

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПЕДАГОГІКИ НАПН УКРАЇНИ**

**Коршевніук Т. В.**

## **БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**

**10-11 класи**

*навчальний посібник*

**Київ  
Педагогічна думка  
2022**

УДК 373.5.016:57 (075.3)

*Рекомендовано до випуску та розповсюдження вченою радою Інституту педагогіки НАПН України (протокол № 15 від 28 грудня 2021 року)*

**Рецензенти:**

*Міронць Л. П.*, кандидат педагогічних наук, доцент, декан природничо-географічного факультету Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка;

*Терещенко О. В.*, вчитель хімії і біології, вчитель-методист Вишнівського академічного ліцею «Основа».

**Експерт науково-експертної ради Інституту педагогіки НАПН України:**

*Трубачева С. Е.*, кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник, завідувачка відділу інновацій та стратегій розвитку освіти Інституту педагогіки НАПН України.

**Коршевніук Т. В.** Біологічні системи. 10-11 класи : навчальний посібник. [Електронне видання]. – Київ : Педагогічна думка, 2022. – 104 с.

ISBN 978-966-644-642-1

Навчальний посібник поглиблює і систематизує знання учнівства 10-11 класів про закономірності структури і функціонування біологічних систем, інформує про їх використання й перспективні напрями досліджень. Матеріал посібника сприяє розвитку природничо-наукової компетентності, надає можливість підготуватися до ЗНО, до участі в олімпіадах і біологічних турнірах.

Посібник призначений для самостійної роботи учнівства 10-11 класів, буде корисним для вчителів/ біології та екології, студентів і викладачів закладів вищої педагогічної освіти, фахівців закладів післядипломної педагогічної освіти.

ISBN 978-966-644-642-1

© Інститут педагогіки НАПН України, 2022

© Коршевніук Т. В., 2022

© Педагогічна думка, 2022

## ЗМІСТ

<b>§ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА І ДОСЛІДЖЕННЯ БІОСИСТЕМ</b>	<b>4</b>
<b>§ 2. КЛІТИНА ЯК БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА</b>	<b>11</b>
<b>§ 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛІТИН</b>	<b>17</b>
<b>§4. МЕТОД КУЛЬТУРИ КЛІТИН У ДОСЛІДЖЕННІ БІОСИСТЕМ</b>	<b>25</b>
<b>§ 5. ОРГАНІЗМ ЯК БІОСИСТЕМА</b>	<b>34</b>
<b>§ 6. АДАПТАЦІЇ БІОСИСТЕМ</b>	<b>39</b>
<b>§ 7. АДАПТУВАННЯ ЛЮДИНИ ДО СЕРЕДОВИЩА ЖИТТЯ</b>	<b>48</b>
<b>§ 8. СТВОРЕННЯ ОРГАНІЗМІВ - СИНТЕТИЧНИХ БІОСИСТЕМ</b>	<b>53</b>
<b>§ 9. ЕКОБІОСИСТЕМИ: СКЛАД І РІЗНОМАНІТНІСТЬ</b>	<b>61</b>
<b>§ 10. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН В ЕКОСИСТЕМАХ НА БІОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЯХ (АКВАРІУМ)</b>	<b>70</b>
<b>§ 11. ВИЯВЛЕННЯ АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН В ЕКОСИСТЕМАХ СВОЄЇ МІСЦЕВОСТІ</b>	<b>71</b>
<b>§ 12. КОЛООБІГ РЕЧОВИН І ПОТІК ЕНЕРГІЇ В ЕКОСИСТЕМАХ</b>	<b>74</b>
<b>§ 13. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ</b>	<b>82</b>
<b>§ 14. БІОСФЕРА – ГЛОБАЛЬНА БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА</b>	<b>86</b>
<b>§ 15. ЖИВА РЕЧОВИНА БІОСФЕРИ</b>	<b>92</b>
<b>§ 16. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b>	<b>100</b>
<b>ДЖЕРЕЛА ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b>	<b>103</b>

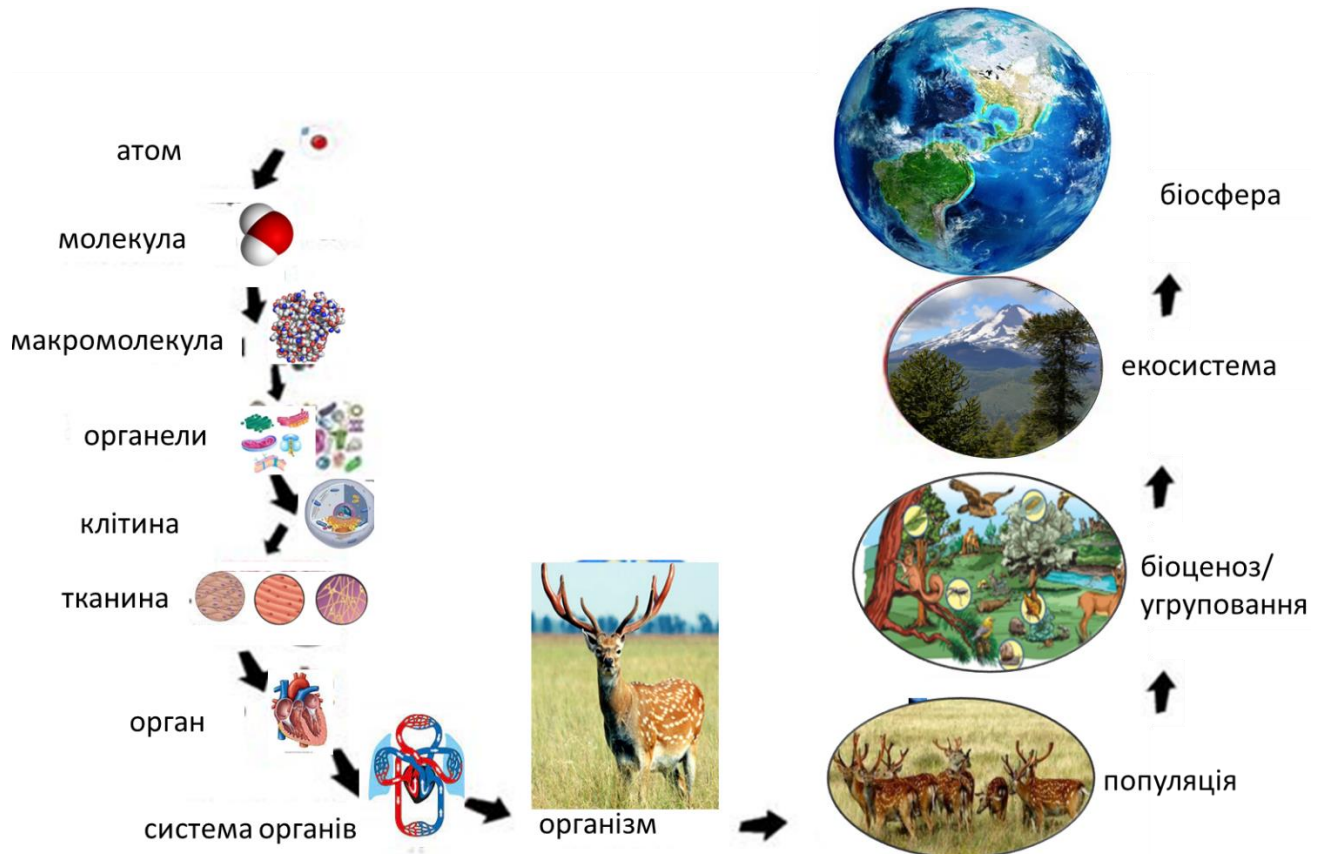
## § 1. ХАРАКТЕРИСТИКА І ДОСЛІДЖЕННЯ БІОСИСТЕМ

Пригадай

- Що називають клітиною, організмом, екосистемою, біосферою?
- Які помилки зроблені в ієрархічному порядку рівнів організації живого: клітина → орган → екосистема → тканина → популяція → біосфера?

Під системою розуміють сукупність елементів, одиниць, частин, об'єднаних за спільною ознакою, призначенням. Цілісність системи порушується, якщо хоча б один з її елементів вилучити.

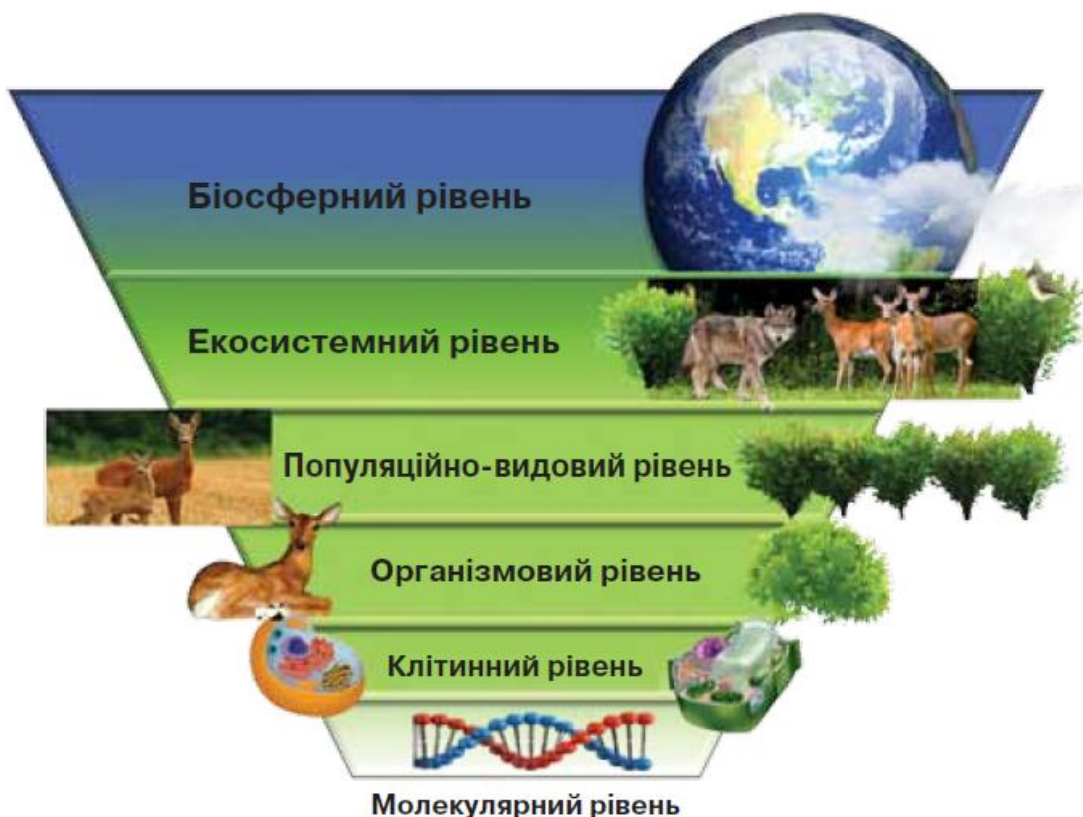
**РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЯ.** Живій природі властива ієрархічна організація, деталізований варіант якої ілюструє малюнок 1.



Мал. 1. Ієрархічна організація живої природи

Цей ієрархічний принцип узгоджується з розумінням життя на Землі як сукупності різноманітних біосистем. Розташування їх у послідовності

ускладнення від клітини до біосфери нагадує сходи, на кожному щаблі яких перебуває певна біосистема. Функціональне місце біосистеми в живій природі називають *рівнем організації життя / живої природи* (мал. 2).



Мал. 2. Рівні організації живої природи (один з варіантів класифікації)

Назви рівнів збігаються з назвами біосистем, що на них перебувають. За винятком молекулярного рівня: його основними компонентами є не біосистеми, а молекули біологічно важливих органічних речовин. Хімічні реакції за їх участю становлять основу всіх процесів життєдіяльності клітин і організмів.

Особливість рівневої організації життя в тому, що кожний наступний рівень включає в себе попередні. Хімічні процеси (молекулярний рівень) забезпечують життєдіяльність клітини. Клітини, об'єднуючись у тканини, формують органи. Кожний орган виконує свою функцію в цілісній системі організму. Життєдіяльність окремих особин забезпечує існування виду та

популяцій, які займають певне місце в екосистемах нашої планети. А всі біосистеми Землі об'єднані в біосферу.

**ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ.** Біологічна система/біосистема – об'єкт природи, що являє собою сукупність взаємопов'язаних і взаємодіючих компонентів, які виконують певні функції та здатні до розвитку, самовідтворення і пристосування до середовища. Розрізняють структурну та функціональну організацію біосистем. *Структурна організація* біосистеми є упорядкованим відображенням існуючих складових частин системи, на основі чого здійснюють класифікацію її складників. За основу *функціональної організації біосистеми* обрано функції, які виконує кожен елемент системи, забезпечуючи її цілісність.

Структура і функції біосистем обумовлюють їхню різноманітність. Клітина, організм, популяція, екосистема, біосфера – приклади біосистем, кожна з яких має притаманні лише їй структуру і функції. Всім біосистемам властиві ріст і розвиток, динамічна стійкість, натомість системам неживої природи – статичність і деградація.

Попри різноманітність форм, розмірів, структури всі біосистеми мають спільні особливості. Першою особливістю природних біосистем є наявність спільних властивостей, поданих на малюнку 3. Друга особливість біологічних систем – злагоджена діяльність компонентів, що підтримує функціонування кожної біосистеми у просторі і часі.



Мал. 3. Властивості біологічних систем

Третя особливість: всі біосистеми є відкритими, адже постійно обмінюються з зовнішнім середовищем речовинами, енергією, інформацією.

Всі біосистеми є дискретними, тобто переривчасті у просторі й часі, відокремлені одна від одної, мають власні межі, розміри, певну тривалість існування та ознаки, що відображають їх специфічність.

Будь-яка біосистема являє собою внутрішньо впорядковану множину компонентів, взаємозв'язки між якими відображають її структуру. Чим більше компонентів в системі і чим складніші зв'язки між ними, тим складнішою є структура біосистеми. Наприклад, компонентами біосистеми «організм» є клітини, тканини, органи, системи органів; компонентами біосистеми «екосистема» – популяції організмів та умови абіотичного середовища, а компонентами біосфери – екосистеми. Найменшими й найпростішими вважають молекулярні й клітинні біосистеми, найбільшою і найскладнішою – біосферу. Але всі біосистеми характеризуються цілісністю, складною структурою, дискретністю, здатністю до тривалого самопідтримання і стійкістю у взаємозв'язку з навколишнім середовищем.

Біосистема, як будь-яка система, існує, доки взаємодіють її компоненти. Вона не лише залежить від свої компонентів, але й визначає їх існування. Наприклад, організм залежить від взаємодії його клітин, але й сам впливає на них (забезпечує речовинами й енергією, координує їх спільну діяльність).

Певне ієрархічне розташування компонентів (частин) біосистеми для виконання функцій, необхідних для життя, дістало назву **біологічна організація**. Наприклад, клітина розглядається як фундаментальна форма організації. Кожен наступний рівень у біологічній ієрархії демонструє більшу організаційну складність. Кожен біосистема наступного рівня складається з базових одиниць попереднього рівня.

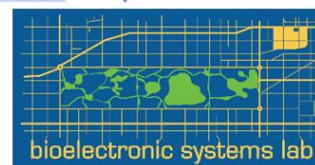
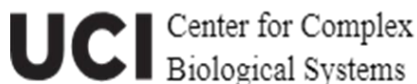
**СУЧАСНИЙ ЕТАП ДОСЛІДЖЕННЯ БІОСИСТЕМ.** Значного прогресу у дослідженні природних і штучних біосистем досягли системна і синтетична біологія. Основна мета **системної біології** – зрозуміти, як

компоненти та їх взаємодія разом породжують емерджентні властивості системи. Для цього вчені вдаються до моделювання окремих компонентів, зокрема білкових мереж і шляхів передачі сигналу. Спочатку це моделі описові: вони можуть включати відносно просте рівняння, що показує взаємозв'язки між кількома білками в клітині. Коли з'являється більше інформації, моделі стають графічними. Графічна модель може візуалізувати клітину як складну блок-схему або як павутину. Взаємозв'язки між компонентами зображуються за допомогою кольору або відстані. Наступним кроком є експериментування з реальною біосистемою, як-от дріжджі, щоб побачити, що станеться на рівні організму, коли один компонент системи буде порушений. Наприклад, замінити одну з поживних речовин чи викликати мутацію гена й спостерігати за реакцією організму. Щоб пояснити спостережувані процеси, дослідники формулюють гіпотези і проводять експерименти.

Наступним кроком у моделюванні є математичний опис зв'язків. Інститут системної біології створив математичну модель відносно простого метаболічного процесу, за допомогою якого дріжджові клітини отримують енергію, розщеплюючи цукор-галактозу. Після визначення всіх генів у геномі дріжджів і окремих генів, білків та інших малих молекул, які відіграють роль у метаболізмі галактози, дослідники створили модель. Потім вони виростили звичайні дріжджі, а також штами, у яких були видалені певні гени, у присутності галактози та без неї. Вони проаналізували реакції за допомогою мікрочіпів, кількісної протеоміки та баз даних відомих фізичних взаємодій.

І хоча від моделювання дріжджів до моделювання людини далеко, досвідчені вчені й молоді дослідники працюють у цьому напрямі, щороку збагачуючи науку ідеями та відкриттями. Інформацію про них розміщено на сайтах провідних наукових установ світу, зокрема Інститут молекулярної біології та генетики НАН України, Institute for Systems Biology (ISB), Center for Systems Biology and Bioengineering, Berlin Institute for Medical Systems Biology (BIMSB), Center for Complex Biological Systems (CCBS).





Починаючи з 2000 року, активно розвивається самостійна галузь науки та технологій - **синтетична біологія**, зосереджена на вирішенні завдань проектування та збирання біологічних систем. Робота в сфері синтетичної біології на фундаментальному рівні живих систем має прямий практичний вплив на різні галузі економіки, що кардинально змінює процеси виробництва кінцевих продуктів (формування доданої вартості). Ефективність синтетичної біології відчутна в багатьох галузях, насамперед охорона здоров'я (молекули для цільової доставки ліків), харчова промисловість (синтетичні харчові продукти), фармацевтика (вакцини та засоби діагностики), сільське господарство (біопестициди), енергетика (біопаливо). Це лише деякі приклади потенційного впливу.



### Підготуйтеся до дискусії «Власне розуміння біосистем»

#### Орієнтири для підготовки до дискусії.

- Дослідіть 10-15 інтернет-джерел щодо сутності та ознак біологічних систем. Чи всі опрацьовані тобою джерела інформації містять однакові трактування біологічних систем? Чи однакова думка вчених щодо кількості ознак біосистем?
  - На основі виявленої інформації сформулюйте власне означення терміну «біологічна система», відобразіть її властивості у вигляді схеми.
  - Вислові судження, які ознаки біосистем тобто виявляти нескладно, а які потребують додаткових ресурсів (спеціального обладнання, часу, певних методів дослідження).

## Перевір себе

1. Наведи приклади біологічних систем. Що між ними спільного ?
2. Яка біосистема має складнішу структуру: екосистема, вид, клітина? Доведи свою відповідь.
3. Визнач помилкові твердження і виправ помилки  
А органели розташовані в клітинах, які входять до складу тканин  
Б тканини входять до складу біоценозів, з яких складаються види  
В біосфера утворена з популяцій, які складаються з систем органів  
Г органи є компонентами багатоклітинних організмів, які існують в екосистемах.
4. Доведи або спростуй твердження: «Існування і функціонування біосистем вищих рівнів забезпечується функціонуванням об'єктів нижчих рівнів організації життя».
5. Підготуй розгорнуту відповідь на запитання «Чи живий вірус?». Наведи аргументи, щоб довести істинність своєї думки.

## Працюй з джерелами інформації

Використовуючи додаткові джерела інформації, дізнайся про досягнення і відкриття в дослідженні біосистем, практичне застосування наукових здобутків професії, пов'язані з такими дослідженнями. На основі дібраних відомостей підготуй презентацію чи рекламний постер, зрозумілі широкій аудиторії, наприклад учнівству різного віку, твоїм друзям, знайомим чи родичам різних професій тощо.

## Як ти вважаєш..

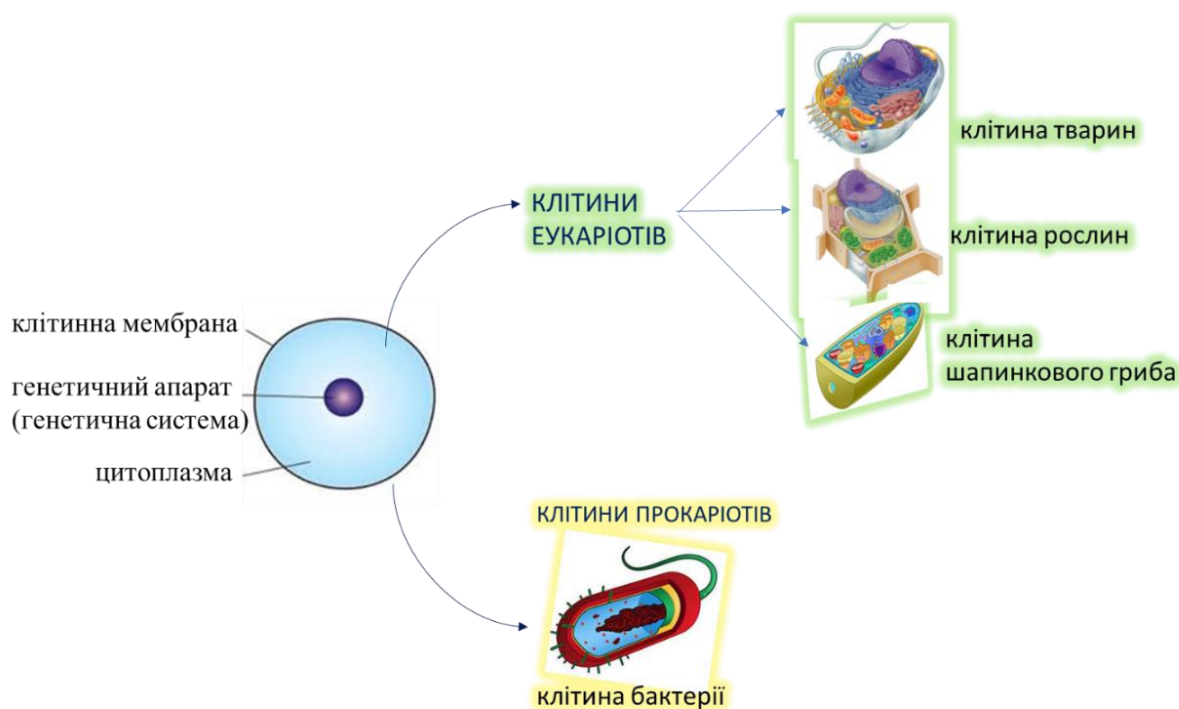
- чи правомірне твердження: кожна галузь біологічної науки пов'язана з вивченням біологічних систем? На чому ґрунтується твоя відповідь?
- які методи дослідження біосистем стрімко розвиватимуться у найближче десятиліття?

## § 2. КЛІТИНА ЯК БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА

Пригадай

- Як класифікують гени?
- Що таке каталізатори?

**ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА КЛІТИННИХ БІОСИСТЕМ.** Незважаючи на різноманітність форм і розмірів, клітин існуючих на Землі організмів мають загальний план будови і складають з клітинної мембрани, генетичного апарату (генетичної системи/генетичного матеріалу) і цитоплазми. Ці компоненти зазнають варіацій залежно від належності до певного таксону і функціонального призначення (мал. 4).



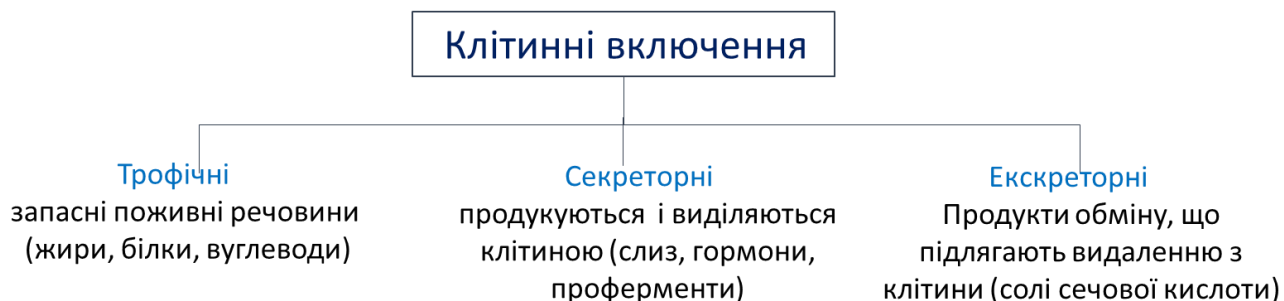
Мал. 4. Загальний план будови клітини та різновиди клітинних біосистем

В **клітинах еукаріотів** генетичний апарат/матеріал міститься в оформленому двомембранному **ядрі**, а в цитоплазмі розміщені **органели** - постійні структурні компоненти клітинної біосистеми, які мають певну будову й виконують конкретні функції. Так, мітохондрії забезпечують клітину енергією, рибосоми беруть участь в синтезі білка, ендоплазматична сітка та апарат Гольджі відповідають за вироблення, сортування, пакування й адресну

доставку різних речовин. У клітинах різних типів варіює кількість органел, є відмінності в будові деяких з них, та загалом вони виконують функції, забезпечуючи життєдіяльність клітинної біосистеми.

Органели поділяють на: 1) мембранні (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, мітохондрії та ін.) і 2) немембранні (рибосоми, центросоми та ін.). За іншою класифікацією розрізняють: 1) органели загального призначення (обов'язкові для всіх клітин – рибосоми, ЕПР, мітохондрії) і 2) спеціального призначення (джгутики, війки та ін.), характерні для спеціалізованих клітин.

Непостійні компоненти цитоплазми, обумовлені клітинним метаболізмом, називаються **включеннями** (мал. 5).

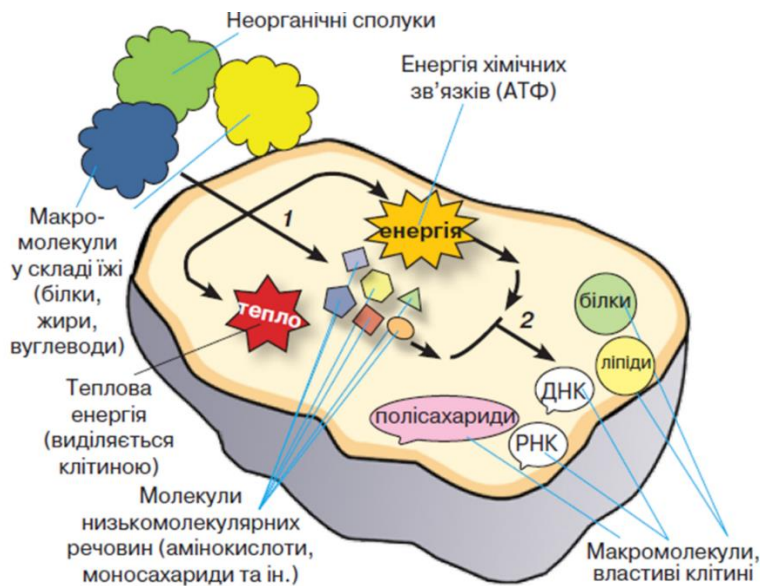


Мал.5. Схема класифікації включень клітинних біосистем еукаріотів

У клітинах **прокаріотів** відсутнє оформлене ядро: генетичний матеріал (кільцева молекула ДНК) не обмежений мембранами від цитоплазми. ДНК-вмісну частину клітини прокаріот називають нуклеоїдом. Цитоплазма містить значну кількість дрібних рибосом і різні включення у вигляді гранул ліпідів та інших речовин. Клітинну біосистему прокаріотів вирізняє відсутність ЕПР, апарат Гольджі, лізосоми, мікротільця і вакуолі, а процеси, пов'язані із синтезом біологічних речовин, відбуваються на внутрішній стороні клітинної мембрани. У цитоплазмі бактерій можуть міститися дрібні молекули ДНК (плазміди), які обумовлюють деякі ознаки бактерій (наприклад, стійкість до дії антибіотиків).

**ОБМІН РЕЧОВИН ТА ЕНЕРГІЇ.** Основою всіх процесів життєдіяльності біосистем є обмін речовин і перетворення енергії, або метаболізм (від грец. *метаболе* – перетворення, зміна), – це сукупність усіх реакцій синтезу та

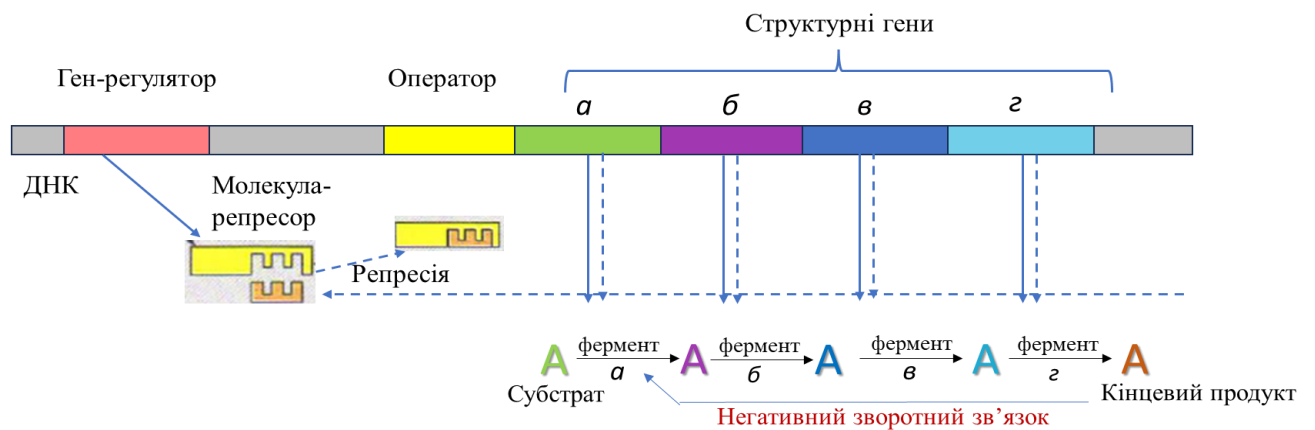
розкладу в клітині (організмі), які пов'язані з виділенням або поглинанням енергії. Метаболізм складається з енергетичного і пластичного обмінів (мал. 6).



Реакції пластичного та енергетичного обмінів взаємопов'язані: пластичний обмін постачає для енергетичного обміну органічні речовини та ферменти, а енергетичний обмін забезпечує утворення енергії, без якої не можуть відбуватися реакції синтезу

Мал. 6. Загальна схема метаболізму: 1 — енергетичний обмін (катаболізм, дисиміляція); 2 — пластичний обмін (анаболізм, асиміляція).

**КЛІТИННИЙ ГОМЕОСТАЗ.** Процес регуляції сталості внутрішнього середовища клітинної біосистеми і внутрішньоклітинних процесів перебуває під контролем генетичного апарату клітини. Завдяки подвійній регуляції активності генів (мал. 7) досягається взаємодії складників цитоплазми, ядра та зовнішнього середовища. Підвищення концентрації якогось продукту за рахунок зворотного зв'язку призводить до блокування подальшого синтезу; у разі зниження концентрації синтез може відновитися.



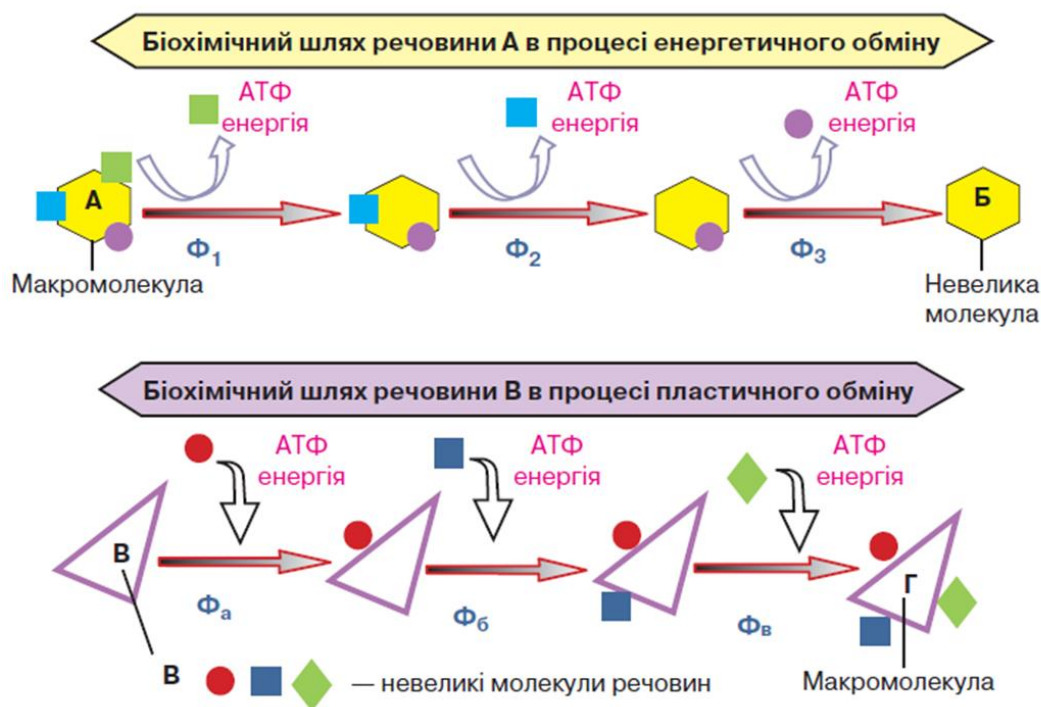
Мал. 7. Механізм подвійної регуляція клітинного метаболізму (суцільними лініями показана пряма регуляція, пунктирними – зворотний зв'язок)

Наприклад, на клітинний гомеостаз впливають зміни концентрації АТФ, яка в нормі підтримується на певному рівні. Якщо концентрація АТФ знижується, активізуються ферменти, що розщеплюють глюкозу. Зростає інтенсивність розкладу глюкози, що супроводжується синтезом АТФ. Розщеплення глюкози триває доти, доки клітина активно використовує АТФ. Щойно активність клітинних процесів гальмується чи припиняється, концентрація АТФ зростає до рівня норми і блокує діяльність ферментів, які каталізують розщеплення глюкози.

Біосистема клітини зберігає свою стабільність і стійкість за рахунок динамічної рівноваги між ядром і цитоплазмою, цілісною клітиною та зовнішнім середовищем. При цьому гомеостатичні механізми різноманітні: буферні системи, що підтримують сталість рН середовища, оперонна регуляція процесів синтезу речовин, зміни концентрації речовин у клітині, вплив гормонів. Злагоджена робота таких механізмів забезпечує існування клітини як цілісної саморегульованої біосистеми.

**РЕГУЛЯТОРИ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ У КЛІТИННИХ БІОСИСТЕМАХ.** За сприятливих умов всі молекулярні процеси в клітинах являють собою злагоджену послідовність біохімічних реакцій. Така впорядкованість значною мірою залежить від наявності та участі у названих процесах певних регуляторів (від лат. *регуло* – впорядковую, скеровую), які

стимулюють або гальмують конкретні процеси, контролюють правильність їх перебігу. Найважливішими регуляторами в біосистемі клітини є **ферменти** – велика група специфічних білків, які є в усіх клітинних біосистемах Землі. Насамперед ферменти регулюють біохімічні шляхи процесів енергетичного і пластичного обмінів (мал. 8).



Мал. 8. Приклади біохімічних шляхів речовин ( $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ ,  $\Phi_a$ ,  $\Phi_b$ ,  $\Phi_v$  — ферменти)

З допомогою ферментів реалізується генетична інформація та здійснюються всі процеси обміну речовин та енергії в живих клітинах. Регульовальна функція ферментів реалізується через зміни швидкості їх дії і залежить від концентрації відповідних субстратів, рН-середовища, температури і від наявності специфічних речовин – активаторів або інгібіторів ферментів. Деякі ферменти активні лише в присутності певних речовин, які називають *коферментами*. Вони не виявляють властивостей каталізаторів, синтезуються переважно з вітамінів, що надходять у клітину ззовні й перебувають у цитоплазмі. У клітині коферменти не беруть участь в біохімічних реакціях, але є переносниками атомів, йонів, електронів чи груп атомів у життєво важливих молекулярних процесах. Наприклад, під час

розщеплення молекули глюкози і на етапі гліколізу, і на кисневому етапі переносниками Гідрогену є коферменти. У таблиці 1 подано коферменти-учасники клітинного дихання і вітаміни, з яких вони синтезуються.

Таблиця 1

### Функції коферментів, що синтезуються з вітамінів

<i>Кофермент</i>	<i>Функція кофермента</i>	<i>Вітамін</i>
Нікотинамідаденіндинуклеотид (НАД <sup>+</sup> )	Переносить атоми Гідрогену. Бере участь у всіх процесах метаболізму	Ніацин (РР)
Флавінаденіндинуклеотид (ФАД)	Переносить атоми Гідрогену.	Рибофлавін (В <sub>2</sub> )
Кофермент А (КоА)	Передає ацетильну групу	Пантотенова кислота

Регуляторну роль в клітинних процесах життєдіяльності виконують гормони – гуморальні чинники контролю і впливу на біохімічні реакції. Регулюючи активність ферментів, гормони впливають на метаболізм в біосистемі клітини.

### Перевір себе

1. Доведи або спростуй твердження: «Клітина – дискретна саморегульована біосистема».
2. Які системи, що підтримують клітинний гомеостаз, тобі відомі?
3. Поясни роль метаболічних механізмів у клітині.
4. Які клітина отримує життєво необхідні речовини та енергію?
5. Склади схему «Надходження, зберігання і передача інформації в клітині».

### Працюй з джерелами інформації

Склади термінологічний словник з питань характеристики клітинних біосистем.

### Як ти вважаєш..

- які докази свідчать на користь гіпотези симбіогенезу, згідно якої мітохондрії і хлоропласти походять від прокаріотних клітин?



### § 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛІТИН

Пригадай

- Що таке клітинний рівень організації живої природи?
- Яке призначення мікроскопа? • Що називається ізотопами?

**МІКРОСКОПІЯ.** Розмір клітин здебільшого становить від 0,001 до 0,1 мм, а відтак їх не можна дослідити без спеціальних збільшувальних приладів. Саме тому головним методом дослідження клітин є **мікроскопія** (від грец. *micros* – дрібний і *scopeo* – розглядаю, дивлюся) – вивчення мікрооб'єктів за допомогою мікроскопів. Основною характеристикою мікроскопа є *роздільна здатність* – здатність видавати чітке роздільне зображення двох близько розташованих точок об'єкта. Ця характеристика визначається насамперед довжиною хвилі випромінювання, що використовується в мікроскопії (видиме, ультрафіолетове, рентгенівське випромінювання).

У *світловому мікроскопі* використовується потік фотонів (світловий потік) і збільшувальна здатність опуклих лінз. Цей прилад у 2500-3000 разів збільшує зображення дрібних предметів. Око людини здатне розрізнити дві лінії, що розташовані на відстані 0,1–0,2 мм, а світловий мікроскоп допомагає розглянути два об'єкти, які розташовані один від одного на відстані близько 0,001 мм. Світловий мікроскоп надає збільшене і чітке уявлення про структуру сукупності клітин (зокрема тканин), дозволяє спостерігати форму й визначати розміри окремих клітин.

Найбільшу роздільну здатність має *електронний мікроскоп*. У ньому використовується не потік фотонів, як в світловому мікроскопі, а потік електронів, довжина хвилі якого у мільйони разів менша за довжину хвилі світла. Функцію лінз виконують магніти, з допомогою яких направляють потік електронів. Внаслідок того, що різні ділянки об'єкта по-різному затримують (відбивають) електрони, на екрані електронного мікроскопа

утворюється зображення досліджуваного об'єкта, збільшене сотні тисяч й мільйони разів.

За допомогою електронного мікроскопа було детально вивчено будову клітини. Це дало змогу дійти висновку про складну будову цієї біосистеми.

### *Світловий мікроскоп*

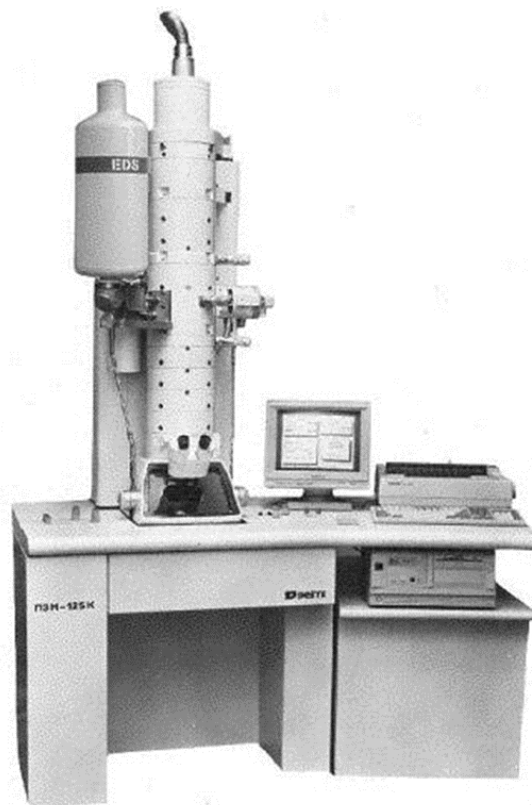


### *Оптико-цифровий мікроскоп*



За допомогою світлової мікроскопії досліджують пофарбовані препарати на предметних скельцях, рухливість мікроорганізмів, розглядають форму клітин, ядро та окремі органели, наприклад хлоропласти

### *Електронний мікроскоп*



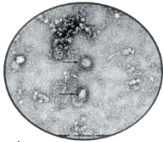
Електронна мікроскопія дає змогу розглянути найдрібніші частини клітин, розмір яких становить тисячні частки міліметра (наприклад, органели клітини діаметром 0,2 мкм, джгутики бактерій, навіть білки і ДНК. Застосовують також для виявлення аномалій і вивчення ефектів ліків.

## Електронні мікроскопи

дають змогу розглянути найдрібніші частини клітин, розмір яких становить тисячні частки міліметра

### Просвічувальні (трансмисивні)

потік електронів проходить крізь досліджуваний об'єкт



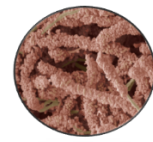
перший знімок штаму нового типу коронавірусу – 2019 nCov



Для дослідження окремих молекул у клітинах, елементного складу тканин

### Сканувальні

дають зображення об'єкта у відбитому потоці електронів



бактерії, які утворюють зубний наліт

Для дослідження мікрорельєфа об'єкта, його хімічного складу



джерело [зображення http://surl.li/rgupm](http://surl.li/rgupm)

### Конфокальний мікроскоп

використовує лазер для послідовного сканування декількох площин.

Конфокальну мікроскопію застосовують для дослідження органел, локалізації в клітині речовин (наприклад, білків), дослідження динамічних процесів, що відбуваються у живих клітинах (наприклад, рух катіонів кальцію та деяких речовин через клітинні мембрани).



джерело [зображення](https://www.leamsol.com/redfluorescence)

<https://www.leamsol.com/redfluorescence>

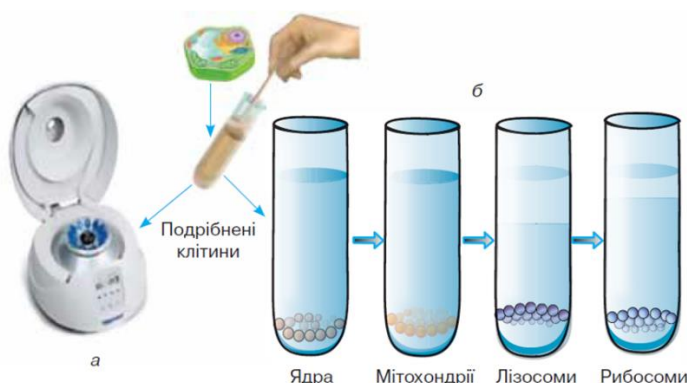
### Флуоресцентний мікроскоп

використовує флуоресцентні хромофори, звані флюорохромами, які здатні поглинати енергію від джерела світла, а потім випромінювати цю енергію як видиме світло.

Флуоресцентну мікроскопію застосовують для ідентифікації патогенів, пошуку певних видів у середовищі або для пошуку місць розташування певних молекул і структур всередині клітини, відрізнення живих від мертвих клітин

**МЕТОД ЦЕНТРИФУГУВАННЯ.** Для вивчення окремих компонентів клітини здійснюють розподілення компонентів клітини відповідно до їх питомої ваги за допомогою центрифуги (мал. 9). Основна частина *центрифуги* – барабан, який обертається навколо своєї осі з величезною швидкістю (до 70 000 обертів за хвилину). За рахунок таких колових обертів розвивається відцентрова сила, унаслідок дії якої відбувається розділення компонентів клітини.

При різних швидкостях обертання компоненти клітини осідають на дно пробірки шарами. Їх виокремлюють і досліджують за допомогою електронного мікроскопа або піддають біохімічному аналізу. Центрифугуванням вдається виділити також макромолекули ДНК і білків для подальших досліджень.



Мал. 9. Метод центрифугування:

а – центрифуга лабораторна;

б – послідовність осідання структур клітини під час центрифугування

**МЕТОД ЗОНДУВАННЯ.** У вивченні клітини незамінним є використання досягнень нанотехнології (від грец. *nano* – карлик). Це галузь науки й технологічних розробок, об'єкти якої мають надзвичайно малі розміри, що вимірюються в нанометрах. 1 нм (один нанометр) дорівнює одній мільярдній метра — 0,000000001 м.



Мал. 10. Розміри деяких об'єктів природи в нанометрах

Розміри нанооб'єктів – від 1 до 100 нм (мал. 10). Наноприлади вводять у клітину для спостереження за біомолекулами, вивчення процесів, що відбуваються в її компонентах. Так, завдяки нанозондам вчені аналізують біофізичні й біохімічні процеси в живій клітині, отримують зображення зі збільшенням до 100000000. Такий зонд не завдає шкоди клітині і дозволяє зберегти її життєздатність і після дослідницьких маніпуляцій.

Внутрішньоклітинний наносенсор (мал. 11) вимірює рівень клітинного рН, що дозволяє визначити стан клітини. У ролі наносенсорів використовують нанощири з цинк(II) оксиду діаметром 80–100 і довжиною 900 нанометрів. Вони настільки чутливі, що можуть визначати окремі хімічні сполуки в різних частинах живої клітини. Цей наноприлад дозволяє ідентифікувати злоякісні пухлини на ранніх стадіях, коли хірургічне втручання може бути найефективнішим.



Мал. 11. Наносенсор у дослідженні ракових клітин  
(джерело <https://www.tasnimnews.com/en/news/2013/08/19/121350/nanosensors-to-aid-drug-manufacturing>)

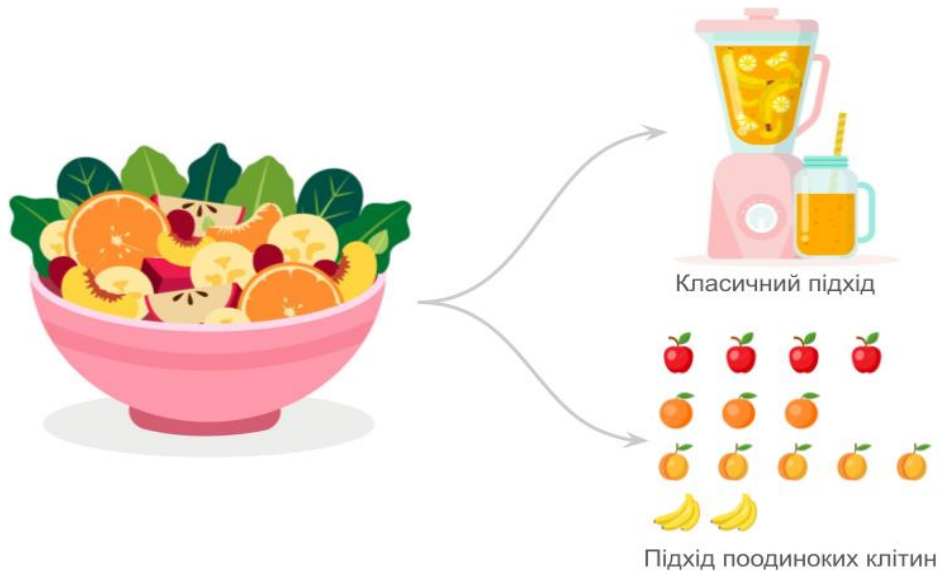
**МЕТОД МІЧЕНИХ АТОМІВ (АВТОРАДІОГРАФІЯ).** У цитології для вивчення різноманітних хімічних процесів, що відбуваються в клітині, застосовують мічені атоми. Так називають радіоактивні ізотопи певних хімічних елементів. Завдяки тому, що ці ізотопи здатні до радіоактивного випромінювання, їх можна легко виявити за допомогою спеціальних пристроїв і простежити за їхнім переміщенням у клітині та за її межами.

Метод мічених атомів ґрунтується на використанні сполук, у які введено радіоактивну мітку, тобто радіоактивний ізотоп одного з атомів. У цитологічних дослідженнях найбільшого поширення набули ізотоп Гідрогену – тритій  $^3\text{H}$ , ізотопи Карбону  $^{14}\text{C}$ , Фосфору  $^{32}\text{P}$ , Сульфору  $^{35}\text{S}$  та інших елементів, які входять до складу органічних сполук.

Щоб з'ясувати, як відбувається переміщення моносахаридів у рослинах, учені в молекулу вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  ввели радіоактивну «мітку» — радіоактивний ізотоп  $^{14}\text{C}$ . Його виявляли в глюкозі, що утворювалася в результаті фотосинтезу. Подальше переміщення глюкози в клітині й рослині фіксували за допомогою спеціальних датчиків.

**SINGLE CELL ТЕХНОЛОГІЇ.** Упродовж останнього десятиліття стрімко розвиваються технології аналізу окремих (поодиноких) клітин. Основний підхід та перевага такого підходу – це можливість дослідити біологічні процеси на рівні окремих клітин організму, тобто ще більше заглибитись у розуміння біологічних явищ. Так, на противагу класичним (так званим bulk) підходам, де аналізується усереднене значення показників у біологічному зразку (такі як рівень експресії генів, концентрація певних метаболітів, чи зміни у ДНК), у технології поодиноких клітин вчені мають можливість зрозуміти відмінності у функціонуванні окремих клітин та знайти нові механізми функціонування клітин у стані здоров'я чи у стані хвороби.

Зрозуміти принцип технології поодиноких клітин допоможе такий приклад. Уявімо собі величезний набір фруктів, молекулярні ознаки яких ви б хотіли дослідити (колаж).



У класичному підході для отримання інформації про їх біохімічний склад або генетичні особливості вам необхідно отримати однорідну масу з цих фруктів (своєрідний коктейль), яка і буде об'єктом вашого подальшого дослідження. Зважте, що всі отримані результати будуть усередненими і не відображатимуть особливості складу окремих компонентів цього набору. Натомість у підході поодиноких клітин у вас буде можливість дослідити кожен з фруктів окремо, підрахувати їх кількість, дослідити їх індивідуальні ознаки.

У біологічних дослідженнях цим «набором фруктів» може бути фрагмент тканини чи зразок крові, необхідний для детального аналізу. Головне завдання – виділити з нього окремі клітини, не пошкодивши їх.

Single cell технології використовують не лише в сучасних біологічних дослідженнях, а й для лікування та попередження захворювань. Знаючи, які саме клітини відповідальні за перебіг хвороби, або які клітини мають вирішальний вплив на виліковування, вчені створюють найбільш ефективні методи терапії.

## Використання методів дослідження клітин

<i>Галузь застосування</i>	<i>Напрямок використання</i>	<i>Місце роботи</i>
<i>Медицина</i>	Діагностика біохімічних і цитохімічних показників, виявлення взаємодії клітин із середовищем	Діагностичні центри, клініки, лікарні, науково-дослідні установи
<i>Біотехнологія</i>	Виробництво противірусних вакцин та антитіл для боротьби з різними захворюваннями	Фірми й компанії з розроблення й виробництва вакцин, фармацевтичні корпорації, науково-дослідні установи
<i>Імунологія</i>	З'ясування механізмів злоякісної трансформації клітин, формування інфекційного імунітету	Медичні організації всіх рівнів (клініки, поліклініки, амбулаторії, лабораторії, діагностичні центри), науково-дослідні установи

## Перевір себе

1. Що обмежує роздільну здатність світлового мікроскопа?
2. Яким чином використання електронного мікроскопа сприяло вивченню будови клітини?
3. Чому метод авторадіографії отримав таку назву? Вислови судження щодо його безпечного застосування.
4. Обґрунтуй, який метод цитологічних досліджень дозволить відстежити шлях розповсюдження ліків в організмі людини.
5. Назви сучасні методи дослідження клітин, укажи їх переваги та обмеження.

## Працюй з джерелами інформації

Використовуючи додаткові джерела інформації, дізнайся про методи дослідження клітин, не пояснені в параграфі. Дібраними відомостями заповни таблицю 3.



<i>Метод дослідження клітин</i>	<i>Стисла характеристика методу</i>	<i>Практичне й наукове значення методу</i>

### Як ти вважаєш..

- навіщо проводять дослідження клітин?
- які методи дослідження клітини стрімко розвиватимуться у найближче десятиліття?

## § 4. МЕТОД КУЛЬТУРИ КЛІТИН У ДОСЛІДЖЕННІ БІОСИСТЕМ

Пригадай

- Які умови необхідні організмам для життя?
- Що таке диференціювання і спеціалізація клітин?
- Чим соматичні клітини відрізняються від статевих?

Якщо клітини рослин і тварин, вміщені в поживне середовище, зберігають здатність до поділу, то вони формують *in vitro* (з латини «у склі») генетично однорідні популяції клітин. Це **клітинна культура / культура клітин**. Як правило, клітинну культуру утворюють клітини певного типу (наприклад, культура лімфоцитів, культура фібробластів).

**ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУРИ КЛІТИН.** Щоб отримати клітинну культуру, спочатку необхідно виділити окремі клітини із зразка тканини (приблизно 1 мм<sup>3</sup>). Для цього з допомогою протеолітичних ферментів (тих, що руйнують білки) руйнують матрикс – позаклітинну речовину, яка сполучає клітини. Подальша обробка ферментом ДНКазою запобігає склеюванню клітин. Потім клітини відділяють центрифугуванням і/або фільтруванням і вміщують у культуральні флакони або чашки Петрі з поживним середовищем.

Виділення клітин здебільшого проводять у спеціальному стерильному боксі – ламінарній шафі (мал. 12). Так називають спеціальне обладнання спеціальне лабораторне обладнання, призначене для створення стерильного середовища заради забезпечення захисту дослідника / продукту. Стерильність боксу забезпечується профільтрованим стерильним повітрям, що подається з ламінарної шафи назовні, на дослідника.



Культуральні флакони і чашки Петрі  
(джерело <https://www.sigmaldrich.com/UA/en>)



Ламінарна шафа  
(джерело <http://sur1.li/rgnwf>)

Мал. 12. Обладнання для культивування клітин

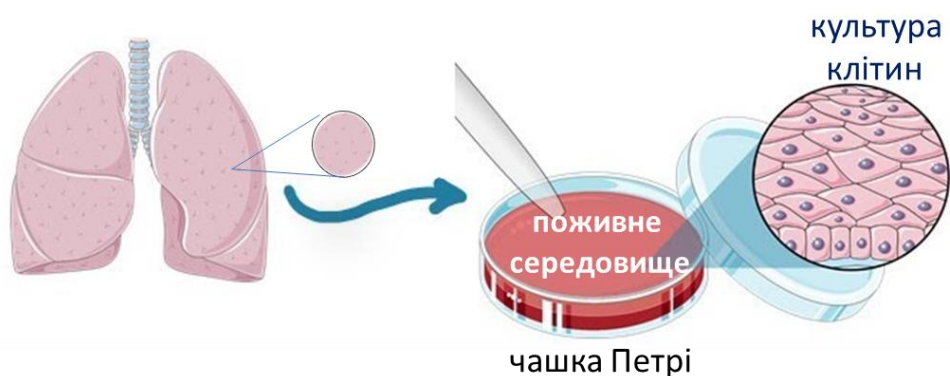
Для росту і розмноження культури клітин необхідні особливі умови, що максимально моделюють умови *in vivo* (з латини «у живому», тобто «всередині організму»). Це досягається поживним середовищем – розчином мінеральних солей, амінокислот, вітамінів, вуглеводів, стимуляторів росту та інших речовин. У поживних середовищ кількість компонентів може сягати кількох сотень. Для підтримання стерильності поживного середовища використовують антибіотики.

**КУЛЬТИВУВАННЯ ТВАРИННИХ КЛІТИН** полягає у видаленні відповідних тканин з тіла тварини, диспергуванні їх на окремі клітини, а потім поміщенні їх у відповідне поживне середовище, в якому відбувається ріст і розмноження цих клітин.

Для отримання культури клітин тварин використовують ембріони або органи/тканини молодих тварин незабаром після народження, а також тканини пухлин. Досліджуваний зразок спочатку обробляють протеолітичним ферментом (трипсином або колагеназою), щоб розділити тканину на окремі клітини, а потім з них виготовляють клітинну суспензію певної концентрації. Суспензію вміщують в культуральні флакони або циліндричні бутлі, які

містять поживне середовище і повільно обертаються навколо власної осі для делікатного перемішування культури. Такий напрям культивування клітин дістав назву *суспензійні культури*.

Спрощену схему отримання культури клітин тварин/людини ілюструє колаж.



Джерело <https://i.ytimg.com/vi/9BvTFowr0rl/maxresdefault.jpg>

У культивуванні тваринних клітин ефективним напрямом є *суспензійні культури*. Для отримання суспензії окремих клітин, фрагмент тканини подрібнюють і обробляють ферментом протеолітичним ферментом трипсином. Суспензію вміщують в культуральні флакони або циліндричні бутлі, які повільно обертаються навколо власної осі для делікатного перемішування культури.

Культивування клітин тварин і людини потребує багатокомпонентних поживних середовищ. До них додають суміш амінокислот, пуринів і піримідинів для синтезу амінокислот і нуклеїнових кислот, глюкозу як джерело енергії, вітаміни і мінеральні солі для підтримання осмотичного тиску і значення рН 7,0–7,4. Середовище повинно також містити незначну кількість антибіотиків для пригнічення росту бактерій і 5-20% сироватки (з крові людини або плоду великої рогатої худоби). Оптимальна температура для росту культури клітин – 37 °С.

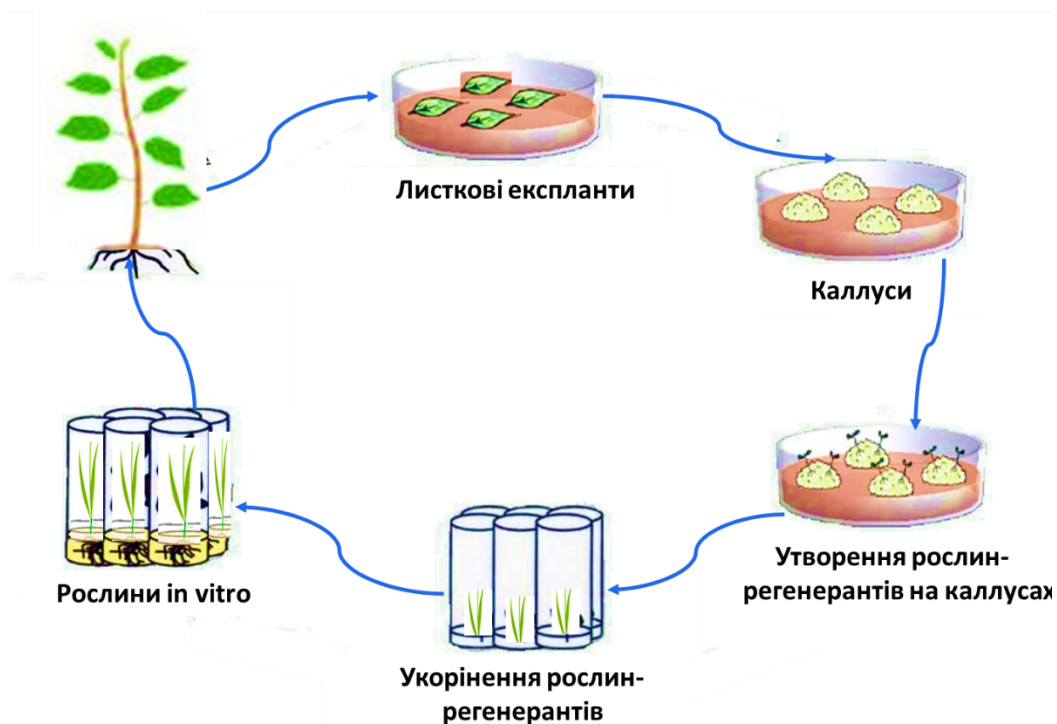
Клітини тварин у культурах розмножуються з утворенням великої маси клітин. Потім їх ідентифікують (за фенотиповими або/та генотиповими ознаками), розділяють на ідентичні паралелі і зберігають за необхідності. Так,

для збереження культури клітин ссавців їх заморожують при температурі – 180 °С в спеціальному середовищі.

Нині культивовано різні типи клітини людини, наприклад фібробласти (клітини сполучної тканини), клітини кісток, хрящів і деяких м'язів, клітини печінки, легень, нирок, різні пухлинні клітини.

**КУЛЬТИВУВАННЯ РОСЛИННИХ КЛІТИН.** На способи культивування клітин рослин впливають їх біологічні особливості, насамперед властива більшості з них тотипотентність (від лат. лат. *totus* – цілий, сукупний + *potentia* – сила, можливість). Так називають здатність соматичних клітин давати початок новому організму. Отже, у процесі культивування рослинні клітини втрачають свою спеціалізацію, тобто припиняють бути клітинами певної тканини і перетворюються на клітини меристеми (твірної тканини). Умови такої трансформації клітини в меристематичну (ембріональну) – наявність ядра й відсутність вторинної оболонки.

Основні етапи отримання культури рослинних клітин і вирощування з них рослин знайомить малюнок 13. Для отримання культури рослинних клітин використовують фрагмент будь-якої тканини з живими клітинами – *експлант* (від лат. *ex* – зовні та *и plantare* — саджати). Його вміщують в поживне середовище, що містить фітогормони: цитокініни (стимулюють поділ клітин) та ауксини (регулюють ріст клітин, диференціювання, ростові реакції на світло і силу тяжіння). Рослинні культури утримують у темряві або при освітленні за температури 22-27 °С.



Мал. 13. Схема культивування рослинних клітин і розвиток з них рослини

Виділені експланти вміщують у дезинфікуючий розчин, потім кілька разів промивають стерильною дистильованою водою. Через 4-6 тижнів на експлантах формується первинний каллус (від лат. *callus* — товста шкіра, мозоль) – тотипотентні клітини рослин, які втратили спеціалізацію й здатні утворити нові органи рослин або навіть нову рослину. Клітини каллуса можуть диференціюватися, даючи початок елементам судинної системи, зачаткам органів або зародковим структурам. Сукупність процесів диференціювання клітин з утворенням спеціалізованих органів і тканин називають *морфогенезом в культурі in vitro*. Цей процес ґрунтується на різній активності генів у різних клітинах каллуса. Рослина, отримана в результаті морфогенезу, під час культивування різних клітин, тканин і органів *in vitro*, – рослина-регенерант (від лат. *regeneratio* – відродження).

Використовуючи морфогенез в культурі *in vitro*, можна розмножувати рідкісні й цінні рослини у пробірках, вміщуючи клітини каллуса в певні поживні середовища. Такий спосіб розмноження рослин називають клональним мікророзмноженням.

На відміну від клітин тварин рослинні клітини менш вибагливі до умов культивування, тому для культивування рослинних клітин у виробничих масштабах часто використовують техніку, створену для мікробіологічної промисловості..

Найчастіше культури клітин вирощують у закритому біореакторі з періодичним режимом роботи, механічними перемішувачами або з аерацією висхідними повітряними потоками (мал. 14). Ефективне перемішування запобігає осіданню й старінню клітин.



*Мал. 14. Біореактор Biostat® RM з використанням коливального руху для вирощування клітин ссавців, комах, рослин (джерело <http://surl.li/rqgz> )*

**ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ КЛІТИННИХ КУЛЬТУР.** Відомо, що різні засоби побутової хімії, косметичні й лікарські засоби випробовують на тваринах, які часто гинуть під час таких експериментів. Метод культури клітин дозволяє вирішити цю проблему. Культура тканин, вирощена на поживному середовищі, є своєрідною моделлю якогось органу чи частини організму. На ній можна тестувати дію різних препаратів, вітамінів, чутливість до ліків, не завдаючи шкоди лабораторним тваринам і людям.

З галузями використання клітинних культур знайомить таблиця 4.

## Використання культур клітин

<i>Галузь застосування</i>	<i>Напрямок застосування</i>
Фармакологія	З'ясування механізму дії речовин, які можуть використовуватись в якості лікарських препаратів; виробництво вакцин і рекомбінантних білків, як-от цитокіни, гемопоетичні фактори росту, гормони, складники крові.
Генетика	Вирощування мутантних клітин і робота з ними. Аналіз каріотипів. Клітини з дефектними генами замінюють функціональним геном, щоб усунути такі дефекти та хвороби. Діагностика і лікування спадкових хвороб людини. Передпологова діагностика біохімічних і цитогенетичних дефектів плода
Біохімія	Дослідження біохімічних шляхів перетворення речовин у клітині
Молекулярна біологія	З'ясування механізмів взаємодії клітин із середовищем, адаптації, старіння
Ембріологія	Дослідження клітин <i>in vitro</i>
Медицина	Реконструкція тканин та органів (культура клітин шкіри використовується для замісників терапії при опіках, культура клітин ендотелію – для реконструкції стінок судин)

**КЛІТИННА КУЛЬТУРА ЯК ІНСТРУМЕНТ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.** У клітин, які поміщують у поживне середовище, змінюються розміри, склад мембран, швидкість росту і біохімічних реакцій, чутливість до ліків та інші характеристики. Тому клітини у культурі клітин і клітини у складі організму відрізняються за структурою і функціями. Між тим культури клітин в якості модельних об'єктів мають суттєві переваги, а саме:

- 1) дослідник може здійснювати прижиттєве спостереження за клітинами та оцінювати їх стан, використовуючи різні методи, включаючи світлову мікроскопію;
- 2) дослідник само обирає умови культивування; це дає можливість оцінити чинники, що впливають на метаболізм;

3) отримання й оцінювання результатів на невеликій кількості біологічних зразків клітин ліквідують проблему використання тварин в лабораторних дослідженнях, зокрема тестуванні різних засобів;

4) метод дає можливість точно розрахувати кількість і концентрацію тестованої речовини, що викликає певний ефект;

Отже, клітини, отримані з клітинної культури, використовують як модельні системи для дослідження взаємодії хазяїн-патоген, ефектів ліків і процесів, спричиненими змінами складу середовища і клітини.

### **ЗАПИТАННЯ**

1. Чому для культури клітин тварин матеріалом обирають органи чи тканини тваринних ембріонів або молодих особин?

2. Чи можна культивувати культуру клітин тварин у нові особини, як культуру клітин зелених рослин?

3. Які основні компоненти поживного середовища культури клітин тварин?

Які унікальні особливості порівняно з культуральними середовищами тканин рослин?

### **ВІДПОВІДЬ**

1. Тому що клітини в цих тканинах або органах мають сильну життєздатність і розвинену здатність до поділу.

2. Ні, культура клітин тварин може лише збільшити кількість клітин, але не може розвинути в нових особин тварини.

3. Основні інгредієнти: глюкоза, амінокислоти, неорганічні солі, вітаміни та сироватка тварин тощо.

Унікальними особливостями є:

А. Для культури тваринних клітин поживне середовище є рідким середовищем

Б. Інгредієнтами середовища для культури тваринних клітин є амінокислоти, сироватка тварин тощо. Більшість поживних середовищ для культур рослинних клітин містить сахарозу і глюкозу як джерело Карбону та енергії.



### **Підготуйтеся до дискусії «Лабораторні тварини: за і проти»**

Щороку в лабораторіях гине понад 150 млн тварин, на яких тестують різні засоби, наприклад, лікарські препарати, мийні, косметичні й гігієнічні засоби. Альтернативою тестуванню на

тваринах є використання синтетичної людини компанії SynDaver та In silico (тестування за допомогою математичних моделей і комп'ютерних симуляцій). У багатьох країнах з цією метою застосовують культури клітин і тканин.

Засоби, які не тестуються на тваринах, можуть позначатися англійськими словами «Cruelty free», «No animal testing», «Animal friendly» та логотипами з кроликом.





*Приклади логотипів, якими позначають засоби, що не перевіряються на тваринах*

### Орієнтири для підготовки до дискусії.

- Дізнайся, які засоби (косметичні, побутової хімії, лікарські тощо), що є на полицях найближчої крамниці чи аптеки, не тестувались на тваринах.
- Класифікуй виявлені товари. Яке їхнє призначення?
- Як ти вважаєш, чому таку продукцію називають етичною?
- Склади перелік країн, торгових марок і брендів, які відмовилися від тестування косметики на тваринах. Як це позначилося на асортименті товарів, їх попиту і прибутках від їх продажу?
- Добери інформацію про застосування культури клітин в контексті захисту прав тварин

### Перевір себе

1. Склади план вирощування клітинної культури. Чим обумовлена багатокомпонентність поживного середовища культури клітин?
2. Наведи приклади галузей науки і практичної діяльності, в яких використовують клітинні культури.
3. Який напрям у культивуванні тваринних клітин найефективніший з позиції продуктивності?
4. Як використовують культури: а) рослинних клітин, б) тваринних клітин?
5. Поясни відмінність між культивуванням рослинних і тваринних клітин.
6. Обґрунтуй переваги використання методу культури клітин як інструмента наукового дослідження.

### Працюй з джерелами інформації

У багатьох країнах поширюються ідея створення м'яса шляхом культивування клітин тварин, а не з самої тварини. Ця ідея має кілька переваг. По-перше, зазначений спосіб здійснює менший негативний вплив на навколишнє середовище, ніж вирощування худоби. По-друге, культивоване або вирощене в лабораторії м'ясо, ліквідує етичні занепокоєння щодо

вживання м'яса. Використовуючи доступні джерела інформації, дізнайся про стартапи «М'ясо без тварин». Підготуй презентацію про один із виявлених стартапів або запропонуй власний. Приділи увагу науковій, екологічній, етичній та економічній привабливості способу, який тебе зацікавив.

### Як ти вважаєш..

- які ризики вирощування культури клітин без ламінарної шафи?
- чи можна культуру клітин вважати біосистемою? Обґрунтуй відповідь.

## § 5. ОРГАНІЗМ ЯК БІОСИСТЕМА

Пригадай

- Які властивості відрізняють життя від неживої природи?
- Які існують середовища життя? Чому їхні мешканці відрізняються між собою?

**ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРГАНІЗМУ.** Організм – побудована із клітин відкрита біологічна система, має притаманні їй системи регуляції та пристосувальні механізми, завдяки яким зберігається цілісність і впорядкованість організму і можливе відносно самостійне його існування в певному середовищі життя. Для одноклітинних організмів клітинний та організовий рівні тотожні. Структурну організацію багатоклітинного організму рослини і тварини ілюструє схема 1.

Взаємодія компонентів організму забезпечує структурну і функціональну цілісність як біосистеми, зокрема основні процеси:

- обмін речовин та енергії
- гомеостаз (здатність підтримувати сталість внутрішнього середовища)
- узгоджена діяльність структурних компонентів
- збереження і реалізація спадкової інформації, перевірка життєздатного кожного генотипу в умовах середовища існування
- самовідтворення (розмноження)
- онтогенез
- адаптації.

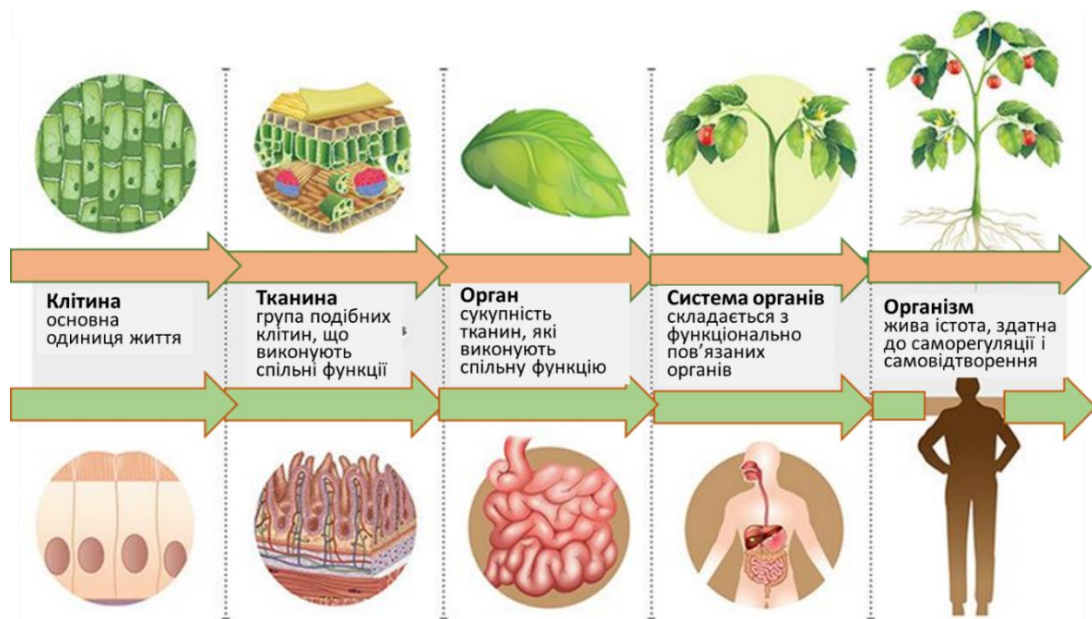
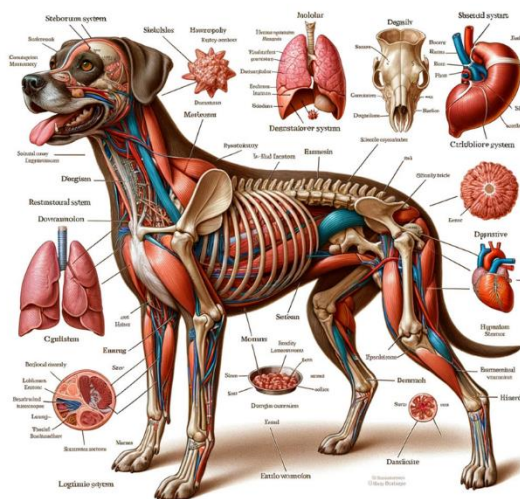


Схема 1. Ієрархія структурних компонентів в організмі (джерело <https://quizlet.com/458363381/biology-body-systems-and-tissues-diagram/>)

Розрізняють одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми. Оскільки у багатоклітинних організмів окремі частини організму спеціалізуються на виконанні певної функції (дихання, живлення, розмноження та ін.), це робить їх залежними один від одного й між ними встановлюються зв'язки (наприклад, фізіологічні, нервові, гуморальні та ін.).

### ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЧАСТИН БАГАТОКЛІТИННОГО ОРГАНІЗМУ.

Малюнок 15 ілюструє різноманітність компонентів біосистеми на прикладі багатоклітинної тварини. В її організмі виділяють спеціалізовані **фізіологічні системи органів**, наприклад покривна система складається із шкіри та її похідних (кігті, вуса, волосяний покрив тощо), що виконує захисну функцію. Травна система включає



Мал. 15. Органи і системи органів тваринного організму

(джерело <https://sockthedog.com/wp-content/uploads/2023/11/dog-anatomy.jpg>)

травний тракт і травні залози, здійснює обробку їжі і всмоктування поживних речовин. Доставку необхідних речовин до органів і клітин і видалення кінцевих продуктів метаболізму забезпечує кровоносна система. Опора і рух тварини пов'язані з роботою опорно-рухової системи, що складається із скелета й м'язів

Організова біосистема відрізняється від компонентів не лише складністю організації й наявністю структури, але й якісно новими функціями. Організм існує в мінливих умовах середовища, тому змушений узгоджувати роботу його складових частин задля задоволення життєвих потреб, наприклад у воді, кисні, поживних речовинах. Така діяльність отримала назву функції (від лат. *functio* – здійснення, виконання). Отже, цілісність організму як системи забезпечується узгодженою роботою компонентів, орієнтованої на виконання певних функцій.

Крім фізіологічних систем, в тваринному організмі наявні **функціональні системи** – тимчасове об'єднання органів і систем задля досягнення важливого для організму результату. Це досягається насамперед керівною діяльністю нервової та ендокринної систем, які регулюють роботу різних частин організму і отримують інформацію про кінцевий результат за рахунок зворотного зв'язку (схема 2). Приклад функціональної системи в організмі людини: для забезпечення організму киснем кровоносні й дихальна системи (фізіологічні) об'єднуються в єдину функціональну систему.

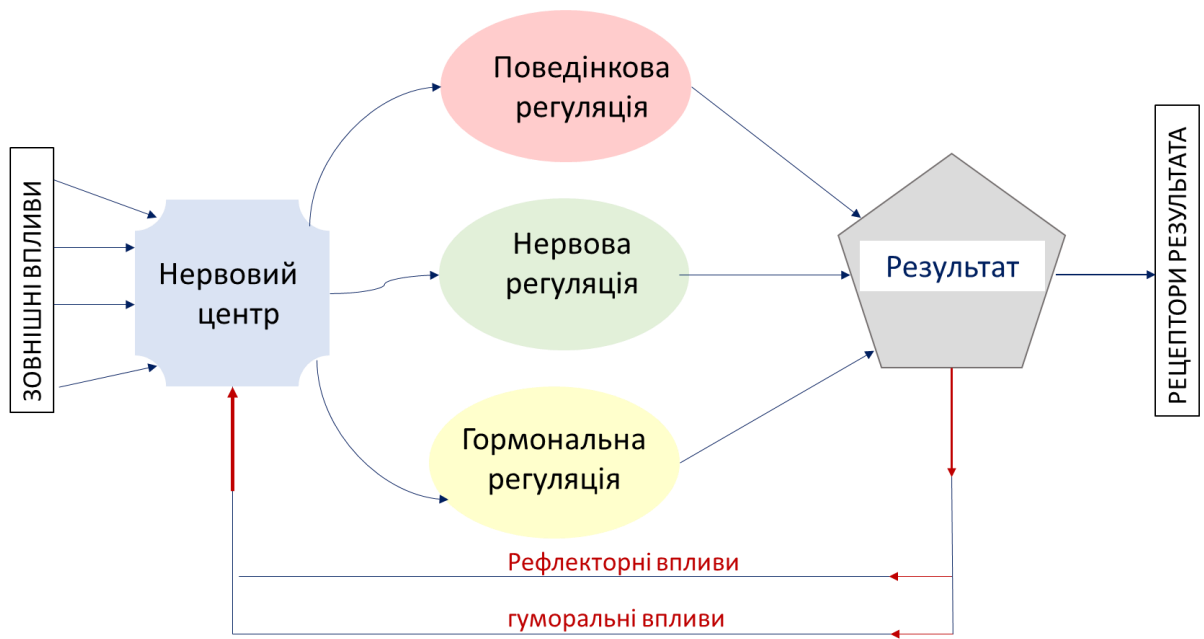


Схема 2. Загальна схема функціональної системи

Приклади метаболічних процесів у біосистемі рослинного організму ілюструє схема 3.

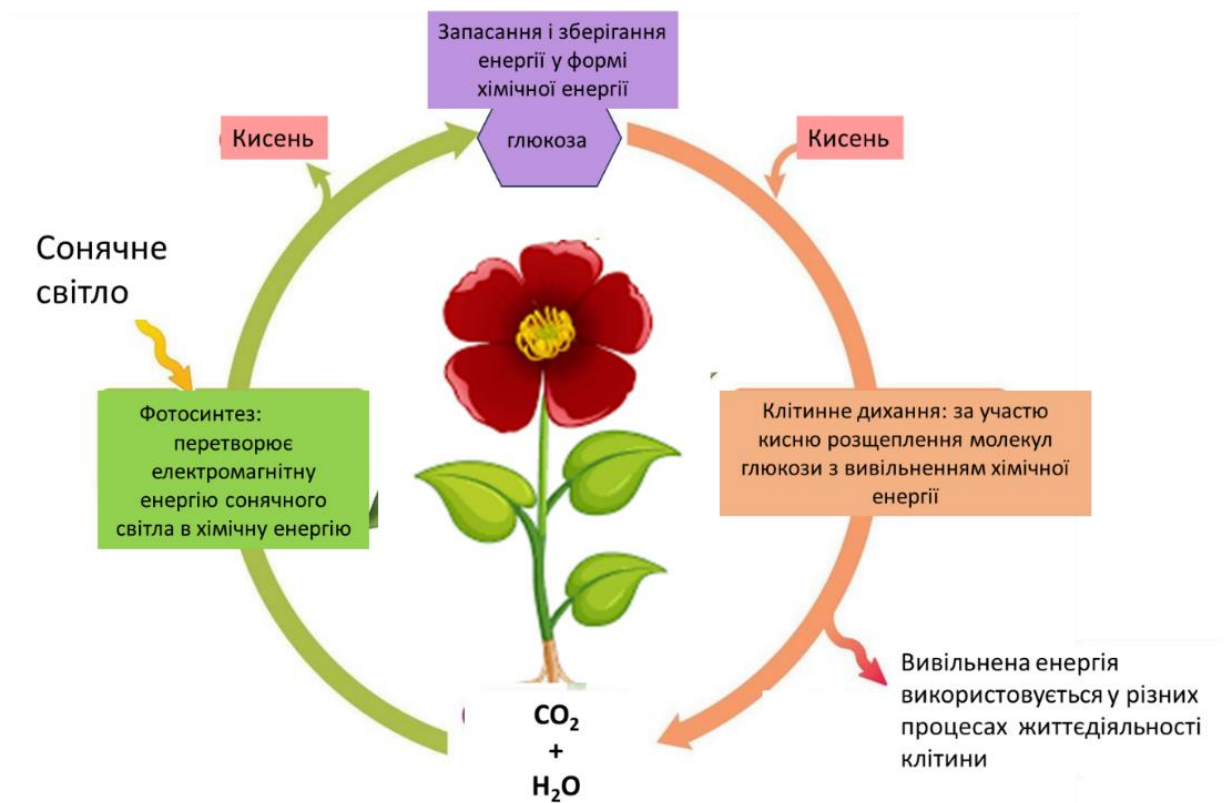


Схема 3. Метаболічні процеси в рослині (джерело [https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSF\\_vdc0w52nNHfyqzgiMWFefzLILCXz3MPQgPcoXDWq3Odab](https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSF_vdc0w52nNHfyqzgiMWFefzLILCXz3MPQgPcoXDWq3Odab), зміни: заміна окремих елементів і підписів)

## Перевір себе

1. Яке місце організму в структурно-функціональній організації життя?
2. Доведи або спростуй твердження: «Організм – дискретна відкрита біосистема».
3. Чим організм відрізняється від частин, з яких утворений?
4. Як забезпечується цілісність організму? Наведи приклади.
5. Склади й заповни таблицю «Порівняльна характеристика одно- і багатоклітинних організмів».

## Працюй з джерелами інформації

Виконай одне із запропонованих завдань 1) і 2). Поясни свій вибір.

- 1) Використовуючи додаткові джерела інформації, дізнайся про методи дослідження організмів, укажи їх переваги та обмеження. Дібраними відомостями заповни таблицю 5.

Таблиця 5

### Методи дослідження організмів

<i>Метод дослідження організмів</i>	<i>Стисла характеристика методу</i>	<i>Практичне й наукове значення методу</i>

- 2) Добери інформацію для рубрики «Крок до кар'єри» і заповни нею таблицю 6.

Таблиця 6

### Використання методів дослідження організмів

<i>Галузь застосування</i>	<i>Напрямок використання</i>	<i>Місце роботи</i>
<i>Медицина</i>	Діагностика біохімічних і цитохімічних показників, виявлення взаємодії клітин із середовищем	Діагностичні центри, клініки, лікарні, науково-дослідні установи

## Як ти вважаєш..

- навіщо проводять дослідження організових біосистем?
- які методи дослідження організмів стрімко розвиватимуться у найближче десятиліття?

## § 6. АДАПТАЦІЇ БІОСИСТЕМ

Пригадай

- Що називають онтогенезом і чим він обумовлений?
- Які існують середовища життя? Чому їхні мешканці відрізняються між собою?

З моменту народження організм опиняється в нових для себе умовах і змушений пристосовувати до них діяльність всіх своїх органів і систем. У процесі онтогенезу чинники, які впливають на організми, змінюються, що потребує різних функціональних пристосувань.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АДАПТАЦІЙ ОРГАНІЗМІВ ДО УМОВ ІСНУВАННЯ.** Умови середовища життя часто відхиляються від оптимальних, тож успішність існування організму залежить від **адаптацій** (від лат. *adaptio* – пристосовую) – спадкових особливостей організму, що забезпечують йому нормальну життєдіяльність при змінах умов у навколишньому середовищі. Адаптації дозволяють живим істотам зберігати структуру і життєві функції в мінливих (до певної межі) умовах зовнішніх впливів, забезпечують виживання і розмноження. Втративши здатність до адаптації, особина приречена на загибель – елімінацію (від лат. *elimino* – видаляю).

Закономірність прояву адаптацій полягає у тому, що пристосування до одного чинника середовища, наприклад, вологості, не дає організму такого ж пристосування до іншого чинника середовища, наприклад, світла. Кожний організм має власну здатність до адаптації, що визначається фізіологічними особливостями, генетичною і модифікаційною мінливістю, мутаційними

можливостями та іншими чинниками. Адаптації класифікують за кількома ознаками (схема 4).

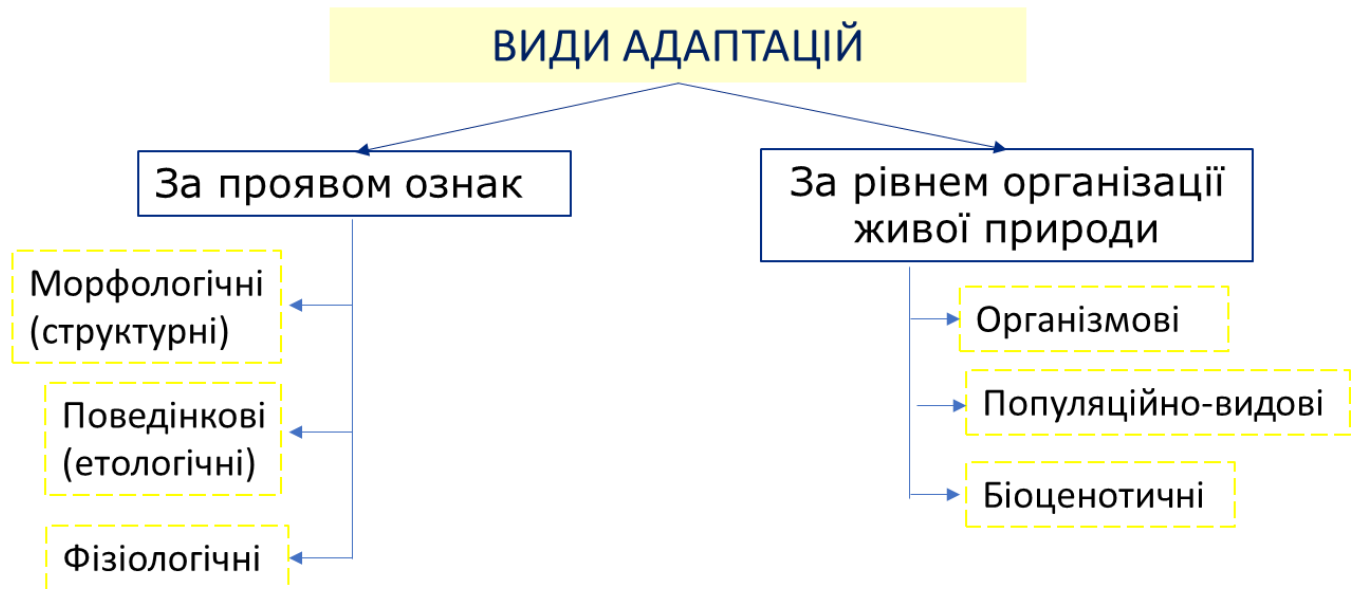


Схема 4. Види адаптацій



Мал. 16. Форма тіла риб, які переміщуються швидко й повільно чи є придонними мешканцями

*Морфологічні адаптації* пов'язані зі змінами у внутрішній будові та зовнішньому вигляді організму, що відбуваються під впливом екологічних чинників. Наприклад, форма тіла риб (мал. 16), панцир черепах і мушля равлика, різні види захисного забарвлення тварин, розмір і форма листків рослин в умовах надлишку/нестачі вологи.



*Поведінкові (етологічні) адаптації* (мал. 17), проявляються в різних формах поведінки особин для перенесення несприятливих умов. До них належать сезонні міграції, турбота про потомство інстинкти створювати запаси їжі, робити укриття та інші. У личинок (німф) комах із неповним





Пінгвіни гуртуються у заметіль



Зграя вовків нападає на бізона

*Мал. 17. Поведінкові адаптації*

(джерела <http://surl.li/rkovr> ,  
<https://media.dyvys.info/2021/03/leleky6.jpg>  
<https://www.terrageria.com/images/pacific/aust6194.jpeg>  
<http://surl.li/rkotx> , <http://surl.li/rkotd>

Прикладом адаптацій є гомологічні органи тварин (мал. 18).

перетворенням розвиваються адаптивні ознаки, що дозволяють їм опанувати нові місця існування. Такий тип розвитку запобігає конкуренції за харчові ресурси між личинковими і дорослими формами.

Пристаювальною реакцією є узгоджена колективна поведінка бджіл. Готуючись до зимівлі, вони формують сфероподібне скупчення, на периферії якого своїми тілами бджоли утворюють щільний теплозахисний шар. Активно скорочуючи літальні м'язи, в центрі скупчення комахи виробляють тепло. Так підтримується температура на рівні +24–32 °С навіть при сильних морозах. Коли температура ззовні підвищується, бджоли менш щільно розташовуються і скупчення стає більш пухким. У жарку погоду бджоли влаштовують крилами протяг і таким чином знижують температуру у центрі скупчення.

Для багатьох видів взаємовигідним є об'єднання особин у групи. Це полегшує пошук здобичі, допомагає захищатися від ворогів і переживати несприятливі впливи абіотичних чинників.



Мал. 18. Скелети передніх кінцівок деяких хребетних (ідея ілюстрації

[https://en.wikipedia.org/wiki/Evidence\\_of\\_common\\_descent](https://en.wikipedia.org/wiki/Evidence_of_common_descent))

Клітина є біосистемою, що «відповідає» за *фізіологічні адаптації*. Вони ґрунтуються біохімічних реакціях, що відбуваються в організмі, наприклад, вивільнення значної кількості води у тварин пустелі завдяки особливостям метаболічних процесів, спеціалізація травних ферментів залежно від складу їжі, тощо.

Пристосування до умов середовища відбуваються на різних рівнях організації життя. Так, при зміні умов на клітинному рівні відбувається зниження швидкості реакцій синтезу, активація гідролітичних ферментів, у рослинних клітинах спостерігається підвищення концентрації етилену (його називають гормоном тривоги), гальмування процесів росту. Вказані явища свідчать про зміну активності метаболізму клітини. На думку вчених, таке гальмування метаболізму при зміні умов середовища має пристосувально-захисний характер, оскільки дозволяє клітинам заощаджувати енергію і зберігати життєвий потенціал для наступної репарації (від лат. *reparatio* – відновлення).



Мал. 19. Рафлезія  
(джерело <http://surl.li/rpgrx>)

За характером змін адаптації бувають пов'язані з ускладненням або спрощенням морфологічної організації. Наприклад, активний спосіб життя пов'язаний із розвитком органів захисту і нападу, а при паразитизмі спостерігається редукція ряду органів. Наприклад, безхлорофільна рафлезія не має листків, стебла, кореня, живиться комахами (мал. 19).

**ШЛЯХИ ВИНИКНЕННЯ АДАПТАЦІЙ.** Виокремлюють три основні шляхи пристосування живих організмів до умов середовища: активний шлях, пасивний шлях, уникнення несприятливих впливів.

**Активний шлях** — це посилення опірності, розвиток регуляторних процесів, що забезпечують гомеостаз і здійснення всіх життєвих функцій організмів, незважаючи на відхилення екологічного чинника від оптимуму. Прикладом активного шляху пристосувань до змін температури є теплокровні тварини, менша активність у цьому виявляється у холонокровних.

**Пасивний шлях** полягає у підпорядкуванню життєвих функцій організму до несприятливих для нього змін умов середовища. При цьому життєдіяльність уповільнюється або припиняється, але можливе її відновлення із настанням сприятливого періоду. Пасивний шлях адаптації до впливу несприятливих температур властивий рослинам і холонокровним тваринам. У випадку недостатньої кількості тепла відбувається пригнічення життєдіяльності й зниження рівня метаболізму, що сприяє економним витратам запасів енергії. Компенсаторно підвищується стійкість клітин і тканин. Пасивна адаптація до змін водного режиму властива деяким водоростям, лишайникам, нематодам та іншим організмам: вони здатні витримувати пересихання водою. Деяким птахам і ссавцям теж властивий пасивний шлях пристосування, що ілюструють анабіоз і впадання у сплячку.

Уникнення несприятливих впливів полягає у сформованості таких життєвих циклів, у яких найбільш вразливі стадії розвитку завершуються в періоди із сприятливими умовами. Наприклад, пристосування до посухи рослин-ефемероїдів полягає в тому, що вони відцвітають у короткий весняний період; фаза лялечки у комах припадає на несприятливий період.

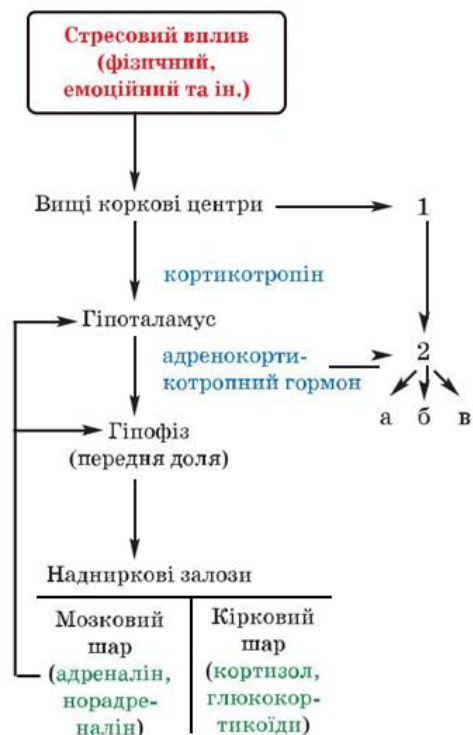
**СТРЕС ТА АДАПТАЦІЯ БІОСИСТЕМ.** У разі відхилення екологічного чинника від оптимальних значень спостерігається пригнічення життєдіяльності організму. При цьому виникає стресовий стан. Чинник, що викликає стрес, називається стресором. Так, стресорну дію можуть мати спека і голод, горе і радість, їжа та ліки.

**Стресом** (від англ. *stress* – напруга) називають адаптивну реакцію організму на вплив стресорів. Дія стресора залежить від його величини, тривалості впливу й опірності організму. У відповідь на дію стресорів у клітині активізуються гени, що кодують синтез так званих стресових білків, які виконують захисну функцію. Наприклад, при високих температурах синтезуються білки теплового шоку, толерантні до перегріву. Ці білки допомагають клітині вижити при дії температурного стресора та відновити фізіологічні процеси після його припинення.

Численні дослідження фізіологів рослин і тварин свідчать про те, що різноманітні за природою стресові чинники середовища зумовлюють універсальну реакцію організмів, у продукуванні якої бере участь гормональна система. Дослідженнями встановлено, що у рослин цю функцію здатні виконувати фітогормони. Наприклад, при дії таких стресових чинників, як посуха і перегрівання, у рослин захисний ефект мають фітогормони цитокініни, які перешкоджають руйнуванню білоксинтезуючого апарату, а також абсцизова кислота, яка посилює поглинання води коренями і пригнічує транспірацію.

У більшості хребетних головними компонентами стрес-реакції організму є гіпоталамус, гіпофіз і наднирники, а її сила оцінюється за концентрацією в крові глюкокортикоїдів — «гормонів стресу». Загальна схема реакції тваринного організму на дію стресорів представлена на схемі 5.

При всій різноманітності живих істот доведено спільну ознаку: реалізація антистресових програм потребує значних витрат енергії організму, що супроводжується одночасно зниженням енергетичного забезпечення процесів життєдіяльності. Тому актуальним напрямом досліджень є вивчення і використання речовин, які, подібно до фітогормонів, виявляють антистресовий ефект. Стійкість організму до несприятливих умов може проявитися лише за наявності у нього певних адаптаційних можливостей, сукупність яких складає адаптаційний потенціал організму.



*Схема 5.* Реакції організму тварини на стресовий вплив: 1 — автономна нервова система; 2 — адаптивні поведінкові реакції: а — підвищення активації; б — боротьба чи втеча; в — навчання і запам'ятовування

Учених цікавлять засоби і заходи, що забезпечують підвищення адаптаційного потенціалу організму. Про важливість цієї проблеми свідчить той факт, що чим вищий адаптаційний потенціал організму, тим більша стійкість до несприятливих чинників, отже, вища його життєздатність. Цей аспект має важливе практичне значення для рослинництва, тваринництва, медицини.

Установлено, що стійкість рослин до несприятливих чинників набувається під впливом речовин з антистресовим ефектом. В останні десятиліття винятковий інтерес дослідників привертають біологічно активні речовини рослинного походження брассиностероїди, які характеризуються

структурною подібністю зі стероїдними гормонами тварин (естрогену, тестостерону). Ці речовини підвищують стійкість рослин до низької і високої температур, посухи, засолення, дії патогенів. Широкий спектр дії цих фітогормонів дозволяє розглядати їх як перспективний засіб для підвищення адаптаційного потенціалу рослин.

Стрес, викликаний біотичними чинниками, називається біотичним стресом. Він супроводжується перебудовою захисних сил організму і характеризується стереотипною (приблизно однаковою у різних особин) відповіддю організму на дію стресора. Стрессовою ситуацією для рослин є поїдання їх травоядними тваринами. У відповідь рослини синтезують різні речовини, що перешкоджають цьому.

Наприклад, антилопи поїдають листя акації, а ці дерева виділяють етилен («гормон стресу» у рослин), який активізує синтез у рослинному організмі танінів — фенольних сполук, отруйних для тварин. Такий «етиленовий сигнал» поширюється повітрям, тож і рослини, які не були ушкоджені тваринами, починають посилено утворювати таніни. Цей приклад ілюструє важливе положення: головне призначення стресу — мобілізація захисних сил організму у критичній ситуації. Проте небезпека стрессової реакції полягає в тому, що вона виснажує організм. Реагуючи на несприятливі чинники, організм повинен витратити більше енергії, змінювати режим процесів життєдіяльності.

## Перевір себе

1. Наведи по два приклади адаптацій біосистем організмів та екосистемного рівнів організації життя. Поясни роль клітинного рівня у формуванні вказаних адаптацій.
2. В яких галузях необхідні знання про адаптації організмів? Заповни таблицю 7 відповідною інформацією.

## Використання знань про адаптації організмів

<i>Галузь застосування</i>	<i>Напрямок використання</i>	<i>Місце роботи</i>

3. Які адаптації : 1) полегшують пошук корму а) хижакам, б) рослиноїдним тваринам;

2) допомагають рослинам а) захищатися від поїдання, б) переживати нестачу вологи; в) виживати на ґрунтах з низьким вмістом Нітрогену;

3) допомагають тваринам: а) захищатися від ворогів, б) переживати нестачу вологи, в) виживати в умовах низьких температур?

Відповіді на запитання оформи у вигляді таблиці, в якій також зазнач молекулярні/ клітинні основи вказаних адаптацій.

4. Назви сучасні методи дослідження адаптацій, укажи їх переваги та обмеження.

5. Оціни твердження: будь-який стрес має адаптивний характер, але не можна вважати будь-яку адаптивну реакцію організму стресовою.

## Працюй з джерелами інформації

Використовуючи набуті у попередні роки біологічні знання і додаткові джерела інформації, склади схему «Генетичні основи формування адаптацій». Підготуй матеріал для лекції на цю тему.

## Як ти вважаєш..

- чи існують ідеальні адаптації? Наведи 5 прикладів, що доводять твою думку.
- чому мутації є матеріалом для адаптацій? Аргументуй свою відповідь.

## § 7. АДАПТУВАННЯ ЛЮДИНИ ДО СЕРЕДОВИЩА ЖИТТЯ

Пригадай

- На яку із форм мінливості вплине випадкове поєднання гамет при заплідненні?
- Чим небезпечні ?

### ОСОБЛИВОСТІ БІОТИЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ЛЮДИНИ.

Характеризуючи організм людини як біологічну систему заслуговує на увагу питання біотичних взаємозв'язків з мікроорганізмами. На кількісний і якісний склад такого співжиття впливають різноманітні чинники, зокрема стать, вік, особливості харчування, спосіб та умови життя, клімат та інші.

В усіх частинах тіла людини мешкають представники бактерій, грибів, найпростіших, вірусів. Особливо різноманітними у видовому і кількісному складі співмешканцями організму людини є бактерії. Так, у ротовій порожнині основна маса мешканців зосереджена у зубному нальоті: в 1 г сухої маси нальоту міститься не менше 250 млн. прокариотів. Постійними мешканцями ротової порожнини людини є стрептококи, лактобацили, актиноміцети, мікоплазми, а також дріжджові гриби, найпростіші, віруси. При порушенні балансу цих мікроорганізмів розвиваються карієс, пародонтоз та інші хвороби. У шлунку кількість бактерій менша, переважають представники аеробів. Близько 200 видів анаеробних бактерій мешкають у товстому кишечнику.

Серед співмешканців нашого організму є нейтральні мікроорганізми, які не викликають порушень фізіологічних функцій, корисні і патогенні (від грец. *патос* – хвороба, *генао* – народжувати), тобто ті, які викликають захворювання людини. До патогенних прокариотів належать сальмонели – збудники сальмонельозів, паратифу і черевного тифу, хламідії – збудники трахоми й орнітозу.

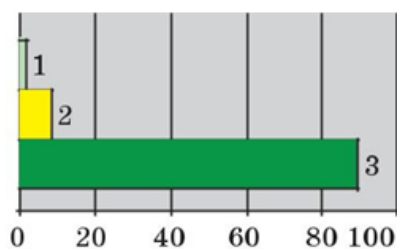
**Патогенність** – це здатність мікроорганізму певного виду у відповідних умовах викликати характерне для нього захворювання; вона є генетично закріпленою ознакою виду. Ступінь патогенності певного штама



мікроорганізму називається *вірулентністю* (від лат. *вірулентус* – отруйний) і є індивідуальною ознакою. Наприклад, бацила сибірської виразки є патогенною, оскільки викликає захворювання на сибірську виразку. Але штам однієї культури викликає захворювання і смерть через 3–4 дні, а іншої – через 6–7 днів. Отже, вірулентність першого штаму вища, ніж другого.

Вірулентність може змінюватись. Її послаблення досягається шляхом впливу на мікроорганізми різних чинників: захисних сил організму, антимікробних препаратів, високої температури, імунних сироваток, дезінфікуючих речовин. Штучне зниження вірулентності патогенних мікроорганізмів широко використовується при виготовленні живих вакцин, що застосовуються для специфічної профілактики різних інфекційних захворювань.

Небезпека патогенів полягає ще у тому, що вони здатні інфікувати потомство людини. Так, представники найпростіших трихомонади, оселяючись у статевих органах людини, викликають трихомоніаз – інфекційне захворювання, що передається статевим шляхом. Трихомонади можуть жити у навколоплідних водах вагітної жінки і потрапити в організм плоду через рот, шкіру, пряму кишку, легені, очі. Зараження ними відбувається вже в утробі матері або під час пологів. Для новонароджених таке співжиття з трихомонадами є вкрай небезпечним, тому що його ускладненням є пневмонія і розвиток серцево-судинних захворювань.

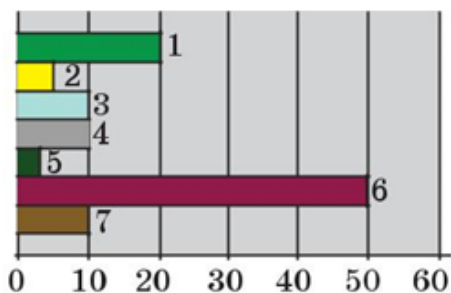


Мал. 20. Мікрофлора людини (норма):

- 1 — додаткова мікрофлора;
- 2 — лактобактерії;
- 3 — біфідобактерії

Мікроорганізми, які мешкають на шкірі та слизових оболонках (наприклад, у статевих органах і верхніх дихальних шляхах) тіла людини, утворюють мікрофлору. Вам відомо, що нормальна мікрофлора відіграє важливу роль у формуванні захисних реакцій організму.

Мікрофлору шлункового тракту утворюють корисні симбіотичні бактерії, зокрема біфідобактерії, лактобактерії та багато інших (мал. 20).



Мал. 21. Мікрофлора людини (дисбактеріоз):

- 1 — біфідобактерії;
- 2 — лактобактерії;
- 3 — додаткова мікрофлора;
- 4 — грибки; 5 — віруси;
- 6 — патогенні бактерії;
- 7 — гельмінти

На їх кількості й діяльності позначається нераціональне харчування людини і прийом антибіотиків для боротьби із захворюваннями. У результаті подібного лікування часто відбувається знищення не лише хвороботворних бактерій, але й корисних. При цьому кількість патогенних бактерій зростає і, як наслідок, розвивається дисбактеріоз (від грец. *дис* — порушення) (мал. 21).

## БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ АДАПТАЦІЇ ЛЮДИНИ ДО СЕРЕДОВИЩА.

На функціонування організму людини впливає зовнішнє біологічне і соціальне середовище. Основним показником ступеня адаптації організму до чинників середовища є здоров'я. Екологічний оптимум існування людини на основі біологічних механізмів обмежений, і можливість широкого розселення досягається не шляхом значних біологічних змін організму, а шляхом створення так званого штучного середовища навколо себе.

Оскільки основою життя є обмін речовин, адаптація реалізується через пристосувальні зміни метаболізму і підтриманні його на рівні, що відповідає новим умовам. Розглянемо основні фази адаптації людини у загальному вигляді.

При зміні екологічних чинників перші зміни виникають у системі кровообігу й дихання, а керівну функцію виконують нервова і гормональна системи. Це перша (аварійна) фаза адаптації. Реакції організму при цьому неекономічні, регуляторна робота нервової системи слабо узгоджена.

Перехідною до стійкої фази адаптації є друга фаза. Вона характеризується зменшенням загального збудження нервової системи, формуванням функціональних систем, що забезпечують управління адаптацією до нових умов. У ході другої фази пристосувальні реакції організму переключаються на більш глибокий тканинний рівень, гормональний фон змінюється, активізуються гормони кори наднирників (гормони адаптації). Третя фаза – фаза стійкої адаптації – є власне адаптацією і характеризується мобілізацією енергетичних ресурсів, підвищенням синтезом білків, мобілізацією імунної системи. У третій фазі організм набуває **резистентності** (від лат. – опір, протидія) – стійкості організму.

Таким чином, адаптація організму людини являє собою ланцюг реакцій різних систем, одні з яких змінюють свою діяльність, а інші – регулюють ці зміни.

Основу адаптації становить природна фенотипова мінливість, що визначається генотипом. Поява нових ознак, які раніше не виявлялися у предків, можливе як у результаті мутації, так і при прояві рецесивної ознаки у разі її наявності в генотипі двох батьків.

Біологічна основа пристосувальних і захисних механізмів організму людини яскраво простежується при переході у мешкання з екстремальними умовами. Так, жителі помірного клімату, які приїхали в Антарктиду чи Арктику, опиняються у незвичних для помірних широт умовах, зокрема: різко зниженому вмісту мікроорганізмів у ґрунті й повітрі, життя у малих групах. У таких людей тривалий час спостерігаються хворобливі відчуття, які проявляються у різких змінах артеріального тиску і частоти пульсу. Знання цих явищ враховуються у рекомендаціях медиків і гігієністів, які обмежують тривалість робочого дня для працівників, які прибули за межі полярного кола. Так, при температурі до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  і швидкості вітру 4–8 м/с основний склад робітників полярної станції може працювати повний робочий день, тоді як ті, хто щойно приїхав – не більше 1 години.

З часом функціональні показники повертаються до нормального рівня. У деяких вони залишаються незмінними, порівняно з вихідними значеннями, які спостерігались до приїзду в Арктику, але відновлюються самопочуття і працездатність. У таких випадках йдеться про акліматизацію до нових умов існування.

Чинники середовища можуть впливати на генетичний апарат клітин (мутагени, канцерогени), процес розвитку організму (тератогени), нервову та імунну системи та інші.

Організм людини має захисні системи, здатні протистояти несприятливим впливам середовища. Першу систему захисту утворює шкіра, а також слизові оболонки легень і травного тракту. Другою захисною системою є печінка, що забезпечує детоксикацію шкідливих речовин, які все ж таки потрапили до організму з їжею. Головною захисною системою, що забезпечує захист цілісності й здоров'я організму, є імунна система. Саме вона, за даними медиків, найбільш потерпає від різноманітних захворювань.

## Перевір себе

1. Склади схему «Чинники середовища життя людини».
2. Підготуй розповідь про адаптації до чинників, зазначених у схемі з попереднього завдання.
3. Чим характеризується вірулентність мікроорганізмів? Як її можна послабити?
4. Які існують проблеми адаптації організму людини до навколишнього середовища?

## Працюй з джерелами інформації

Використовуючи додаткові джерела інформації, підготуй реферат про історію і сучасні досягнення у вивченні мікробіому людини.

## Як ти вважаєш..

- як теорія еволюції може пояснити різноманітність людських рас і відмінності в кольорі шкіри?

## § 8. СТВОРЕННЯ ОРГАНІЗМІВ - СИНТЕТИЧНИХ БІОСИСТЕМ

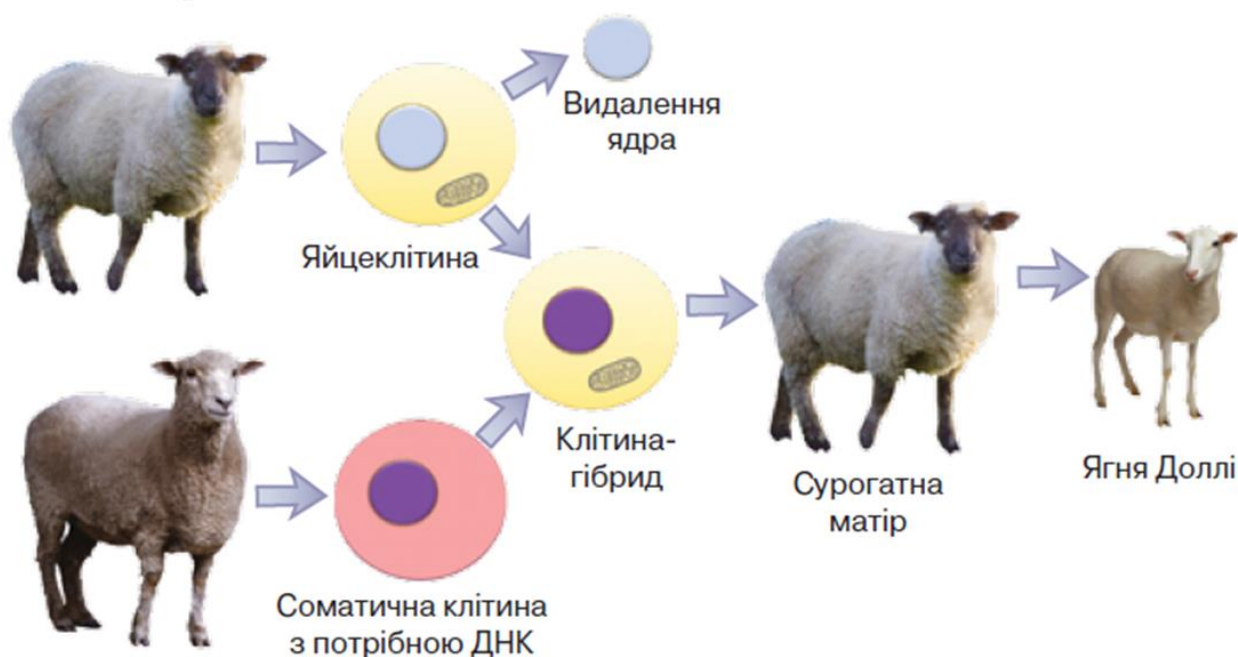
Пригадай

- Як відбувається реплікація ДНК?
- Що таке ембріогенез і від чого він залежить?

Генетична інженерія дозволяє копіювати генетичний матеріал або змінювати його в цілому організмі, що уможливило створення організмів з новими, раніше не властивими їм якостями (зазвичай цінними для людини).

**КЛОНУВАННЯ.** У природі поширені рослини і тварини з однаковим генетичним матеріалом, які утворюються в результаті нестатевого розмноження. У людей генетичними копіями є однайцеві близнюки. Отримання генетично ідентичних особин має назву **клонування**. Генетично ідентичні копії організмів називаються клонами. У сучасній науці під клонуванням розуміють копіювання генів, клітин і багатоклітинних організмів у лабораторних умовах. Основа клонування організмів – явище тотипотентності, тобто здатність однієї клітини багатоклітинного організму завдяки поділу давати початок повноцінному організму. Клонування тварин принципово відрізняється від клонування рослин, адже в ембріогенезі у процесі диференціювання клітини тварин, на відміну від клітин рослин, втрачають тотипотентність.

Уперше методи **клонування тварин** були використані на амфібіях у середині ХХ ст. Проте найбільш відомим стало клонування вівці Доллі (мал. 22), що є прикладом *клонування соматичних клітин*, або *пересадки ядер*.

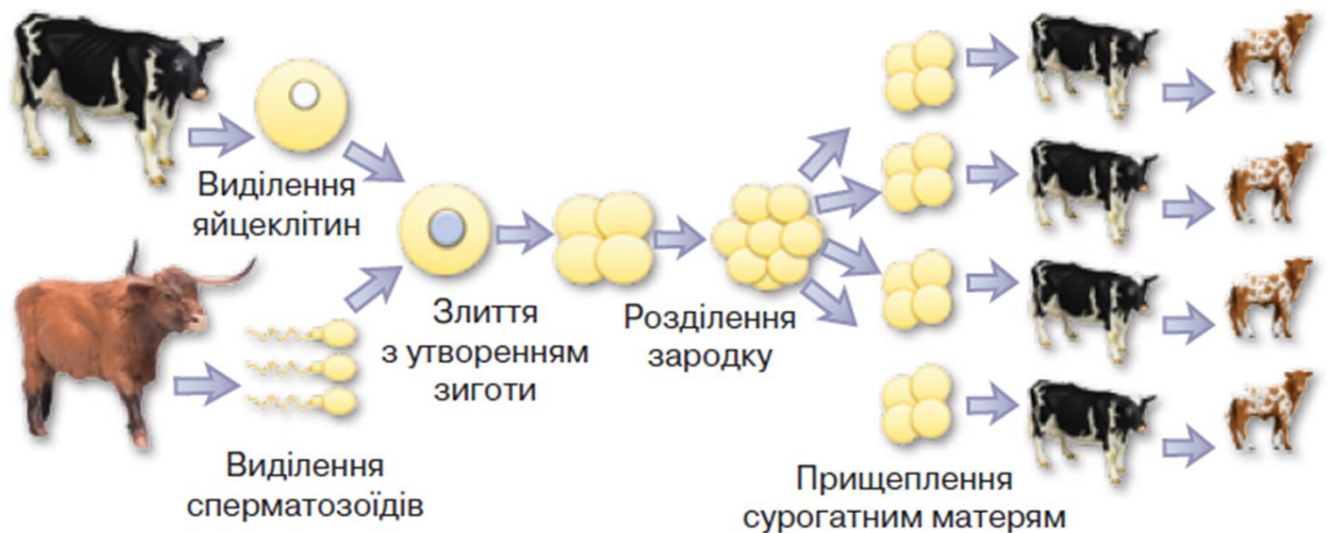


Мал. 22. Схема клонування вівці Доллі

Пересадка ядер – метод клонування, за якого ядро соматичної клітини організму переноситься у вільну від ядра яйцеклітину, унаслідок чого утворюється клон вихідної особини.

При клонуванні соматичних клітин новонароджений організм є генетичною копією організму, що був донором диплоїдного ядра.

Інший спосіб клонування тварин, який широко використовується у тваринництві, має назву клонування ембріонів. Це клонування починається з того, що здійснюють виділення яйцеклітин від корови та сперматозоїдів від бика. Поза межами організмів проводять злиття вилучених гамет з утворенням зиготи. Вона розвивається й на етапі, коли зародок складається вже із 16 клітин, його розділяють і переносять сурогатним матерям. Після цього від різних матерів народжується покоління генетично ідентичних організмів – клонів (мал. 23). Такий метод застосовують для клонування свійських тварин на великих фермах.



Мал. 23. Схема клонування ембріонів

**Клонування людини** з біологічної точки зору є перспективним напрямом біотехнології, але його важко реалізувати на практиці. Адже серед усіх дослідів із клонування частка успішно проведених є відносно невеликою. Наприклад, у випадку вівці Доллі експеримент мав успіх лише на 277 спробі його втілення. В інших випадках у клонованого організму спостерігалися суттєві анатомічні й фізіологічні вади та відхилення від нормального розвитку. Також питання клонування людини є дискусійним з точки зору біоетики.

Біоетика – сукупність етичних і моральних поглядів щодо діяльності людини у сфері біології та медицини. Отже, клонування людини є проблематичним з огляду на технічні аспекти та питання біоетики, тому що це вважається аморальним і ризикованим (створені організми матимуть схильність до різних вад розвитку).

**Клонування рослин.** Рослинам властиве статеве і нестатеве розмноження. При статевому розмноженні утворюється неоднорідне в генетичному плані потомство, яке відрізняється як між собою, так і від материнського організму. При вегетативному розмноженні всі утворені особини є клонами материнського організму. Проте дерев'янисті рослини та деякі інші не розмножуються вегетативно в природних умовах.

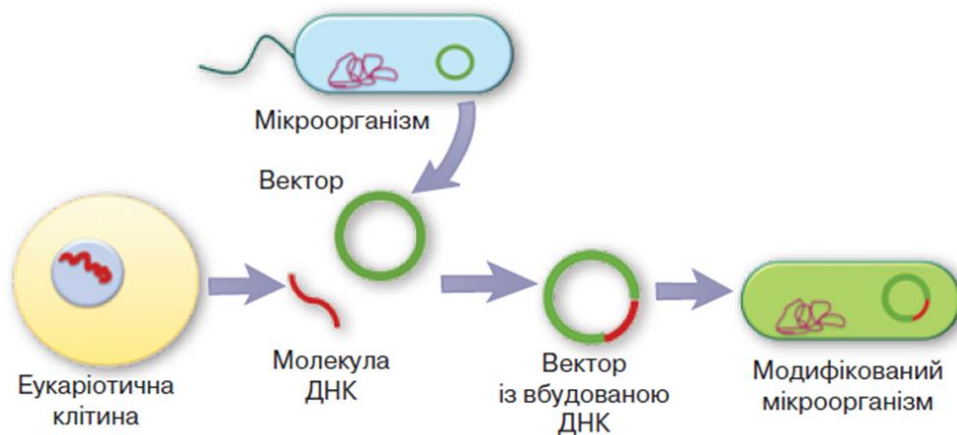
Для вирішення цієї проблеми був створений метод *клонального мікророзмноження* – нестатевого розмноження рослин у лабораторних умовах. Унаслідок цього утворюються організми, ідентичні материнській рослині. Цей метод має переваги, зокрема – відсутність хвороботворних факторів у клонованих рослинах і велика швидкість відтворення.

**ТРАНСГЕННІ АБО ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ (ГМО).** Сучасний напрям генетичної інженерії – одержання **генетично модифікованих (ГМО) або трансгенних організмів**. Так називають живих істот, в геном яких уведено трансгени (від лат. *транс* – через і *ген*), тобто чужорідні для цього виду організмів гени (наприклад, гени бактерій, грибів, рослин або тварин).

Якщо перемістити частину ДНК одного організму, що містить інформацію про певний продукт, в інший організм, то він також зможе синтезувати цей продукт. Така процедура дістала назву генетичної трансформації, що полягає у зміні спадкового матеріалу певного організму.

Уявімо, що вам необхідно передати файл з одного комп'ютера на інший без використання мережі Інтернет. Найбільш зручним способом, яким можна це зробити, є використання USB-накопичувача («флешки»). Спочатку ви копіюєте файл з першого комп'ютера на «флешку», а потім з неї – переписуєте його на другий комп'ютер. Зазвичай вектори отримують з інших організмів (бактерій або вірусів). Аналогічно до того, як на «флешці» можна записати або видалити файли, можна «завантажувати» й «видаляти» інформацію у векторі. Загальна схема переносу генів представлена на малюнку 24 .





Мал. 24. Схема перенесення генів з одного організму в інший за допомогою вектора

Водночас створення генетично модифікованих організмів є дискусійним питанням з огляду на їхню біобезпеку. **Біобезпека (біологічна безпека)** – стан відсутності негативного впливу біологічних об’єктів на довкілля та здоров’я людини.

Біобезпека передбачає всебічне дослідження властивостей організмів та їх впливу на довкілля. З позицій біологічної безпеки генетично модифікованих організмів розглядають можливі негативні впливи цієї групи організмів на інші біологічні системи. Серед гіпотетичних негативних наслідків використання таких організмів – харчові алергії, токсична або канцерогенна дії (від англ. *канцер* – рак, тобто збільшення ймовірності виникнення раку), перенос генів від модифікованих організмів до інших організмів. Особливе значення має прогнозування змін ознак організмів, отриманих з використанням методів генетичної інженерії.



У різних країнах законодавством установлюються межі використання генетично модифікованих організмів з огляду на основні засади біобезпеки, зокрема обов'язковим є маркування товарів про вміст продуктів ГМО.

Згідно з чинним законодавством України, існує перелік продукції, щодо якої повинен обов'язково здійснюватися контроль вмісту генетично модифікованих організмів

**ХИМЕРНІ ОРГАНІЗМИ** складаються з генетично різнорідних клітин, які походять від різних зигот. Цих істот також називають біологічними химери. У давньогрецькій міфології Химера – це безсмертне чудовисько з тілом кози, головою лева і хвостом дракона.

Термін «химери» у 1907 році запропонував німецький ботанік Х. Вінклер для позначення рослин, які він отримав в прищепивши паслін на пагін томату. Натепер у садівництві біологічні химери доволі поширені: вони розвиваються, коли прищепу (вічко або живець культурної рослини, наприклад сортової яблуні, груші) зрощують з підщепою (дичкою).

Для рослинництва мають значення химери, які виявляють якісь переваги перед звичайними рослинами (врожайність, стійкість, незвичайний фенотип (мал. 25). У лабораторіях отримують химерні рослинні організми для створення декоративних рослин.



фіалки



колеус

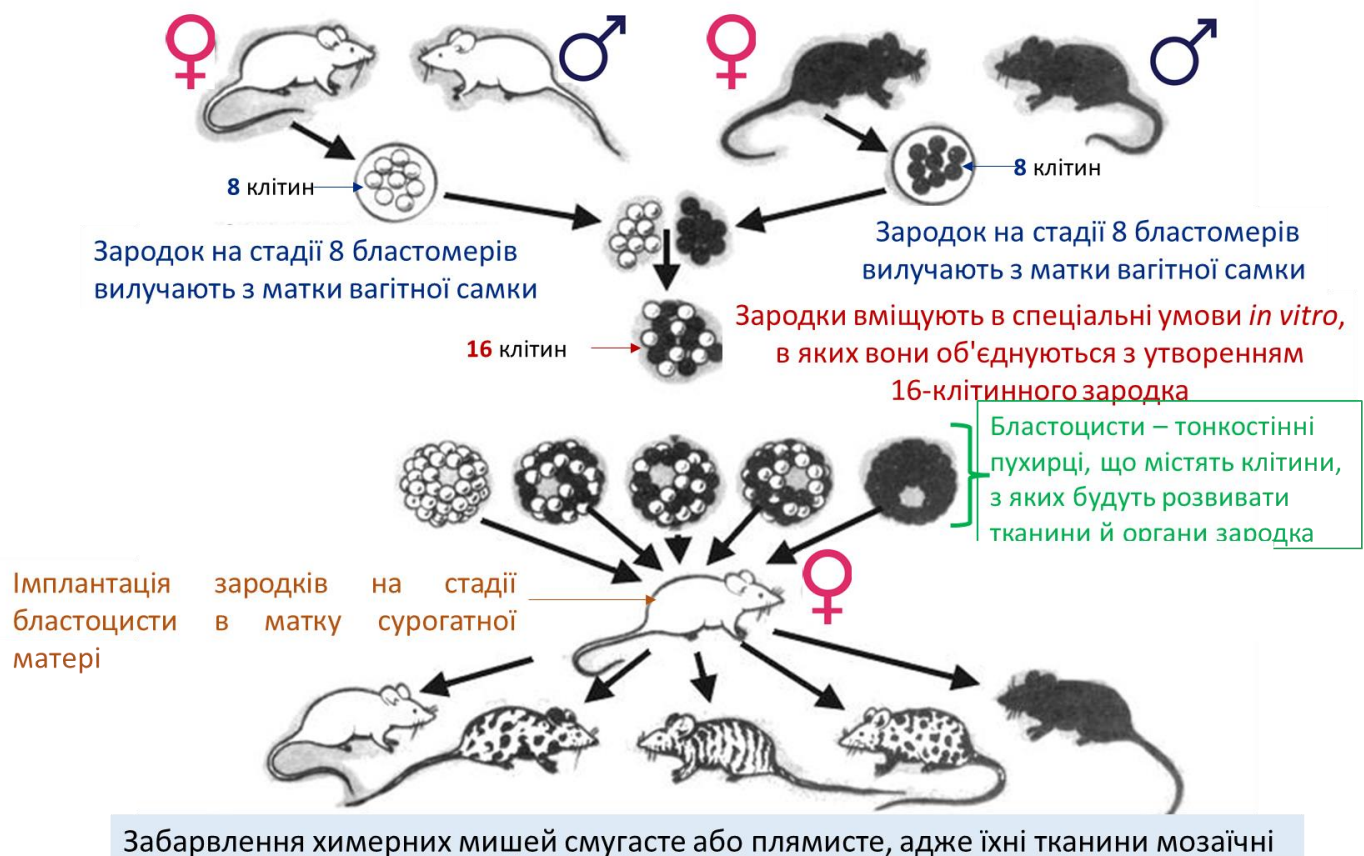


дифенбахія

Мал. 25. Кімнатні рослини з строкатим забарвленням квіток і листків – приклади химер (джерела <http://surl.li/rqpus>, <http://surl.li/rqpwi>, <http://surl.li/rqpxl>)

Отримання химер допомагає також моделювати різні шляхи еволюції. Наприклад, усталена нині теорія симбіогенезу передбачає, що мітохондрії в еукаріотичних клітинах походять від симбіотичних бактерій. Вчені змогли змоделювати симбіогенез: були отримані химерні клітини дріжджів, в яких роль мітохондрій виконують бактерії кишкової палички.

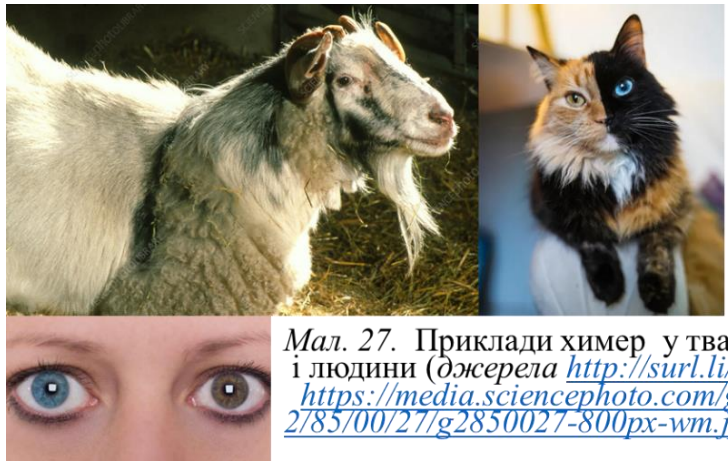
Для дослідження химери тварин створюють штучно, наприклад пересаджують клітини ембріона від одного організму в ембріон другого і створюють умови *in vitro* для розвитку бластоцисти. Стадія бластоцисти триває до імплантації зародка в стінку матки сурогатної матері, у якої напередодні з допомогою гормонів викликають несправжню вагітність. Відбувається розвиток зародків і результаті народжуються химерні організми (мал. 26).



Мал. 26. Схема отримання химерних тварин

(джерело <http://surl.li/rqqmi>, зміни на схемі: замінено символи і підписи)

Наприклад, химера вівці й кози (мал. 27) отримана з клітинного матеріалу цих різних видів організмів. У домашньої кози – 60 хромосом, у вівці – 54. Химера утворилась в результаті статевого розмноження і має чотири материнські/ батьківські організми.



Мал. 27. Приклади химер у твар і людини (джерела <http://surl.li/> <https://media.sciencephoto.com/g/2785700/27/g2850027-800px-wm.jp>

Химерні клітини (наприклад, гібридні клітини миші і курки, людини й миші) використовують для картування генів, вивчення сумісності тканин при трансплантації органів, з'ясування причин утворення пухлин тощо.



### Підготуйся до дискусії «Синтетичні організмові біосистеми: переваги і ризики використання»

Орієнтири для підготовки до дискусії.

- Дізнайся, які сучасні способи отримання синтетичних організмових біосистем використовують у світовій практиці. Склади їх рейтинг.
- Зазнач, які проблеми людства вдалося розв'язати завдяки таким організмам.
- З'ясуй, наскільки виправдане створення ГМО і біологічних химер з ефективним, етичним та економічно виправданим є створення біологічних химер?
- Добери інформацію про застосування клонів, трансгенних і химерних організмів контексті біоетики та біобезпеки.

### Перевір себе

1. На чому ґрунтується визначення клонів, ГМО і химерних організмів біологічними системами?
2. Поясни відмінності, переваги й недоліки клонування рослин і тварин.
3. Обери правильні твердження:

А методи клонування застосовуються для отримання генетично однорідного потомства з бажаними ознаками

**Б** методи клонування дозволяють отримувати генетично неоднорідне потомство рослин і тварин з бажаними ознаками

**В** при клонуванні соматичних клітин новонароджений організм є генетичною копією організму-донора яйцеклітини

**Г** у результаті поєднання клітин різних видів або різних зародків на ранніх стадіях ембріогенезу отримують химерні організми.

4. Склади й заповни таблицю «Порівняльна характеристика генетично модифікованих і химерних організмів».

### Працюй з джерелами інформації

Добери інформацію для рубрики «Крок до кар'єри» і заповни нею таблицю 8.

Таблиця 8

#### Використання способів створення синтетичних біосистем-організмів

<i>Галузь застосування</i>	<i>Напрямок використання</i>	<i>Місце роботи</i>

### Як ти вважаєш..

- який організм оптимальніше клонувати: дорослий чи ембріон? Поясни свою відповідь.
- чи можна вважати клоновані й химерні організми етичною продукцією науки і технологій? Аргументуй свою думку.

## § 9. ЕКОБІОСИСТЕМИ: СКЛАД І РІЗНОМАНІТНІСТЬ

Пригадай

- Як визначити належність біологічного об'єкту до екосистем?
- Які надорганізмові системи виділяють в науці?

До надорганізмових біологічних систем належать різні сукупності організмів: види, популяції, екосистеми, угруповання організмів й біосфера.

**ПОНЯТТЯ ЕКОСИСТЕМИ.** Екосистеми та їх розміри. Термін «екосистема» був запропонований англійським ботаніком А. Тенслі у

1935 році. Тенслі визначав екосистеми основними природними одиницями на Землі.

**Екосистема** (від грец. *ойкос* – житло і система) – єдина сукупність організмів різних видів і неорганічних компонентів, у якій відбувається колообіг речовин і перетворення енергії.

Прикладами екосистем є ділянки навколишнього середовища із сукупністю живих організмів різних видів, між якими існують різноманітні біотичні зв'язки (мал. 28). Це можуть бути дупло дерева і все дерево або ліс, у якому воно росте, краплина води із ставка і весь ставок.



Флораріум



Екосистема ротової порожнини

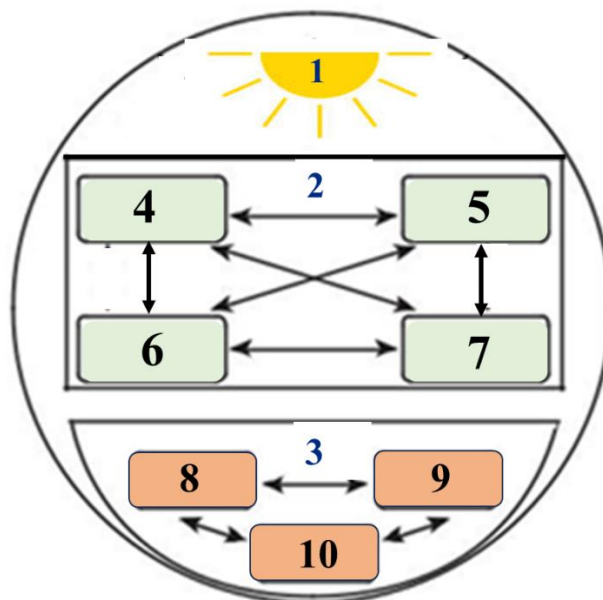


Мал.28. Різноманітність екосистем (джерела <http://surl.li/rpldw>, <http://surl.li/rpldx>, <http://surl.li/rplgs>, <http://surl.li/rplgs>)

Для зручності вивчення вчені розглядають екосистеми як ізольовані природні угруповання на поверхні Землі. Насправді між екосистемами здійснюється постійний обмін речовинами та енергією (як, наприклад, при міграції риби з річок до моря). Таким чином, територіальні обмеження екосистемам не властиві, а відокремлення екосистем одна від одної

здійснюється компонентами неживої природи (наприклад, рельєфом, ґрунтовими чи водними умовами). Термін «екосистема» використовується також для позначення штучних утворень, наприклад, екосистема парку, екосистема житла, екосистема водосховища.

**ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ЕКОСИСТЕМИ.** Компонентами екосистеми є біоценоз і біотоп (мал. 29). Живі істоти екосистеми утворюють **біоценоз** (від грец. *біос* – життя і *коінос* – спільний) – історично сформовану сукупність живих організмів. Вони займають певну ділянку земної поверхні з відносно однотипними умовами існування, що дістала назву біотопу (від грец. *біос* і *топос* – місце).



Мал. 29. Компоненти природної екосистеми:

- 1 — сонячна енергія;
- 2 — біоценоз; 3 — біотоп;
- 4 — фітоценоз; 5 — зооценоз;
- 6 — мікоценоз; 7 — мікробіоценоз;
- 8 — аеротоп; 9 — гідротоп;
- 10 — едафотоп

Масштаби біоценозів варіюють залежно від угруповань (наприклад, подушок лишайників на стовбурах дерев) до населення цілих ландшафтів (наприклад степів, лісів, пустель).

До складу біоценозу входять фітоценоз, зооценоз і мікробіоценоз.

**Фітоценозом** (від грец. *фіто* – рослина і *коінос*), називають рослинне угруповання, видовий склад якого визначається умовами існування. Між видами рослин існують біотичні зв'язки. У рослинних угрупованнях рослини різних видів займають не лише різні яруси над землею, але й розташовують кореневу систему на різній глибині.

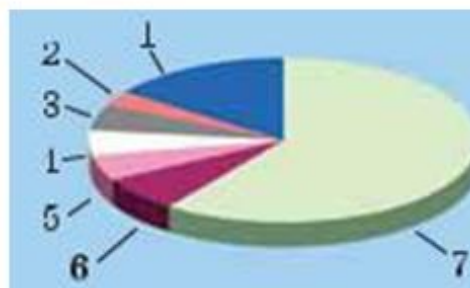
**Зооценоз** (від грец. *зоон* – тварина і *коінос*) угруповання тварин, що характеризується певним видовим складом і біотичними зв'язками між цими видами. Залежно від функції, яку виконує вид у складі зооценозу, виділяють кілька груп видів, наприклад середовищеутворювачі, тобто види, які своєю життєдіяльністю створюють середовище життя для інших та самих себе, «види-наповнювачі», які суттєво не впливають на його функції, проте створюють видову різноманітність зооценозу і тим самим забезпечують стабільність даної екосистеми.

**Мікробіоценоз** (мікробне угруповання) – сукупність популяцій різних видів мікроорганізмів, що мешкають у певному біотопі. Прикладами є мікрофлора кишечника і ротової порожнини, угруповання нітрифікуючих бактерій у ґрунті.

На малюнку 30 показано один із варіантів оптимального для здоров'я людини **мікробіоценозу**, де присутні представники мікроорганізмів, наявні на шкірі, у порожнині рота або кишечника, та їх кількісне співвідношення.

Як видно з діаграми, найбільшу частку становлять бактерії нормофлори, які з людиною вступають у зв'язки взаємовигідного співіснування (пригадайте біологічні особливості симбіотичних бактерій).

Регуляторну функцію у мікробіоценозі виконують медіатори – речовини, які виділяють мікроорганізми і клітини шкіри людини. Це можуть бути сигнальні



Мал. 30. Схема мікробіоценозу:

- 1 — медіатори;
- 2 — найпростіші;
- 3 — гриби;
- 4 — бактеріофаги;
- 5 — віруси;



білкові молекули, вітаміни, лізоцим, 6 — бактерії патогенні;  
різні органічні кислоти та багато 7 — бактерії нормофлори  
інших речовин.

Меншим вмістом характеризуються гриби, віруси, бактеріофаги, найпростіші і хвороботворні бактерії. Якщо під дією несприятливих чинників вказане співвідношення мікроорганізмів зміниться або зникне хоча б один «сектор», в організмі людини розвинуться запальні процеси.

До складу біотопу входять ґрунт (едафотоп), вода (гідротоп) і повітря з кліматичними чинниками (кліматоп).

Існування біотичного компоненту екосистеми характеризують біоценотичні закономірності, сформульовані А. Тінеманом. Перша закономірність дістала назву правила різноманітності умов біотопу: чим різноманітніші умови життя у межах біотопу, тим більшою є кількість видів у біоценозі, що його населяє. Згідно з другою, чим більше відхилення умов існування від оптимуму у межах біотопу, тим більше збіднюється видовий склад біоценозу, що його населяє, і тим більшу кількість особин має кожний присутній вид. Переконатись у цьому можна, порівнявши угруповання тропічних лісів і тундри.

Керуючись біоценотичними принципами Тінемана, можна зробити висновок, що в оптимальних умовах конкуренція між видами в біоценозі посилюється: кожний вид діє на другий як лімітуючий чинник. У несприятливих умовах міжвидова конкуренція знижується (поясніть, з чим це пов'язано). Біоценотичні принципи А. Тінемана покладено в основу сучасних методик розрахунків видового складу біоценозів.

Просторово біотоп відповідає біоценозу. Межі біотопа встановлюються за фітоценозом, оскільки, по-перше, його риси розпізнаються без утруднень (так, сосновий ліс легко відрізнити від ялинового), по-друге, фітоценоз є головним структурним компонентом будь-якого біоценозу, тому що визначає видовий склад зоо-, міко- і мікробіоценозів.

**ПОНЯТТЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НІШІ.** Одну екосистему населяють різні види. Хоча вони живуть разом, кожний займає свою екологічну нішу – ділянку навколишнього середовища, де вид знаходить необхідні умови для життя. Чим краща пристосованість виду до певного екологічного чинника (екологічна валентність), тим ширша екологічна ніша; вона збільшується і при ослабленій конкуренції.

Екологічна ніша відображає участь виду у біоценозі, тому більш повне визначення екологічної ніші формулюється наступним чином: екологічна ніша — положення виду у природі, включаючи його розташування у просторі і функціональну роль у біоценозі.

Відповідні екологічні ніші формуються в результаті розвитку певних адаптацій у різних видів. Так, строката мухоловка і садова горихвістка, які мешкають в одному лісі, живляться літаючими комахами. Але перша полює тільки на рівні крон дерев, а друга – у чагарниках і над ґрунтом. Чим ближчі екологічні ніші популяцій різних видів в одній екосистемі, тим гострішою є конкуренція за ресурси. Внаслідок конкуренції один вид витісняє інший з даної екосистеми, або змінюються їх вимоги до середовища (часу розмноження, характеру їжі, просторового розміщення).

У природі немає двох видів, які б займали одну й ту саму екологічну нішу, хоча умови життя деяких видів дуже подібні.

З різних причин у екосистемі можуть виявлятися вільні екологічні ніші, що дозволяє з'являтися в угрупованнях новим видам. Так було з випадково завезеним колорадським жуком та кільчастою горлицею, які самостійно заселили більшу частину Євразії.

**РІЗНОМАНІТНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ.** Залежно від розмірів розрізняють мікроекосистеми (калюжа, що утворилась після дощу, мурашник), мезоекосистеми (кораловий риф, листяний ліс, болото), макроекосистеми (океан, пустеля). Глобальною екосистемою є біосфера.

За ступенем трансформації під впливом діяльності людини екосистеми поділяють на:

- природні — екосистеми, не охоплені людською діяльністю;
- антропогенно-природні — складаються майже виключно з природних компонентів, але створені і регулюються людиною (лісові насадження, луки, ниви);
- антропогенні — включають штучно створені компоненти (міста, села в межах забудови, космічні станції, морські кораблі). У таких екосистемах, окрім людей, можуть існувати лише окремі види організмів, які пристосувалися до цих специфічних умов.

В взаємозв'язки між організмами, їх угрупованнями та середовищем їхнього існування вивчає екологія з допомогою низки методів (мал. 31).



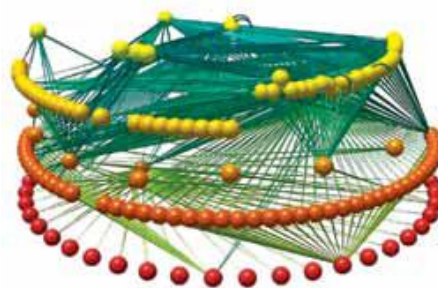
Мал. 31. Методи екологічних досліджень

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОЛІ ВИДІВ В ЕКОСИСТЕМАХ.** Характеристики виду визначають роль, яку він виконує в екосистемі. Нові методи можуть полегшити прогнозування екологічної ролі, яку відіграватимуть види, коли їх навмисно чи ненавмисно введуть у нові середовища існування.

Як на екосистему впливає зникнення одного чи кількох видів або вторгнення нового виду та порушення екологічної системи? Щоб мати

можливість передбачити реакцію екосистем на порушення, важливо розуміти, як види впливають один на одного. У галузі теоретичної екології дослідники відповідають на екологічні питання за допомогою математичних моделей.

Якщо із харчової мережі зникне хоча б один вид, це позначиться на існуванні багатьох інших. Зрозуміти, наскільки тісними є зв'язки видів в екосистемах, допомагає комп'ютерна модель трофічної сітки в екосистемі, створена американськими вченими (мал. 32).



Мал. 32. Комп'ютерна модель трофічної мережі екосистеми

Кульки на моделі символізують види організмів: червоні – рослини, оранжеві – рослиноїдних тварин, жовті – хижаків.

Дослідники використали дані шести складних морських харчових мереж, від тропіків до полюсів, і перевірили, чи існує зв'язок між екологічною роллю видів і деякими легко вимірними характеристиками. Натепер розробляються додаткові дослідження, щоб з'ясувати, чи роль видів у наземних середовищах існування подібним чином пов'язана з характеристиками екосистем.

## КРОК ДО КАР'ЄРИ

Таблиця 9

### Використання методів дослідження екосистем

Фахівець	Роботодавець	Вимоги до фахівця
Еколог	Хімічна промисловість, фармацевтика	Здійснення контролю за додержанням у підрозділах підприємства чинного екологічного законодавства, інструкцій, стандартів і нормативів з охорони навколишнього середовища, сприяння зниженню шкідливого впливу виробничих факторів на життя і здоров'я працівників
Фахівець з	Сільське	Облік відходів в Державній

екології	господарство, агробізнес	інформаційну онлайн систему управління відходами
Менеджер з екології	Сільпо, мережа супермаркетів	Системи екологічного менеджменту відповідно до вимог і положень міжнародних стандартів; упровадження та контроль ефективності проектів з питань екології; аналіз світових екологічних стратегій та практик, ініціація їх впровадження в компанії; розрахунок вартості екоініціатив

### Перевір себе

1. Сформулюй визначення екосистеми. Поясни терміни на малюнку 29.
2. Які екологічні закономірності проявляються в існуванні біоценозу і біотопу?
3. Склади схему, що відображає зв'язок між екосистемою, біотопом, біоценозом.
4. Класифікуй за відомим тобі ознаками екосистеми, поширені на двох материках. Наведи приклади організмів, які займають подібні екологічні ніші на цих материках.
5. Доведи або спростуй твердження: «Екологічна ніша – наслідок адаптацій організмів певного виду до існування в екосистемі».

### Працюй з джерелами інформації

Користуючись додатковими джерелами інформації, підготуй повідомлення на тему «Біоми у гідросфері»

### Як ти вважаєш..

- наскільки правомірним є визначення екологічної ніші «професією» виду в екосистемі, до якого вдаються деякі дослідники?

## § 10. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН В ЕКОСИСТЕМАХ НА БІОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЯХ (АКВАРІУМ)

**Мета:** простежити зміни, що відбуваються в природних екосистемах під впливом різних чинників на прикладі штучної екосистеми.

**Об'єкти, обладнання:** акваріум і його мешканці, лупа, мікроскоп, предметні та покривне скельця.

Для виконання дослідження необхідно:

<b>Знати:</b>	<b>Вміти:</b>
- сутність поняття «динаміка екосистем»	- досліджувати біологічні об'єкти і процеси на моделях
- види моделей, які використовують в біологічних дослідженнях	(наданих/власноруч створених), фіксувати дані, інтерпретувати результати, формулювати висновки

### *Інструктивна картка*

*Примітка.* Виконанню роботи передують підготовчий етап: у тимчасовий акваріум помістити кілька гілок кушків елодеї і двох-трьох моллюсків; опишіть стан акваріуму: прозорість води; температура води; наявність пухирців повітря, мікроорганізмів та інші; помістити один тимчасовий акваріум у темне прохолодне місце (акваріум №1), а другий виставте на освітлюване місце в теплому приміщенні (акваріум 2); залиште акваріуми на тиждень.

1. Досліди стан тимчасових акваріумів. Визначте, чи відбулася зміна чисельності їх мешканців.
2. Акуратно піпеткою набери проби води біля поверхні і біля дна акваріумів.
3. Приготуй два тимчасових мікропрепарати і розглянь їх під мікроскопом. Опиши, які мікроорганізми вами виявлено.
4. З допомогою ручної лупи спостерігай поверхню акваріума. Чи є наліт на стінках акваріума, чи плавають дрібні рачки – циклопи і дафнії у товщі води?
5. Результати оформи у вигляді таблиці 10, для якої запиши назву.

Параметр	Тимчасовий акваріум №1		Тимчасовий акваріум №2	
	на початку досліджу	в кінці досліджу	на початку досліджу	в кінці досліджу
Температура води				
Прозорість води				
Наявність пухирців повітря				
Наявність мікроорганізмів				
Наявність дрібних ракоподібних				

6. Запропонуй перелік умов, необхідних для стійкого і тривалого існування розглянутої екосистеми.

Зроби висновок про характерні ознаки штучних екосистем та умови їх існування.

## **§ 11. ВИЯВЛЕННЯ АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН В ЕКОСИСТЕМАХ СВОЄЇ МІСЦЕВОСТІ**

**Мета:** удосконалювати уміння виявляти й оцінювати вплив діяльності людини на екосистеми у процесі дослідження.

**Завдання 1.** Охарактеризувати антропогенні зміни в природних екосистемах своєї місцевості.

**Завдання 2.** Спрогнозувати можливі зміни екологічної ситуації та їхні наслідки для компонентів екосистем.

Для виконання роботи необхідно:

**Знати:**

- сутність поняття «антропогенний чинник»
- види антропогенних змін в екосистемах

**Вміти:**

- проводити біологічні спостереження, фіксувати дані, інтерпретувати результати, формулювати висновки

**Інформаційна довідка.**

Біологічні спостереження – це процес або діяльність зі спостереження біологічних об'єктів, їх структурно-функціональних характеристик, взаємодії з навколишнім середовищем або будь-яких інших аспектів їх життєдіяльності. Біологічні спостереження можуть бути проведені у природних умовах або в лабораторних умовах з метою наукового дослідження, вивчення біосистем і/або розв'язання певних біологічних проблем.

**Об'єкти, обладнання:** карти (карти-схеми) своєї місцевості (міста, області), створені у різні роки, відомості про вплив діяльності людини на природу своєї місцевості, зібрані з використанням різноманітних джерел інформації (ресурсів інтернету, документальних і архівних даних, засобів масової інформації тощо); Червона книга регіону/області.

**Інструктивна картка**

1. Назви приклади антропогенного впливу на природу. Склади схему їх класифікації.
2. Запиши 5-7 екосистем своєї місцевості. Заповни таблицю 11 інформацією про одну з них (на власний вибір).

Інформація про \_\_\_\_\_

(назва екосистеми)

Таблиця 11

<b>Географічне розташування у населеному пункті</b>	<b>Стисла характеристика компонентів</b>	
	<i>біотичний компонент</i>	<i>абіотичний компонент</i>



3. Зазнач особливості компонентів описаної у завданні 2 екосистеми (наприклад, видовий склад, наявність пігментації листків, наявність лишайників чи трутовиків на деревах, колір і щільність ґрунту, кислотність води тощо). Запиши, про що можуть свідчити виявлені особливості.

4. Спрогнозуй можливі зміни екологічної ситуації та їхні наслідки для компонентів описаної екосистеми.

5. Довідайся, які екосистеми твоєї місцевості зазнали найбільшого впливу людини. Для цього скористайся доступними джерелами інформації, проведи власні спостереження або опитування жителів своєї громади.

6. Результати оформ у вигляді таблиці (за зразком таблиці 12).

Таблиця 12

<i>Ознаки змін в екосистемах</i>		<i>Антропогенні чинники, що спричинили зміни</i>
<i>зміни в біоценозі</i>	<i>зміни в біотопі</i>	

7. Використовуючи дані Червоної книги своєї області, заповни таблицю 13.

**Зникаючі види рослин і тварин** \_\_\_\_\_

(назва області)

Таблиця 13

<i>Назва виду</i>	<i>Стислий опис</i>	<i>Місця проживання</i>	<i>Причини зниження чисельності</i>

Сформулюй **висновок** з дослідження, в якому :

- оціни, наскільки антропогенні зміни в природних екосистемах своєї місцевості є небезпечними для природи й громади;
- спрогнозуй розвиток екологічної ситуації в своїй місцевості;
- запропонуй заходи задля покращення стану екосистем .

## § 12. КОЛООБІГ РЕЧОВИН І ПОТІК ЕНЕРГІЇ В ЕКОСИСТЕМАХ

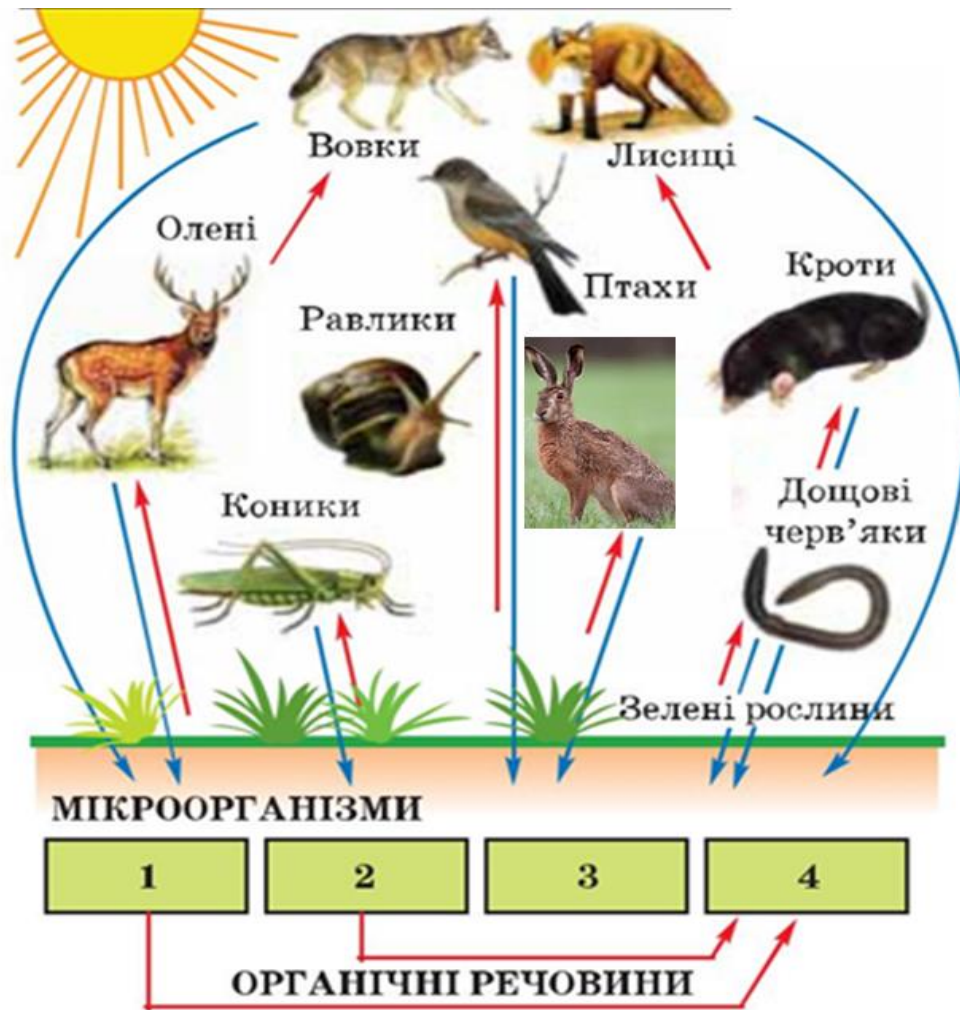
Пригадайте

- Чим автотрофи відрізняються від гетеротрофів?
- Як фотосинтез забезпечує зв'язок між різними організмами?

**ТРОФІЧНА СТРУКТУРА БІОЦЕНОЗУ** передбачає розподіл організмів екосистеми на продуцентів, консументів та редуцентів — груп організмів, які в конкретних екосистемах формуються за рахунок популяцій багатьох видів (мал. 33).

**Екосистема** – відкрита система: у неї надходять енергія Сонця, мінеральні речовини ґрунту, гази атмосфери, вода, а з екосистеми виділяються теплота, кисень, вуглекислий газ, біогенні речовини, утворюється гумус. Угруповання організмів пов'язані з абіотичним середовищем речовинно-енергетичними зв'язками.

Перенесення речовин і енергії в екосистемі відображає схема 6. Розглянемо ці процеси.



Мал. 33. Трофічна структура біоценозу.

- 1 — продуценти — вищі рослини, що виробляють органічні речовини;
- 2 — консументи — 1-го порядку — рослиноїдні тварини;
- 3 — консументи — 2-го порядку — м'ясоїдні тварини;
- 4 — редуценти /деструктори— руйнівники органічних речовин — переважно мікроорганізми.

## Потоки енергії в екосистемі.

В екосистемах енергія у вигляді хімічних зв'язків органічних сполук акумулюється на рівні продуцентів, проходить через організми консументів і редуцентів. Частково енергія розсіюється у вигляді тепла на кожній з трофічних ланок, зберігається у мертвій органічній речовині й остаточно втрачається для екосистеми при її руйнуванні.

Таким чином, трофічний ланцюг у екосистемі (біогеоценозі) є одночасно і ланцюгом енергетичним, оскільки в екосистемі існує послідовний впорядкований потік передавання енергії Сонця від продуцентів до інших ланок.

Оскільки під час передавання енергії від нижчого трофічного рівня до вищого більша її частина розсіюється у вигляді тепла, колообіг енергії, на відміну від колообігу речовин, неможливий. Для функціонування екосистеми потрібне надходження енергії ззовні, тому умовою існування будь-якої екосистеми є наявність зелених рослин, які вловлюють сонячну енергію.

Тож угруповання мешканців глибоких водойм, печер тощо не являють собою біоценози окремих екосистем. Вони – лише фрагменти, які існують за рахунок надходження органічної речовини від тих частин екосистем, де є продуценти.

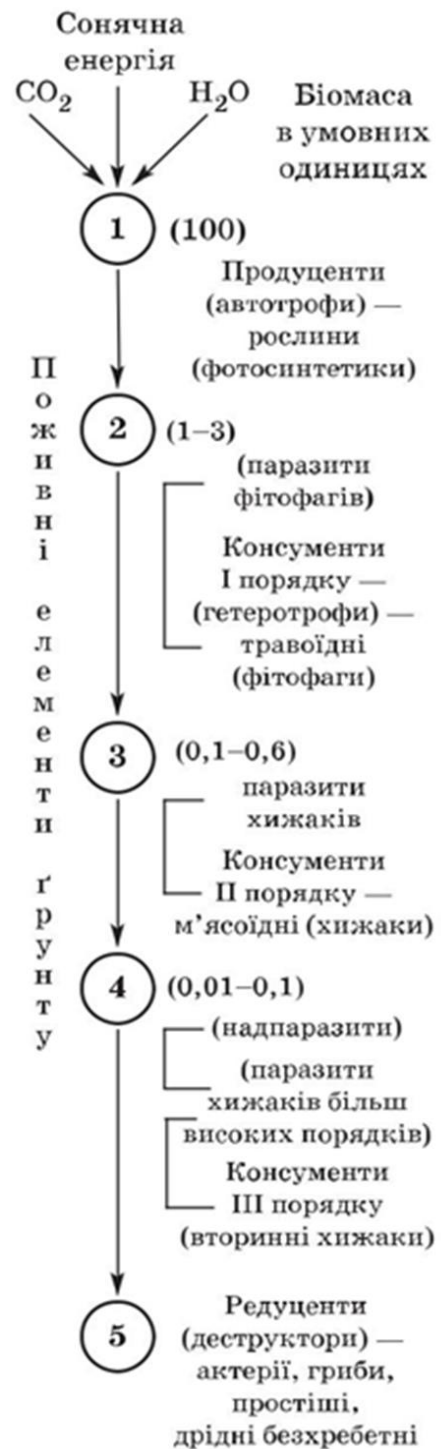
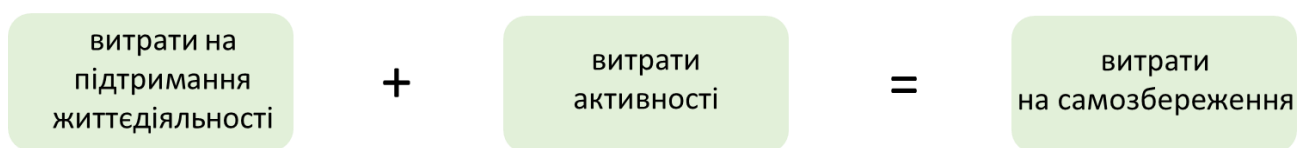


Схема 6. Зміни енергії у трофічному ланцюзі

Якщо організм рухається в пошуках їжі або рятується від ворогів, енергія витрачається ним на переміщення в просторі. Такі витрати називають витратами активності.

Загальна кількість енергії, яку витрачає організм за одиницю часу для підтримання своєї життєдіяльності, зростає із збільшенням маси тіла. З розмірами тіла і способом життя також пов'язаний енергетичний баланс – співвідношення між енергією, яку організм отримує ззовні, та її витратами на побудову тіла, розмноження і під-тримання процесів життєдіяльності.

Для підтримки свого існування крупним тваринам потрібно більше енергії, ніж дрібним. Щоб отримати необхідну кількість їжі, крупна тварина повинна переміщуватись більшими просторами, тобто виконувати більшу роботу, ніж маленька тварина, яка споживає схожу їжу.

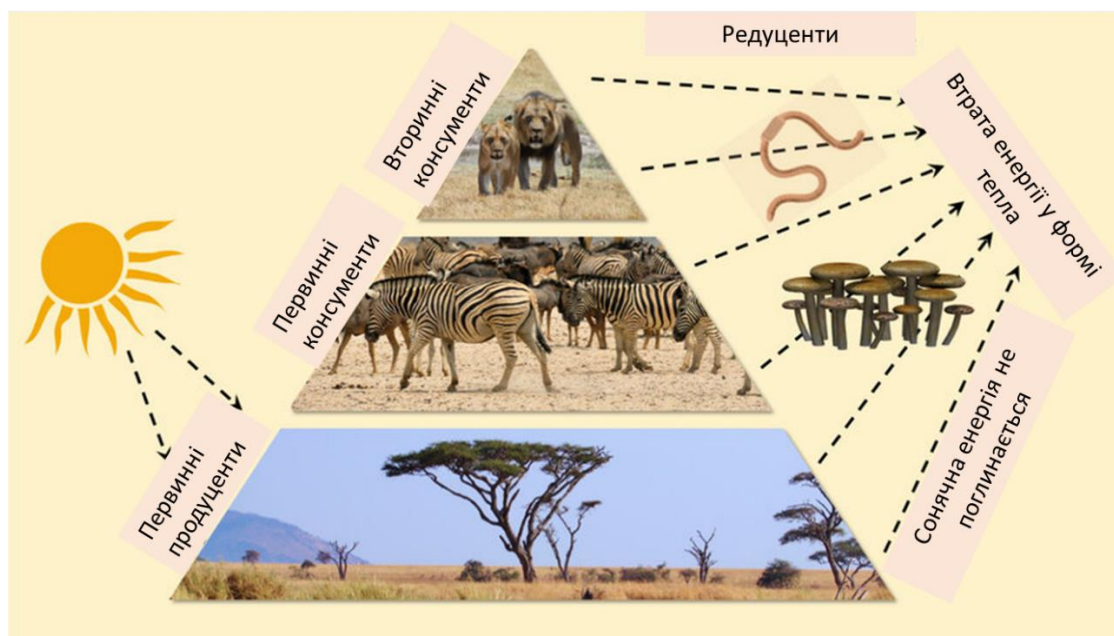


Витрати енергії на переміщення також залежать від характеру живлення. Їжа фітофагів (мал. 34) переважно перебуває у надлишку, тому такі тварини, як правило, не займають великі території (таких тварин називають «женцями»). Хижаки і ті рослиноїдні, які змушені шукати свою їжу (наприклад, живляться плодами і насінням рослин), часто витрачають багато часу й енергії на цей пошук, переміщуючись значними просторами (такі види називають «мисливцями»). Так само змушені переміщуватись і мешканці районів, збіднених на їжу, наприклад, у пустелях, на відміну від мешканців тих районів, де її вдосталь.



Мал. 34. Різноманітність фітофагів (джерело: сторінки Вікіпедії)

Для живих організмів основним джерелом енергії на Землі є сонячне світло, яке фототрофи перетворюють на енергію хімічних зв'язків синтезованої органічної речовини. Гетеротрофи отримують необхідну їм енергію внаслідок ферментативного розкладу органічних речовин. Проте, як вам відомо, при переході від одного трофічного рівня до іншого відбуваються втрати енергії.



Мал. 35. Харчова піраміда модельної екосистеми савани, що демонструє різні трофічні рівні та енергетичні шляхи. Близько 90% енергії втрачається на кожному трофічному рівні через дихання та виділення відходів тварин (джерело <https://www.researchgate.net/figure/A-food-pyramid-of-a-model-savannah-ecosystem->

[\*showing-the-various-trophic-levels-and fig4\\_335539349\*](#), внесені зміни – підписи перекладено з англійської мови).

По мірі руху енергії харчовим ланцюгом відбувається збільшення екологічної ефективності рівнів. Це величина, яка характеризує передавання енергії всередині трофічних рівнів або між ними, тобто відношення асиміляції на даному трофічному рівні до асиміляції на попередньому трофічному рівні. Екологічна ефективність продуцентів не перевищує 1–5 %, ефективність перенесення продукції між вторинними трофічними рівнями становить 10–20 %. Ця закономірність використовується на практиці, зокрема у тваринництві (кращим перетворювачем енергії вважається свиня: 20 % спожитої нею енергії перетворюється на м'ясо і жир).

Багатьох дослідників зацікавила дуже низька первинна продуктивність природних екосистем, у порівнянні з високим ККД технічних двигунів, наприклад електромоторів. Тому з'явилися дослідження, спрямовані на підвищення ефективності аналогічних процесів у природі. Насправді не можна механічно перенести закономірності роботи недовговічних механічних систем на крупномасштабні екосистеми, які існують досить довго. У живих системах багато «пального» використовується на «ремонт» і самопідтримання, а при розрахунках ККД двигунів не враховуються амортизація і витрати енергії на ремонт (наприклад, енергія людини). Адже всі біосистеми здатні до самопідтримання і самовідновлення.

З'ясовано, що будь-яке підвищення ефективності біологічної системи призведе до збільшення витрат на її підтримання. Завжди настає межа, після якої вигреш від росту ефективності нівелюється через зростання витрат, що може призвести до руйнування системи.

Енергія всередині екосистем ніби поділяється на два потоки: до консументів вона надходить або від продуцентів, або від інших консументів, а до редуцентів – від решток організмів. Внаслідок цього в екосистемах формуються трофічні ланцюги двох типів: пасовищного (ланцюги виїдання) і детритного (ланцюги розкладання). Ланцюги першого типу починаються із

зелених рослин, другого – з мертвих рослин, решток або посліду тварин (схема 7). Ланцюги виїдання і розкладання, як правило, представлені в екосистемах одночасно, але домінує один із них.

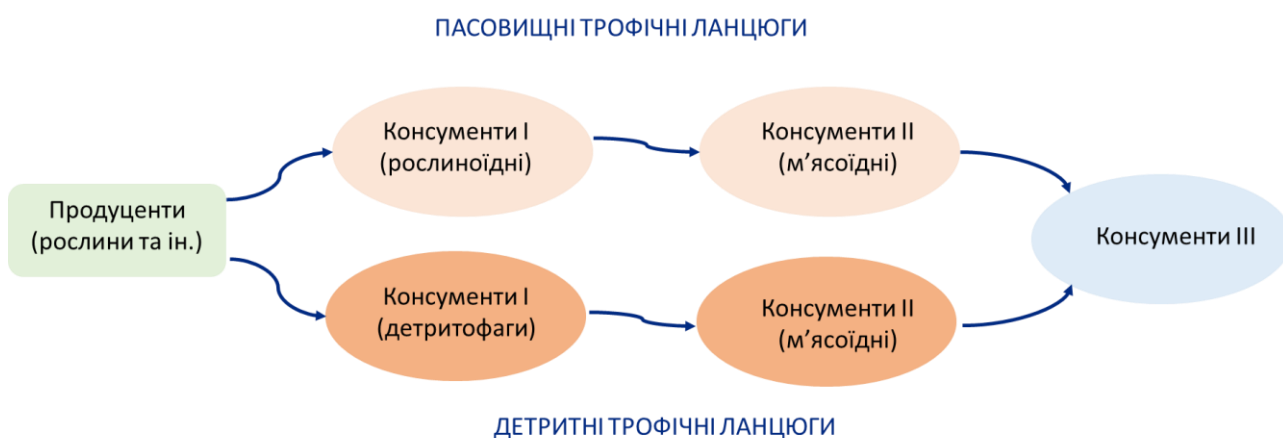


Схема 7. Типи ланцюгів живлення і взаємозв'язок між ними

**МІГРАЦІЯ РЕЧОВИН** у екосистемах відбувається трофічними рівнями. Дослідники розглядають ці процеси як потоки хімічних елементів (С, N, P та ін). Вони бувають: циклічними (колообіги речовин); нециклічними (потоки речовини, що надходять в дану екосистему ззовні і виходять з неї в інші ділянки біосфери).

Після використання одними організмами, речовини повинні переходити в таку форму, яку зможуть засвоїти інші організми. Така циклічна міграція речовин та хімічних елементів може мати місце тільки за певних витрат енергії, джерелом якої є Сонце. У глобальних масштабах її розглядають як великий колообіг або біогеохімічний цикл стосовно глобальної екосистеми біосфери, проте основні складові цього процесу притаманні і мікро-, і мезо-, і макроекосистемам.

Циклічність міграції і трансформації хімічних елементів забезпечується рухом біомаси у трофічних ланцюгах екосистем, а також взаємодією між екосистемами. Наприклад, між екосистемами відбувається обмін дорослими організмами та їх зародковими формами (личинками, насінням та ін.). Завдяки рухливості повітря і води, перепадам температури, дифузії газів тощо відбувається розселення рослин, тварин і мікроорганізмів. Птахи і



комахи мігрують під час сезонних перельотів так само, як інші тварини під час кочівель.

**КОНЦЕНТРАЦІЯ РЕЧОВИН У ТРОФІЧНИХ ЛАНЦЮГАХ.** У харчових ланцюгах відбувається багаторазове збільшення концентрації речовин на кожному наступному трофічному рівні. Воно пов'язане з тим, що кількість спожитої їжі значно перевищує масу споживача, а хімічні агенти не повністю виводяться з організму завдяки процесам виділення. Це явище дістало назву біоаккумуляції (від лат. *аккумулятіо* – накопичувати) (схема 8).

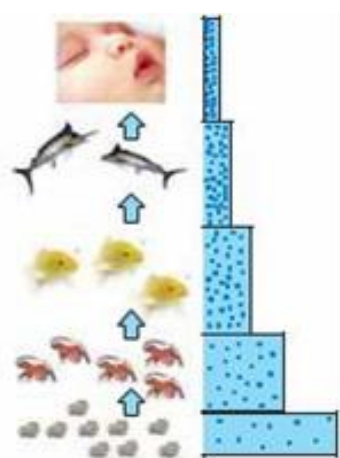


Схема 8. Схема біоаккумуляції речовин у харчовому ланцюгу

У навколишньому середовищі значно зростає кількість ксенобіотиків (від грец. *ксенос* – чужий і *біос*) – чужорідних для організмів речовин, синтезованих людиною. Вони проходять через трофічні ланцюги незмінними. Оскільки біомаса в екологічних пірамідах закономірно знижується при переході на кожний новий трофічний рівень, концентрація

ксенобіотиків з розрахунку на одиницю маси стає більшою. Ця закономірність називається законом концентрування речовин у трофічних ланцюгах. Аналогічно відбувається концентрація радіоактивних речовин і важких металів. Так, у ланцюгу водорості – комарі – хірономіди – ластівки відбувається накопичення йонів важких металів в тілі ластівок, мозку та печінці акумулювався Плюмбум, у м'язах, шкаралупі яєць і ембріонах – Хром і Ванадій, а в пір'ї – Купрум і Плюмбум. Найбільша концентрація накопичених речовин властива організмам, які перебувають на вершині екологічної піраміди.

## Перевір себе

1. Охарактеризуй трофічну структуру біогеоценозу.
2. Наведи приклади організмів, які належать до одного трофічного рівня.
3. Що характерно для міграції речовин у екосистемах?
4. Розкрий наслідки біоаккумуляції забруднювачів для природних екосистем і людини.
5. Спрогнозуй зміни водної і наземної екосистем, викликані накопиченням забруднювачів, та можливі наслідки цього явища. Оформи завдання у вигляді презентації або проспекту для ознайомлення з цією інформацією: а) широких верств населення, б) фахівців у галузі екології, біології, медицини.

## Працюй з джерелами інформації .

У Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» (2017р) визначено 17 глобальних цілей сталого розвитку з урахуванням особливостей національного розвитку нашої країни. Опрацюй цей документ за посиланням <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> і визнач цілі, що прямо чи опосередковано стосуються використання біологічних систем.

## Як ти вважаєш..

- чому в екосистемах не може бути колообігу енергії, а існують лише її потоки?наскільки правомірним є визначення екологічної ніші «професією» виду в екосистемі, до якого вдаються деякі дослідники?

## § 13. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

**Мета:** виявити чинники екологічного стану території й оцінити їх вплив на самопочуття учнівства й вчительства навчального закладу.

**Завдання 1.** Охарактеризувати антропогенні зміни в природних екосистемах своєї місцевості.

**Завдання 2.** Спрогнозувати можливі зміни екологічної ситуації та їхні наслідки для компонентів екосистем.

Для виконання роботи необхідно:

**Знати:**

- сутність поняття «антропогенний чинник»
- види антропогенних змін в екосистемах

**Вміти:**

- проводити біологічні спостереження, фіксувати дані, інтерпретувати результати, формулювати висновки

**Інформаційна довідка.**

Для оцінювання наслідків несприятливої дії чинників довкілля щодо здоров'я людини враховують такі показники:

- біологічна дія чинника;
- ступінь його поширеності;
- стійкість чинника у часовому вимірі;
- чисельність груп населення, які зазнають негативного впливу.

**Об'єкти, обладнання:** карти (карти-схеми) своєї місцевості (міста, області), створені у різні роки, відомості про вплив діяльності людини на природу своєї місцевості, зібрані з використанням різноманітних джерел інформації (ресурсів інтернету, документальних і архівних даних, засобів масової інформації тощо); Червона книга регіону/області.

**Інструктивна картка**

1. Визнач розташування навчального закладу у мікрорайоні. Встановіть відстань від промислових підприємств, житлових будинків, автострад тощо. Отримані дані фіксуй у таблиці 14.

*Таблиця 14*

**Розташування навчального закладу відносно об'єктів забруднення**

<i>Назва</i>	<i>Відстань від об'єктів (м)</i>	<i>Санітарно-гігієнічні норми (м)</i>
Промислові підприємства		150
Житлові будинки		50
Автостради		25 (оптимальна 100)
Інші		

2. З'ясуй які викиди утворюють навколишні підприємства.

3. З'ясуй які інші об'єкти (автомобільні стоянки, АЗС тощо), розташовані поблизу навчального закладу, можуть негативно впливати на перебіг навчального процесу, фізичний стан учнівства, вчителів та інших працівників закладу.
4. Проведи підрахунки кількості автомобілів, які проїжджають поблизу навчального закладу, та вихлопних газів від них, коли відомо, що 1 автомобіль за добу утворює 1 кг вихлопних газів (30 г CO<sub>2</sub>; 6 г NO<sub>x</sub>;) )
5. За результатами проведеного дослідження та з урахуванням даних таблиці 15, зроби висновки щодо негативної дії чинників, які впливають на екологічний стан навколо вашого навчального закладу, та заповни таблицю 16.

## Техногенні чинники, що впливають на екологічний стан у містах

<i>Техногенний чинник</i>	<i>Елементи природного середовища, на які впливає чинник</i>	<i>Найбільш впливові процеси середовища – об'єкти впливу</i>	<i>Домінуюче поле</i>
Будівлі і споруди промислового цивільного призначення (наземні і підземні)	Рельєф, ґрунтові води	Вирівнювання рельєфу, накопичення сміття, ущільнення ґрунтів, зміна рівня ґрунтових вод, зміни температурного режиму	Механічне, теплове, хімічне, гідродинамічне
Теплова мережа	Земні породи, ґрунтові води, рельєф	Теплове забруднення, відтаювання і просідання мерзлих ґрунтів	Теплове
Електрична мережа (наземна і підземна частина)	Земні породи, рослинність, тваринний світ	Електричне поле, блукаючий струм	Електромагнітне, електричне
Водопостачання	Земні породи, ґрунтові і підземні води, рельєф	Виснаження запасів підземних вод, підтоплення, заболочування, просідання земної поверхні	Гідродинамічне
Транспорт автомобільний, залізничний транспорт, електричний	Земні породи, ґрунтові води, атмосфера	Вібрація, ущільнення породи, забруднення ґрунтових вод, атмосфери, блукаючий струм	Механічне, хімічне, електричне
Промислові і побутові відходи (звалища, каналізаційна мережа)	Земні породи, рельєф, ґрунтові води	Накопичення відходів, забруднення вод і надр, ущільнення і руйнування породи, мікробіологічна активація	Механічне, біологічне, теплове
Викиди в атмосферу	Атмосфера	Забруднення атмосфери, випадання опадів	Хімічне

Продовження таблиці 15

Наземні і підземні виробітки	Рельєф, земні породи, ґрунтові води	Зміни рельєфу, видозміни рівня ґрунтових вод	Гідродинамічне, механічне
Асфальтування	Рельєф, земні породи, ґрунтові води	Руйнування поверхневого стоку води і теплового режиму	Гідродинамічне, теплове

Джерело: Чорна В.І., Кацевич В.В. Урбоекологія. Практикум. Навчальний посібник. Дніпро. 2019. 180 с.

**Техногенні чинники, що впливають на екологічний стан території  
навчального закладу**

Виявлений техногенний чинник	Елементи природного середовища	Найбільш впливові процеси – середовища об'єкти впливу	Домінуюче поле

6. Оформи звіт щодо екологічного стану території навчального закладу. У звіті зазнач: • рівень дотримання санітарних норм відносно об'єктів забруднення; • якісний та кількісний склад показників атмосферного забруднення території; • вплив техногенних чинників.

## § 14. БІОСФЕРА – ГЛОБАЛЬНА БІОЛОГІЧНА СИСТЕМА

Пригадай

- Що таке біосферний рівень організації живої природи?
- Які географічні оболонки Землі виокремлюють у природознавстві?
- Як класифікують екологічні чинники?

**СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ БІОСФЕРИ.** Термін «біосфера» запропонував австрійський геолог Е. Зюсс у 1875 році для позначення особливої оболонки Землі, утвореної сукупністю живих організмів. Такий підхід відповідає *біологічній концепції* біосфери. Поширився термін «біосфера» після видання в 1926 р. праці нашого видатного вченого В. Вернадського «Біосфера». Він був у числі перших, хто сприймав Землю як єдиний живий організм, у якому зовсім різні, на перший погляд, процеси у трьох зовнішніх сферах землі – літосфері, гідросфері й атмосфері – тісно пов'язані між собою завдяки живим організмам.

В. Вернадський розробив вчення про біосферу як глобальну систему нашої планети, в якій основні геохімічні та енергетичні процеси

визначаються живою речовиною. Цим терміном вчений назвав усю сукупність організмів, які існують на Землі. Унікальність вчення Вернадського в тому, що він поширив поняття біосфери не лише на організми, але й на середовище їх існування, надавши концепції біосфери *біогеохімічний сенс*. Більшість явищ, що в масштабі геологічного часу змінюють вигляд Землі, тривалий час розглядались як фізичні, хімічні й фізико-хімічні (вивітрювання порід, розчинення і розмивання тощо). В. Вернадський створив учення про геологічну роль організмів і показав, що вони є потужним чинником перетворення оболонок Землі.

Сукупність усіх екосистем Землі утворює глобальну екологічну систему – біосферу (від грец. *біос* і *сфера* — область, сфера). У сучасному уявленні **біосфера** – це специфічна оболонка Землі, структура і функціонування якої обумовлені спільною діяльністю живих організмів у минулий і теперішній час.

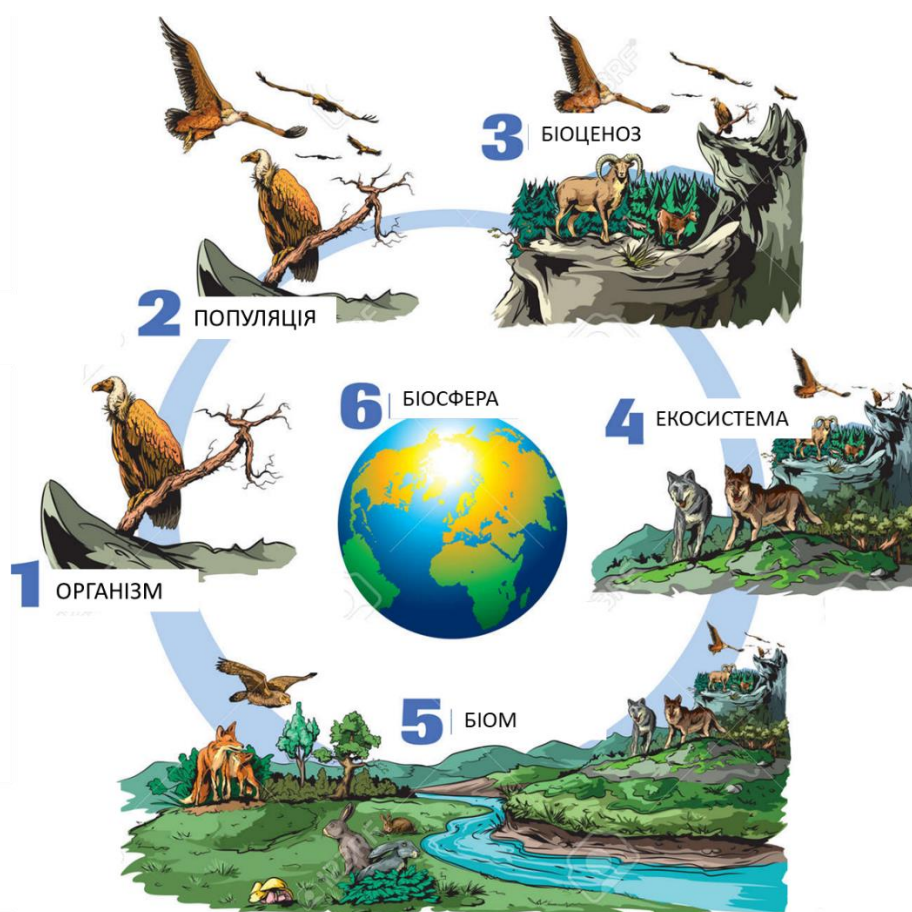


Мал.36. Екосистемна організація біосфери (джерело <https://kaiserscience.files.wordpress.com/2015/03/biomes-of-the-biosphere.jpg>, зміни: вилучено підписи англійською мовою).

Залежно від підходу, використаного науковцями, існують різні визначення біосфери. Наведемо кілька з них. Біосфера – сукупність біогеоценозів (екосистем) нашої планети. Біосфера – оболонка Землі, що включає частини атмосфери, гідросфери, літосфери, населена живими організмами. Біосфера – область існування живих організмів на Землі.

Біосфера – глобальна екосистема з різноманітними зв'язками, що забезпечують її функції і сталість.

Біосфера – біологічна система, що складається з компонентів живої і неживої природи, у якій відбувається постійний колообіг речовин, рух енергії та інформації при безпосередній участі живих організмів.



Мал. 37. Ієрархія рівнів організації біосфери (джерело [https://ru.123rf.com/photo\\_179095879\\_illustration-of-the-hierarchy-of-biological-organization.html](https://ru.123rf.com/photo_179095879_illustration-of-the-hierarchy-of-biological-organization.html), зміни: підписи перекладено українською)



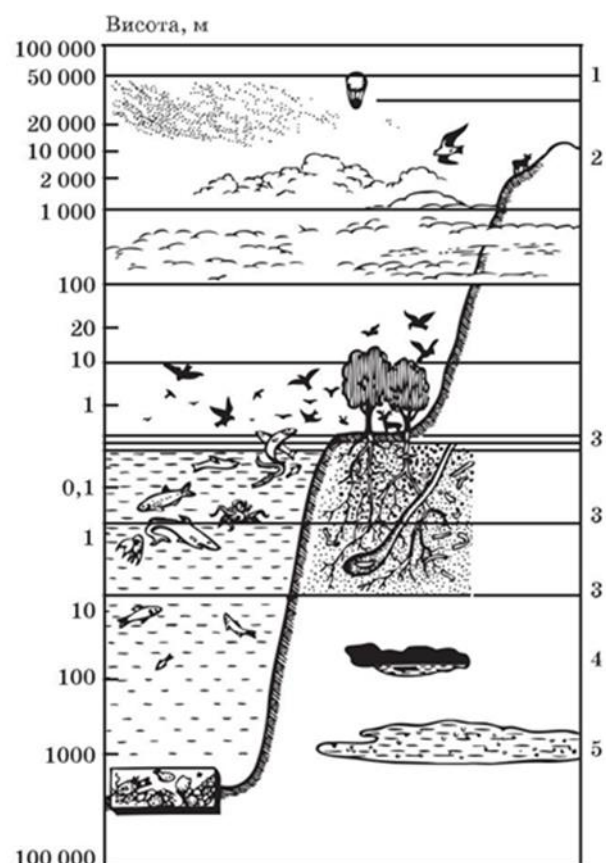
На початку минулого століття Вернадський створив вчення про біосферу й запропонував усю сукупність організмів, які існують на Землі, називати живою речовиною. Цей термін використовується й натеper.

**СКЛАД І МЕЖІ БІОСФЕРИ.** Біосфера є багаторівневою системою, яка включає підсистеми різної складності. До компонентів біосфери належать:

- ~ *жива речовина*, утворена сукупністю живих організмів;
- ~ *біогенна речовина*, яка формується у процесі життєдіяльності організмів (гази атмосфери, детрит, кам'яне вугілля, нафта, торф, вапняк та ін.);
- ~ *косна (нежива) речовина*, що формується без участі живих організмів (різноманітні неорганічні речовини у складі гірських порід, мінералів, покладів);
- ~ *біокосна речовина*, що являє собою спільний продукт життєдіяльності організмів і небіологічних процесів (наприклад, ґрунт, мул).

Жива речовина розподілена в біосфері нерівномірно. І це не випадково, адже межі біосфери визначаються екологічними чинниками.

Верхня межа біосфери перебуває в атмосфері на висоті 25–30 км. Лімітуючим чинником розселення в цьому середовищі є інтенсивність ультрафіолетової радіації, що зростає з висотою. Практично все живе, що опиняється вище озонового шару атмосфери, гине. У літосфері поширення життя визначається рівнем проникнення води в рідкому



Мал. 38. Межі біосфери: 1 — рівень озонового шару, що затримує жорстке ультрафіолетове випромінювання;

стані – організми виявлені на глибині близько 7 км. У гідросферу біосфера проникає на всю глибину

2 — кордон снігів; 3 — ґрунт; 4 — тварини-мешканці печер; 5 — бактерії в нафтових свердловинах

Світового океану (близько 11 км, що відповідає глибині Маріанської западини (мал. 38).

Діапазон існування організмів широкий. Крайні межі температур, які витримують деякі форми життя, – від практично абсолютного нуля до +180 °С, тиску – від часток атмосфер на значній висоті до тисячі й більше атмосфер на значних глибинах (наприклад, для деяких бактерій критичні точки тиску наближуються до 12 000 атмосфер). Насіння і спори зберігають життєздатність у повному вакуумі, а особливо стійкі форми можуть існувати навіть при дії іонізуючої радіації (наприклад, деякі інфузорії витримують опромінення, доза якого у 3 мільйони разів перевищує природний радіаційний фон на поверхні Землі).

### **ЗАГАЛЬНІ ОЗНАКИ І СПЕЦИФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БІОСФЕРИ.**

Знання про біосферу накопичувались поступово із розвитком ботаніки, географії рослин, ґрунтознавства та інших біологічних і геологічних дисциплін. Сучасними дослідниками визначено загальні ознаки біосфери.

#### **Загальні ознаки біосфери**

1. Біосфера – загальнопланетна оболонка.
2. Компоненти і структура біосфери зумовлені сучасною і минулою життєдіяльністю всієї сукупності живих організмів.
3. Біосфера є наслідком взаємодії живих і неживих компонентів, акумуляції та перерозподілу в ній величезної кількості енергії.
4. Біосфера Землі як система розвивається не тільки за рахунок планети (напруженість гравітаційного і магнітного полів, особливості речовини планети, випромінювання тощо), але й опосередковано, за рахунок і під впливом космічних чинників.

5. Біосфера є термодинамічно відкритою, самоорганізованою, саморегульованою динамічно врівноваженою, стійкою системою.

### **Специфічні характеристики біосфери**

1. Біосфера є унікальною, незамінною і неповторною біотичною системою. Інші екосистеми є взаємозамінними.

2. Біосфера відрізняється від інших екосистем практично безмежною тривалістю існування. Час існування інших екосистем визначається тривалістю від кількох місяців до сотень і кількох тисяч років; для біогеоценозів — від тисяч до мільйонів років.

3. Біосфера зберігає безмежно великий запас генетичної інформації, який накопичувався мільярди років, внаслідок чого ця інформація є практично невичерпною. Генетична пам'ять біосфери — це інтегральна пам'ять усіх екосистем Землі.

4. На відміну від мікро-, мезо- і макроекосистем, біосфера характеризується величезними запасами вільної енергії, не лише тієї, що є інтегрованою вільною енергією сучасних підпорядкованих їй екосистем, але й вільної енергії, накопиченої екосистемами минулих епох.

5. Біосфера вирізняється величезним різноманіттям життєвих форм, видів, внутрішньовидових структур і екосистем, просторовою і функціональною асиметрією, потужними механізмами самозбереження, прогресивного саморозвитку.

6. Якщо окремі типи екосистем були середовищем виникнення та розвитку приматів, у тому числі людиноподібних предків людини, то біосфера в цілому стала колискою людини (*Homo sapiens*), людського роду.

### **Перевір себе**

1. Охарактеризуй місце біосфери з-поміж біосистем. Які чинники підтримують існування біосфери?

2. Що визначає межі біосфери? За яких причин вони можуть змінитися?

3. Наведи приклади прямого впливу живих організмів на біосферу і результати непрямого впливу живого на біосферу.
4. Назви специфічні характеристики біосфери і вислови судження, які винятки можуть бути в кожній з них.
5. Проаналізуй загальні ознаки і специфічні характеристики біосфери. Які з них можна використати для опису інших біосистем? Аргументуй свою відповідь.

### Працюй з джерелами інформації .

Користуючись додатковими джерелами інформації, підготуй повідомлення про внесок сучасних українських вчених у формування знань про біосферу.

### Як ти вважаєш..

- як на складі основних геосфер Землі позначаються такі ситуації:
  - а) на Землі домінує один із великих таксонів гетеротрофних організмів,
  - б) на Землі домінує один із великих таксонів автотрофних організмів?

Зазнач найближчі й віддалені результати пропонованих ситуацій.

## § 15. ЖИВА РЕЧОВИНА БІОСФЕРИ

Пригадай

- Які хімічні елементи належать до органогенів?
- Що називають біомолекулами?

**ХАРАКТЕРИСТИКА ЖИВОЇ РЕЧОВИНИ.** У біосфері можливе існування організмів у будь-яких концентраціях – від поодиноких спор і бактерій в  $1 \text{ см}^3$  повітря до насичених видами тропічних лісів і залишків життя у глибинах Світового океану. За останніми підрахунками маса живої речовини становить близько 2 420 млрд. тон, проте це значення мізерне у порівнянні з масою будь-якої оболонки Землі.

### Порівняння мас оболонок Землі

Оболонки Землі	Маса, т	Відношення до маси живої речовини
жива речовина біосфери	$2,4 \cdot 10^{12}$	1
атмосфера	$5,15 \cdot 10^{15}$	2 146
гідросфера	$1,5 \cdot 10^{18}$	602 500
літосфера	$2,8 \cdot 10^{19}$	1 670 000

Функції живої речовини ілюструє схема 9.



Схема 9. Жива речовина має особливі властивості.

1. У живій речовині біосфери зосереджено значні об'єми енергії, що забезпечує живому здатність здійснювати роботу. Такі властивості живих організмів, як розмноження, ріст, розвиток, живлення, дихання, виділення тощо, є проявами цієї роботи.

2. Швидкість протікання хімічних реакцій у живих організмах значно перевищує швидкість подібних перетворень у лабораторних умовах завдяки участі біологічних каталізаторів – ферментів.

3. Живі організми різноманітніші за хімічним складом, ніж тіла неживої природи. Відомо кілька мільйонів видів органічних речовин, що входять до складу живої речовини, тоді як кількість природних неорганічних сполук становить усього близько 2 тисяч.

4. Живій речовині властива рухливість. В. І. Вернадський виділяв пасивний рух і активний. Проявом пасивного руху є розмноження і ріст, властиві для організмів усіх таксонів. Активний рух здійснюється за рахунок спрямованого переміщення організмів. Завдяки різним формам руху жива речовина здатна заповнювати собою весь можливий простір. Цей процес В. І. Вернадський назвав тиском життя.

5. Жива речовина характеризується значною різноманітністю форм, розмірів, а також високою здатністю адаптуватися до умов середовища.

6. Живі організми ніколи не перебувають на Землі у вигляді ізольованих популяцій, а завжди представлені біоценозами. Між членами біоценозів існують різноманітні форми взаємодії, найголовнішими з яких є харчові.

7. Живі організми існують на Землі у вигляді безперервного чергування поколінь, що сприяє їх відновленню. Найбільшу швидкість розмноження, а отже, і найбільшу швидкість передачі та перерозподілу речовин, з яких вони складаються, мають мікроорганізми – бактерії, найпростіші.

У середньому для біосфери швидкість оновлення живої речовини становить 8 років, при цьому для наземних організмів – 14 років, а для водних, де переважають організми з коротким періодом життя (наприклад, рослинний і тваринний планктон), – 33 дні. У результаті високої швидкості оновлення за всю історію існування життя загальна маса живої речовини, що пройшла через біосферу, приблизно в 12 разів перевищує масу Землі. Тільки невелика її частина законсервована у вигляді органічних чи мінеральних покладів, інша ж включилася в процеси кругообігу речовин.

8. Для живої речовини характерна здатність до еволюційного процесу, завдяки якому відбувається порушення абсолютного копіювання попередніх

поколінь. Ця здатність дозволяє живій речовині пристосовуватися до зміни умов існування.

9. Жива речовина, на відміну від неживої, постійно здійснює геохімічну роботу. Так, 1 г архейського граніту (зі стародавніх шарів земної кори) і зараз залишається одним грамом цієї ж речовини. А жива речовина тієї ж маси упродовж мільярдів років існувала за рахунок зміни поколінь живих організмів, здійснювала геохімічну роботу. Вона полягала в залученні різноманітних хімічних елементів із земної кори до складу тіла живих організмів, а після їх відмирання і розкладання – у поверненні знову в земну кору. Відповідно і маса речовини, переробленої (залученої та повернутої) живими організмами, набагато перевищує їх власну масу.

10. Будь-який живий організм і його структурна одиниця – клітина – наділені сукупністю всіх властивостей живої речовини.

### **ЖИВА РЕЧОВИНА І КОЛООБІГ РЕЧОВИН У БІОСФЕРІ.**

Біологічний колообіг – це багаторазова участь хімічних елементів у процесах, які протікають у біосфері за участю живих організмів. Він являє собою єдність двох процесів: акумуляції елементів у живих організмах і мінералізації в результаті розкладання відмерлих решток організмів. Утворення живої речовини переважає на поверхні суші і верхніх шарах водойм, мінералізація – у ґрунті та глибинах морів.

Біологічний колообіг є частиною геологічного, але його швидкість у сотні тисяч і мільйони разів більша, тому що всі біотичні перетворення каталізуються ферментами (розкрийте біологічну роль цих речовин). Інша особливість цього колообігу полягає у сильному концентруванні біологічно важливих хімічних елементів.

Біологічний колообіг циклічний, оскільки харчові ланцюги мають замкнений характер. Це забезпечило можливість тривалого існування життя на Землі, інакше запаси будь-якої речовини швидко б вичерпались.

Щорічно фотосинтезуючі організми засвоюють майже 350 млрд. т вуглекислого газу, виділяють у атмосферу близько 250 млрд. т кисню і

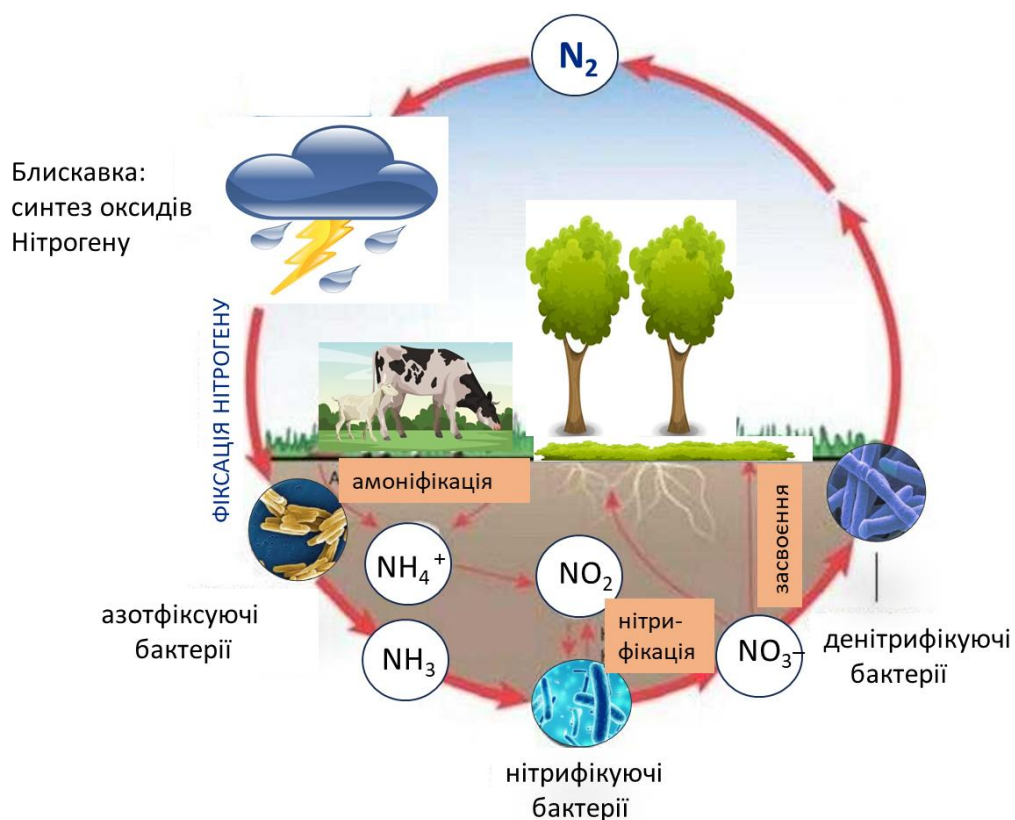
розщеплюють 140 млрд. т води, утворюючи понад 230 млрд. т органічної речовини (в перерахунку на суху вагу).

Величезні кількості води проходять через рослини та водорості в процесі забезпечення транспортної функції та випаровування. Це призводить до того, що вода поверхневого шару океану фільтрується планктоном за 40 днів, а вся інша вода океану — приблизно за рік. Весь вуглекислий газ атмосфери поновлюється за декілька сотень років, а кисень — за декілька тисяч років.

Процеси фотосинтезу тривають мільйони років і за такий час хімічні елементи повинні були перейти з однієї форми в іншу. Однак цього не відбувається завдяки їх колообігу в біосфері.

Карбон, Гідроген, Оксиген, Нітроген, Сульфур, Фосфор та інші хімічні елементи, а також близько 30 простих речо-вин, що необхідні для утворення живої речовини, зазнають різноманітних перетворень, наприклад, поглинаються у вигляді неорганічних компонентів автотрофами, які використовуються гетеротрофами (спочатку консументами, а потім деструкторами). Біогенні елементи безперервно циркулюють у біосфері: розчиняються в континентальних водах, виносяться в моря або потрапляють в атмосферу, а між цими середовищами відбувається постійний газообмін — відбувається колообіг хімічних елементів. В процесі біологічного колообігу атоми поглинаються живою речовиною і заряджаються енергією, а потім залишають живу речовину, віддаючи енергію в оточуюче середовище. За рахунок біогенної енергії відбувається більшість хімічних реакцій.

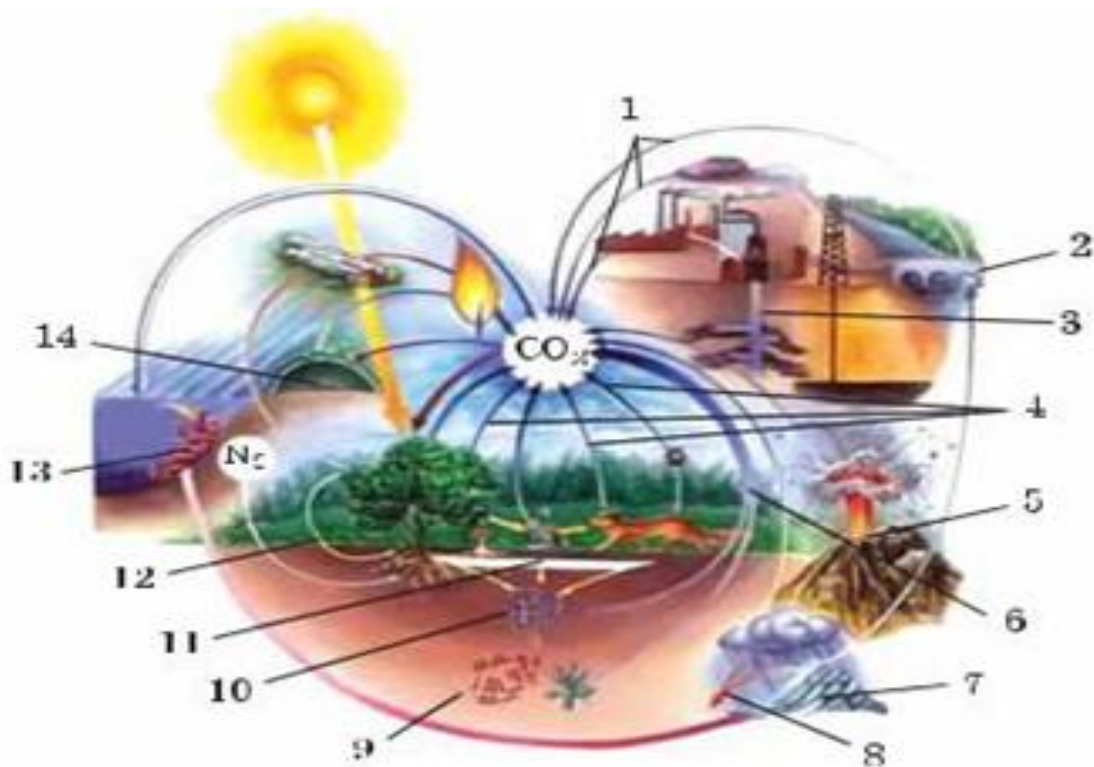




Мал. 39. Колообіг Нітрогену в біосфері (ідея малюнка <http://surl.li/rsbpu> )

Частина речовин постійно залишає біологічний колообіг й осідає в товщі осадових порід у вигляді органоенних вапняків, гумусу, торфу та інших. У результаті колообігу біосфера не повертається в початковий стан: для біосфери характерний поступальний рух, тому символом біологічного циклу є не коло, а циклоїд (спіраль). Біогеохімічні цикли здійснюють циклічні переміщення біогенних елементів (С, N, O, H, P, S, K, Ca та ін.) від одного компоненту біосфери до іншого так, що на певних етапах цього процесу вони входять до складу живої речовини. Рушійною силою для речовин у біогеохімічних циклах є потік сонячної енергії або частково енергії геологічних процесів Землі.

Зверни увагу, що вони відбуваються не ізольовано, а взаємопов'язані і між собою, і з геологічним колообігом (мал. 40).



Мал. 40. Біогеохімічні цикли Нітрогену і Карбону: 1 — поповнення ресурсів  $\text{CO}_2$  у процесі людської діяльності; 2 — вапняк; 3 — енергія викопного Карбону; 4 — дихання рослин і тварин; 5 — вулканічна діяльність; 6 — ґрунтове дихання; 7 — вапняк; 8 — розчинення; 9 — мінералізація; 10 — розкладення; 11 — гумус; 12 — білки; 13 — вапняк у складі коралових рифів; 14 — фотосинтез (джерело Коршевнюк Т. В. Біологія: (профіль. рівень): підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл. / Т. В. Коршевнюк, І. С. Бездольна, Я. С. Фруктова. К.: «Планета книжок», 2011. 384 с.)

У формуванні й особливостях функціонування сучасних колообігів хімічних елементів важливу роль відіграло накопичення в атмосфері сильного окисника – кисню, який утворюють фотосинтезуючі організми. Саме виникнення цих живих істот у процесі розвитку життя на Землі зумовило формування біосфери. Це ілюструє, як жива речовина стала потужною геологічною силою, що визначає стан атмосфери, води і земної кори.

Отже, колообіг речовин у біосфері спрямовується спільною дією як біологічних, так і геохімічних та геофізичних сил.

## Перевір себе

1. Проілюструй кількома прикладами кожен функцію живої речовини.
2. Яким чином відбувається колообіг речовин у біосфері?
3. Обґрунтуй провідну роль організмів у колообігу речовин і потоках енергії у біосфері.
4. Заповни в зошиті таблицю 18, запиши її назву.

Таблиця 18

Приклади живих організмів	Способи живлення організмів	Джерела енергії для процесів життєдіяльності	Участь	
			у колообігу речовин	у передачі і перетворенні енергії

## Працюй з джерелами інформації .

Підготуй лекцію тривалістю 30 хвилин для учнівства 9 класу на тему «Біосфера – система систем». Який малюнок з цього параграфа та/або попереднього ти обереш для супроводу своєї лекції? Обґрунтуй вибір. Запропонуй власну візуалізацію лекції.

## Як ти вважаєш..

- які потенційні причини порушення біогеохімічних циклів хімічних елементів ? Спрогнозуй можливі наслідки цих процесів.

## § 16. МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Мета:** ознайомитись із методами дослідження екологічного стану довкілля; на прикладі дослідження екологічного стану повітря оцінити запиленість повітря з використанням різних методів.

Для виконання роботи необхідно:

### **Знати:**

- методи оцінки екологічного стану середовища;
- види антропогенних змін в екосистемах

### **Вміти:**

- проводити біологічні спостереження, фіксувати дані, інтерпретувати результати, формулювати висновки

### Інформаційна довідка.

Екологічний стан навколишнього середовища - це комплексна оцінка стану природних екосистем, атмосфери, ґрунтів, водних об'єктів, та інших складових природи в конкретній місцевості чи регіоні. Це поняття включає в себе як якісні, так і кількісні показники (наприклад, якість повітря, якість води, склад ґрунту).

**Об'єкти, обладнання, матеріали:** дистильована вода; розчин хлоридної або сульфатної кислоти ( $\omega = 10 \%$ ), лопатки для взяття зразків пилу; мікроскоп, піпетка, покривне і предметне скло, секундомір; чашки Петрі з поживним середовищем.

### **Інструктивна картка**

1. Заповни таблицю 19 «Методи оцінки екологічного стану середовища», використавши додаткові джерела інформації.

Таблиця 19

### Методи оцінки екологічного стану середовища

<b>Метод</b>	<b>Принцип методу</b>	<b>Призначення і межі застосування методу</b>

2. З'ясуй екологічний стан повітря за різними показниками.

### ***Визначення відносної запиленості повітря***

1. Нанеси 1 краплю води на предметне скло. Встанови предметне скло у вибраному для дослідження місці на 15 хв.
2. Приготуй мікропрепарат, накривши краплю з осілими пиловими часточками покривним скельцем, і розглянь при такому збільшенні мікроскопа, щоб у поле зору потрапила якнайбільша площа плями.
3. Визнач кількість пилових часточок у краплі, опиши їх якісний склад (вигляд, структуру, взаємне розміщення, особливості будови тощо).
4. Визнач кількість пилових часточок, що осіли упродовж 15 хвилин на поверхні краплі такої самої площі після витримання предметного скла з краплею в різних місцях одного й того самого приміщення або в різних приміщеннях.
5. Результати оформ у вигляді таблиці.

### ***Визначення складу пилу***

1. Відбери зразок пилу, піддіваючи лопаткою відклади пилу на «доріжці» завширшки 3–5 см. Перенеси зразок з лопатки на предметне скло.
2. Приготуй мікропрепарат сухого пилу, накривши зразок пилу покривним скельцем, і розглянь при такому збільшенні мікроскопа, щоб у поле зору потрапила якнайбільша площа плями.
3. Опиши зовнішній вигляд, форму, розміри, взаємне розміщення, колір часточок тощо.
4. Підними покривне скельце препарувальною голкою, нанеси краплю розчину кислоти на зразок пилу і відразу накрій покривним скельцем. Що відбувається із зразком пилу в розчині кислоти?
6. Результати оформ у вигляді таблиці.

### ***Аналіз мікрофлори повітря***

1. Вибери три ділянки приміщення для вивчення мікрофлори повітря (наприклад, класна кімната, коридор, роздягальня).

2. Чашки Петрі з поживним середовищем залиш у досліджуваних ділянках відкритими на 15 хв.
3. Закрий чашки покривним склом і помісти проби у тепле місце ( $t +23-26$  °C).
4. Через три доби зафіксуй кількість колоній, що вирости на поживному середовищі у чашках.
5. Порівняй дані. Поясни, від чого залежить наявність мікроорганізмів у кожному місці дослідження.

## ДЖЕРЕЛА ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

- Альбертс Б. Молекулярна біологія клітини. Переклад з англійської / Б. Альбертс, А. Джонсон. Львів : Видавничий дім «Наутілус», 2018. 1536 с
- Біотехнологічні методи у ветеринарній репродуктології : навчальний посібник / В. В. Ковпак та ін. Київ : НУБіП України, 2020. 102 с.
- Біохімія і біотехнологія в сучасній медицині Голов. ред. С. В. Комісаренко. К.: ФОП Москаленко О. М., 2013, 704 с.
- Грубінко В.В. Структурно-функціональна організація і еволюція живих систем. Тернопіль: Видавн. відділ ТНПУ ім. Володимира Гнатюка, 2019. 140с.
- Капрельянц, Л. В. Теоретичні основи біотехнології : навчальний посібник. Харків : Факт, 2020. 291 с.
- Кляченко О. Л., Мельничук М. Д., Коломієць Ю. В. Біоінженерія. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 458 с
- Мельничук М. Д., Кляченко О. Л., Коломієць Ю.В. Біоінженерія. К.: ЦП «Компринт», 2015. 550 с.
- Основи біоетики та біобезпеки : підручник / О.М. Ковальова, В.М. Лісовий, Т.М. Амбросова, В.І. Смирнова. К. : ВСВ «Медицина», 2016. 392 с.
- Пирог Т. П., Ігнатова О. А. Загальна біотехнологія. Київ : НУХТ, 2009. 336 с.
- Чорна Т. М. Мікробіологія: навч. посіб. Ірпінь, 2020. 412 с.
- Шабанов Д.А., Кравченко М.О. Екологія: біологія взаємодії. Підручник. 2021. <https://batrachos.com/help-booksecology>
- Яблонський В. А. Біотехнологічні і молекулярно-генетичні основи відтворення тварин. Львів : Афіша, 2009. 217 с.
- Andriani Daskalaki Handbook of Research on Systems Biology Applications in Medicine. -IGI Global, 2008. 982 p.

- Begon M., Townsend C.R., Harper J.L. Ecology. From individuals to ecosystems. — Malden — Oxford — Victoria, Blackwell Publishing, 2006. 738 p.
- Clark D., Pazdernik N. Biotechnology. 2nd Edition. Academic Cell, 2015. 835 p.
- Evert R.F. Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body – their structure, function, and development. 3rd edition. New Jersey: Wiley-Interscience, 2006. 601 p.
- Handbook of Systems Biology: Concepts and Insights. Edited by A.J. Marian Walhout, Marc Vidal and Job Dekker - Academic Press, Elsevier, 2013. 552 p.
- Hammelehle R., Schmid R. D., Schmidt-Dannert C. Biotechnology: An Illustrated Primer. Somerset: Wiley-VCH, 2016.– 582 c.
- Kardong K.V. Vertebrates. Comparative anatomy, function, evolution. — 8th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2019 — 796 p.
- Limin Angela Liu , Dongqing Wei, Yixue Li and Huimin Lei Handbook of Research on Computational and Systems Biology: Interdisciplinary Applications. - IGI Global, 2011. 776 p.
- Moles M.C. Ecology: concepts and applications. McGraw-Hill Education, 2016. 592 p.

<http://systems-biology.org/>

<http://pysb.org/>

<http://www.ebi.ac.uk/biomodels/>

<http://biotechnology.kiev.ua/index.php?lang=uk>

<https://www.sciencedirect.com/>

<https://arxiv.org/>



**НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ**

**Коршевніук Тетяна Валеріївна**

**БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**

**10-11 класи**

*навчальний посібник*

(Електронне видання)

Обсяг вид. 5,0 авт. арк.

Видавництво «Педагогічна думка»

04053, м. Київ,

вул. Січових Стрільців, 52-а, корп. 2;

тел./факс: (044) 481-38-85

e-mail: [book-xl@ukr.net](mailto:book-xl@ukr.net)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи

до Державного реєстру видавців, виготовлювачів

і розповсюджувачів видавничої продукції

Серія ДК № 3563 від 28.08. 2009 р.