .....	246
§ 59. Біосфера як цілісна система .....	250
§ 60. Біосфера та її збереження .....	254
<i>Узагальнення теми 8. Надорганізмові біологічні системи</i> .....	258
<i>Самоконтроль знань</i> .....	259

## **Тема 9. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ**

§ 61. Поняття про селекцію .....	260
§ 62. Методи селекції .....	264
§ 63. Біотехнологія .....	268
§ 64. Основи генетичної інженерії .....	272
§ 65. Генетично модифіковані організми (ГМО) .....	276
§ 66. Клітинна інженерія .....	280
<i>Самоконтроль знань</i> .....	284
<i>Узагальнення курсу</i> .....	285