

## Біологія і екологія


Остапченко Л.І., Балан П.Г., Компанець Т.А., Рушковський С.Р.

«Біологія і екологія (рівень стандарту)»

підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти

## ДОРОГІ ДЕСЯТИКЛАСНИЦІ ТА ДЕСЯТИКЛАСНИКИ!

Цього року ви продовжуєте опановувати науку, яку справедливо вважають наукою ХХІ сторіччя, – біологію. Протягом попередніх років навчання ви відкривали для себе дивовижний світ різноманітних організмів – прокаріотів (бактерій і археїв) та еукаріотів (рослин, грибів, тварин). Ви також ознайомилися з будовою та процесами життєдіяльності людини як біосоціальної істоти. Минулого року ви дізналися про таку важливу властивість живої матерії, як здатність до історичного розвитку – еволюції. Саме у процесі еволюції поступово сформувалися різні рівні організації живої матерії: від молекулярного до біосферного.

Протягом цього і наступного років навчання ви матимете можливість закріпити набуті раніше знання й поповнити їх. Інформацію, яку ви вже вивчали протягом минулих років і яку потрібно пригадати, щоб розширити знання із цього питання, позначено .

Головні тези, які важливо засвоїти на кожному уроці, виділено в рубрику **Запам'ятаємо**.

У центрі уваги нашої з вами роботи – здоров'я людини та основи його збереження. Ви дізнаєтеся про особливості обміну речовин та механізми його регуляції, закономірності спадковості та мінливості людини, біологію індивідуального розвитку. Також ви докладніше ознайомитеся з різноманіттям біологічних систем різного рівня. Особливу увагу буде приділено неклітинним формам життя – вірусам, віроїдам і пріонам як збудникам небезпечних захворювань людини, тварин і рослин.

Важливою складовою курсу біології та екології є лабораторні й практичні роботи. Вони допоможуть вам самостійно засвоїти систему знань, сформувати спеціальні та практичні вміння. Для узагальнення та систематизації знань використовуйте таблиці, діаграми, схеми.

Формуванню навичок самостійної роботи, умінь пошуку потрібної інформації в додаткових літературних джерелах слугуватимуть навчальні проекти.

Крім основного матеріалу, підручник містить і додатковий, певним чином виокремлений у текст. Це цікаві та корисні відомості з різних галузей біології та екології.

Вироблення навичок сприймати наукову інформацію, аналізувати її на логічній основі, виокремлювати головне, застосовувати свої знання у практичній діяльності сприятиме розвитку **ключових компетентностей**. Їх ви формували протягом попередніх років навчання під час вивчення різних дисциплін. Головні серед них:

- уміння вчитися та оперувати знаннями;
- співробітництво, уміння працювати в команді;
- вироблення особистісних і лідерських якостей;
- прагнення до самоосвіти, використання інформаційних технологій;
- відповідальне ставлення до свого здоров'я;
- громадянська відповідальність.

Розвинути згадані навички в курсі біології та екології допоможуть відповідні рубрики в підручнику, які відображають основні змістові лінії, закладені в чинній програмі з біології та екології. Це:

*Екологічна безпека і сталий розвиток,  
Громадянська відповідальність,  
Здоров'я і безпека,  
Підприємливість і фінансова грамотність.*

Набувши їх, ви зможете легше розв'язати питання майбутнього професійного вибору, що дасть вам змогу стати успішними в будь-якій сфері своєї діяльності. Зокрема, підручник ознайомить вас із сучасними галузями, у яких досягнення біологічної науки застосовують на практиці: наприклад, медичною генетикою, репродуктивною біологією, селекцією, біотехнологією тощо. Логічне і критичне мислення та досвід пошуково-дослідницької діяльності стануть вам у пригоді під час виконання творчих завдань, які передбачатимуть складання алгоритмів дій (можливо, навіть кількох) для розв'язання глобальних проблем суспільства і людства.

Авторський колектив сподівається, що знання, які ви отримаєте, не тільки розширять ваші уявлення про складність організації та вражаюче різноманіття біологічних систем, а й нададуть можливість застосувати їх у практичній діяльності.

Отже, успіху вам у пізнанні складного та цікавого світу живої природи!

*Автори*



# ВСТУП

**У вступі ви узагальните свої знання про:**

- зв'язки біології та екології з іншими дисциплінами;
- основні галузі застосування результатів біологічних досліджень;
- біологічні системи, їхнє різноманіття та взаємозв'язки;
- фундаментальні властивості живої матерії;
- стратегію збалансованого розвитку природи і суспільства.

## §1. БІОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ – КОМПЛЕКСНІ ПРИРОДНИЧІ НАУКИ. ЇХНІ ЗВ'ЯЗКИ З ІНШИМИ ДИСЦИПЛІНАМИ

*Пригадайте* видатних учених-біологів. Які біологічні науки ви знаєте?



**Наука** – це сфера людської діяльності з отримання та систематизації об'єктивних знань про навколишній світ. Отримані дані узагальнюють у вигляді гіпотез, теорій, правил, законів тощо.

**Міждисциплінарні зв'язки біології та екології.** Біологія – одна з найдавніших природничих наук, що бере початок від праць учених Давнього Світу. Першими термін «біологія» застосовували німецькі вчені: Теодор Руз (1797), професор анатомії та фізіології Карл Фрідріх Бурдах (1800), згодом відомий французький учений Жан Батист Ламарк та німецький натураліст Готфрід Рейнхольд Тревіранус (1802).



**Біологія вивчає та узагальнює закономірності, притаманні біологічним системам різного рівня організації; її завдання – пізнання суті життя (мал. 1.1).**

Величезні успіхи біології – це результат розвитку як самих біологічних наук, так і їхніх тісних зв'язків з іншими, зокрема природничими та технічними, науками. Наприклад, завдяки взаємодії біології з хімією виникла *біохімія* (хімічні реакції – основа всіх найважливіших фізіологічних процесів організмів, пов'язаних з обміном речовин та енергії). Фізичні процеси життєдіяльності організмів досліджує *біофізика*.

Закономірності поширення живих організмів на нашій планеті вивчає *біогеографія* (виникла внаслідок взаємодії біології та географії). Жодну з біологічних наук нині неможливо уявити без взаємодії з математикою: наприклад, застосовування математичних методів оброблення зібраного матеріалу. Математичні моделі дають можливість не тільки вивчати явища, які неможливо спостерігати, а й прогнозувати наслідки тих процесів, які можуть відбуватися в майбутньому.



Така наука, як *космічна біологія* вивчає особливості функціонування живих істот в умовах космічних апаратів; *біоніка* досліджує особливості будови та життєдіяльності організмів для створення різних технічних систем і приладів; *радіобіологія* – наука про вплив різних видів іонізуючого та неіонізуючого випромінювання на живі системи різних рівнів; *кріобіологія* – про вплив на живу матерію низьких температур.

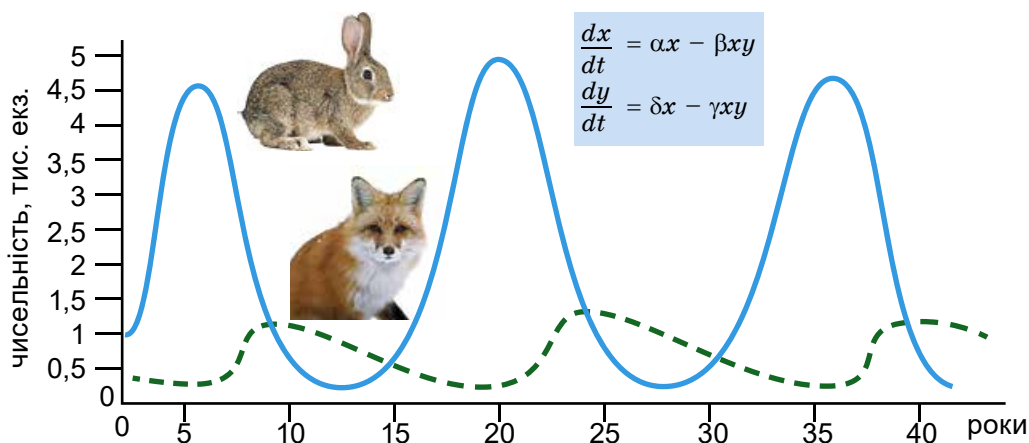
Дослідження біології використовують і суспільно-гуманітарні науки. Так, *біосоціологія*, або *соціобіологія*, – це система поглядів на розвиток і функціонування людського суспільства, що базується на законах еволюції органічного світу. *Філософія біології* висвітлює філософські проблеми сучасної біології.

Дані біологічних наук про людину (анатомії, фізіології, генетики людини тощо) слугують теоретичною базою *медицини* (науки про здоров'я людини та його збереження). Унаслідок взаємодії цих наук виникла *медична біологія*.

### Цікаво знати



Розгляньмо приклад простої математичної моделі. На малюнку 1.2 наведено періодичні коливання чисельності популяцій хижака (лисиці) та її здобичі (зайця). Вивчаючи зміни чисельності популяцій обох видів, можна помітити, що за зростанням чисельності популяції здобичі зростає чисельність популяції хижака, після чого чисельність популяції здобичі знижується, згодом знижується й чисельність популяції хижака. Це приклад того, як завдяки взаємодії популяцій хижака та здобичі регулюється чисельність кожної з них. У 20-х роках минулого



Мал. 1.2. Коливання чисельності популяцій хижака (лисиці) та його здобичі (зайця), що взаємодіють між собою

сторіччя двоє вчених-математиків: англієць Альфред Джеймс Лотка (1880–1949) та італієць Віто Вольтерра (1860–1940) – незалежно один від одного описали це явище у вигляді системи двох диференціальних рівнянь (де  $x$  – кількість жертв,  $y$  – кількість хижаків,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  – певні коефіцієнти, які відображають особливості взаємодії між видами).



**Медична біологія** – наука про процеси та механізми, які відбуваються в організмі людини, зокрема на молекулярному, клітинному, тканинному та організмічному рівнях. Також предметом вивчення цієї науки є індивідуальний розвиток людини, еволюційні та адаптивні процеси в популяціях людей, пристосованість до умов середовища, виникнення порушень під впливом мутагенних і тератогенних (від грец. *тератос* – потвора, чудовисько) факторів навколишнього середовища, збудників, паразитарних хвороб. Медична біологія розробляє методи діагностики і профілактики захворювань людини, розв'язує багато інших теоретичних та практичних проблем збереження та поліпшення її здоров'я. Одними з найважливіших завдань медичної біології є вивчення спадковості людини, її генофонду, спадкових захворювань, причин виникнення та розвитку граничних станів, фізіологічних особливостей і поведінки людини.

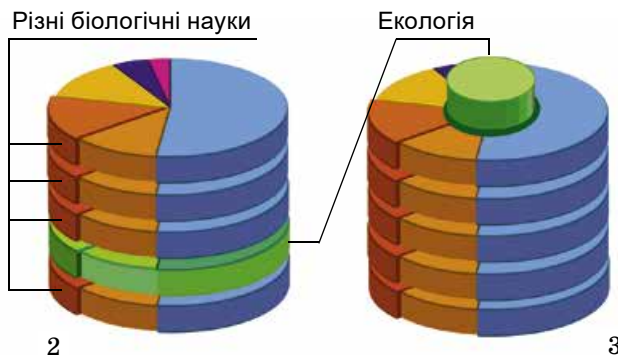
Наука про походження та еволюцію людини як особливого біосоціального виду, людські раси тощо має назву *антропологія*.

### Цікаво знати

Взаємодія різних наук забезпечує візноманітнення методів дослідження, дає змогу розглянути різні проблеми під новим кутом зору, зробити нові відкриття. Наприклад, відкриттю просторової структури молекул ДНК сприяла взаємодія молекулярної біології, біохімії та фізики. Зокрема, у своїх дослідженнях Моріс Вілкінс та англійська дослідниця Розалінда Франклін (мал. 1.3.) уперше застосували методи рентгенографії (дослідження внутрішньої структури об'єктів шляхом проходження через них рентгенівських променів).



Мал. 1.3. Розалінда Франклін (1920–1958)



Мал. 1.4. 1. Юджин Одум (1913–2002) – видатний американський еколог і зоолог. 2. Модель зв'язків біологічних дисциплін (за Ю. Одумом). 3. Модифікована модель зв'язків біологічних наук (екологію позначено зеленим кольором, іншими кольорами – різноманітні біологічні науки, про які йшлося в параграфі)



Усі галузі сучасного життя важко уявити без знань основ екології. **Екологія – наука про взаємозв'язки живих організмів та їхніх угруповань між собою і з навколишнім середовищем.** Вона виникла як біологічна наука понад 150 років тому. Завдяки взаємодії екології з технічними та суспільно-гуманітарними науками її зміст значно розширився. Так, *соціальна екологія (соціоекологія)* досліджує проблеми взаємодії людського суспільства (соціуму) та навколишнього середовища; *техноекологія* вивчає техногенні чинники впливу на довкілля, *радіоекологія* досліджує вплив іонізуючого випромінювання на організми та їхні угруповання; *агроєкологія*, або *сільськогосподарська екологія*, досліджує вплив різних екологічних факторів на агроценози, *ландшафтна екологія* вивчає просторове різноманіття, структуру та функціонування різних ландшафтів тощо.

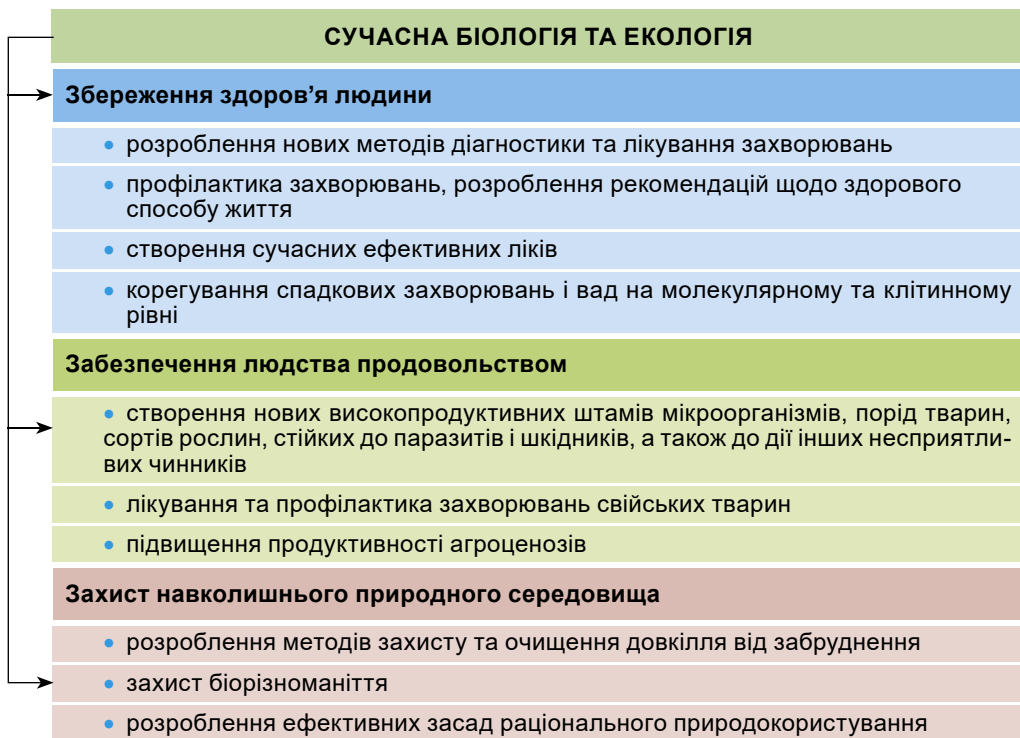
Найтісніше екологія взаємодіє з іншими біологічними науками. Видатний американський еколог і зоолог Ю. Одум (мал. 1.4, 1) 1953 року запропонував модель зв'язків біологічних наук у вигляді своєрідного «листового пирога», у якій екології відводилася роль одного із «шарів» серед фундаментальних дисциплін (мал. 1.4, 2). На нашу думку, на сьогодні екологія є тим стрижнем, який об'єднує різноманітні біологічні науки та забезпечує їхню взаємодію (мал. 1.4, 3).

**Значення біології та екології в житті людини.** Про застосування результатів біологічних досліджень у практичній діяльності людини ми ще неодноразово будемо згадувати протягом цього та наступного навчального року. На узагальнювальній схемі (мал. 1.5) наведено головні актуальні проблеми, які покликані розв'язати біологічні та екологічні науки. Можливо, і ви присвятите цьому своє подальше творче життя.

Сучасним перспективним напрямом біологічних досліджень є **нанотехнології** (або **наномолекулярні технології**). У нанотехнологіях, які застосовує, зокрема, молекулярна біологія, використовують молекули та атоми, розміри яких близько 1 нанометра<sup>1</sup> (інколи – 100). Отже, нанотехнології – це технології, які ґрунтуються на використанні окремих атомів або молекул для отримання структур з новими властивостями, які цікавлять

<sup>1</sup>Нанометр (скорочено – нм) – це  $1 \cdot 10^{-6}$  м (тобто одна мільйонна частка міліметра) або  $1 \cdot 10^{-9}$  м (тобто одна мільярдна частка метра). Для порівняння: діаметр подвійної спіралі молекули ДНК становить близько 2 нм.





Мал. 1.5. Основні галузі практичного застосування результатів біологічних та екологічних досліджень. *Завдання:* використовуючи власні знання з біології та допомогу вчителя або вчительки, доповніть запропоновану схему

людину. Наприклад, наночастинки платини набагато краще очищують автомобільні вихлопні гази, ніж звичні платинові каталізатори.

### Цікаво знати

Прикладами створення наноматеріалів із заданими властивостями є фулерени і дендримери. Фулерен – це форма Карбону, яку спочатку передбачили теоретично, а потім відкрили в природі. На вигляд молекула фулерену ( $C^{60}$ ) схожа на футбольний м'яч, зшитий з п'ятикутників і шестикутників (мал. 1.6). Фулерени можуть проникати в молекулу ДНК, викривляти і навіть «розплітати» її. Дендримери – це деревоподібні полімери (довгі молекули, що складаються з повторюваних однакових елементів). Вони здатні доставляти причеплені до них ліки прямо в клітини, наприклад ракові. Експериментуючи з фулеренами і дендримерами, нині в багатьох країнах шукають ефективні ліки від СНІДу, грипу, хвороби Паркінсона, раку тощо.



Мал. 1.6. Модель молекули фулерену

Застосування нанотехнологій є перспективним у медицині, косметології та фармакології. У галузі охорони навколишнього природного середовища нанотехнології можна використовувати для визначення екологічного стану довкілля та очищення його від небезпечних забруднювачів. Водно-



час щодо наноматеріалів є побоювання, що потрапляння їх в екосистеми може призвести до негативних наслідків для навколишнього середовища.

### **Ключові терміни та поняття**

біологія, екологія, медична біологія, екологізація науки та практичної діяльності людини, нанотехнології.

#### **Перевірте здобуті знання**



1. Які основні біологічні науки ви знаєте? 2. Чому сучасні біологічні дослідження неможливі без застосування математичних методів? 3. Які науки досліджують питання збереження та поліпшення здоров'я людини? 4. Як біологія та екологія взаємодіють з іншими науками? 5. Яке значення має екологізація сучасної науки та практичної діяльності людини?

#### **Поміркуйте**



Які винаходи людства сприяли розвитку біології?

#### **Творче завдання**



Підготуйте коротке повідомлення щодо внеску в розвиток біології видатних українських учених-біологів (О. Ковалевського, І. Шмальгаузена, І. Мечникова, С. Навашина, О. Фоміна, М. Холодного, О. Палладіна, Д. Заболотного, О. Богомольця, П. Костюка, С. Гершензона, О. Маркевича та ін.). Цей список ви можете доповнити самостійно або з допомогою вчителя чи вчительки. Ця інформація стане вам у пригоді під час вивчення відповідних тем у 10 та 11 класах.

## **§2. РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХНІЙ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК**

**Пригадайте** гіпотези походження життя на нашій планеті. Що таке популяція, екосистема, колообіг речовин? Які сполуки називають ферментами (ензимами)? Які їхні властивості? Що таке мікроеволюція, видоутворення та макроеволюція?

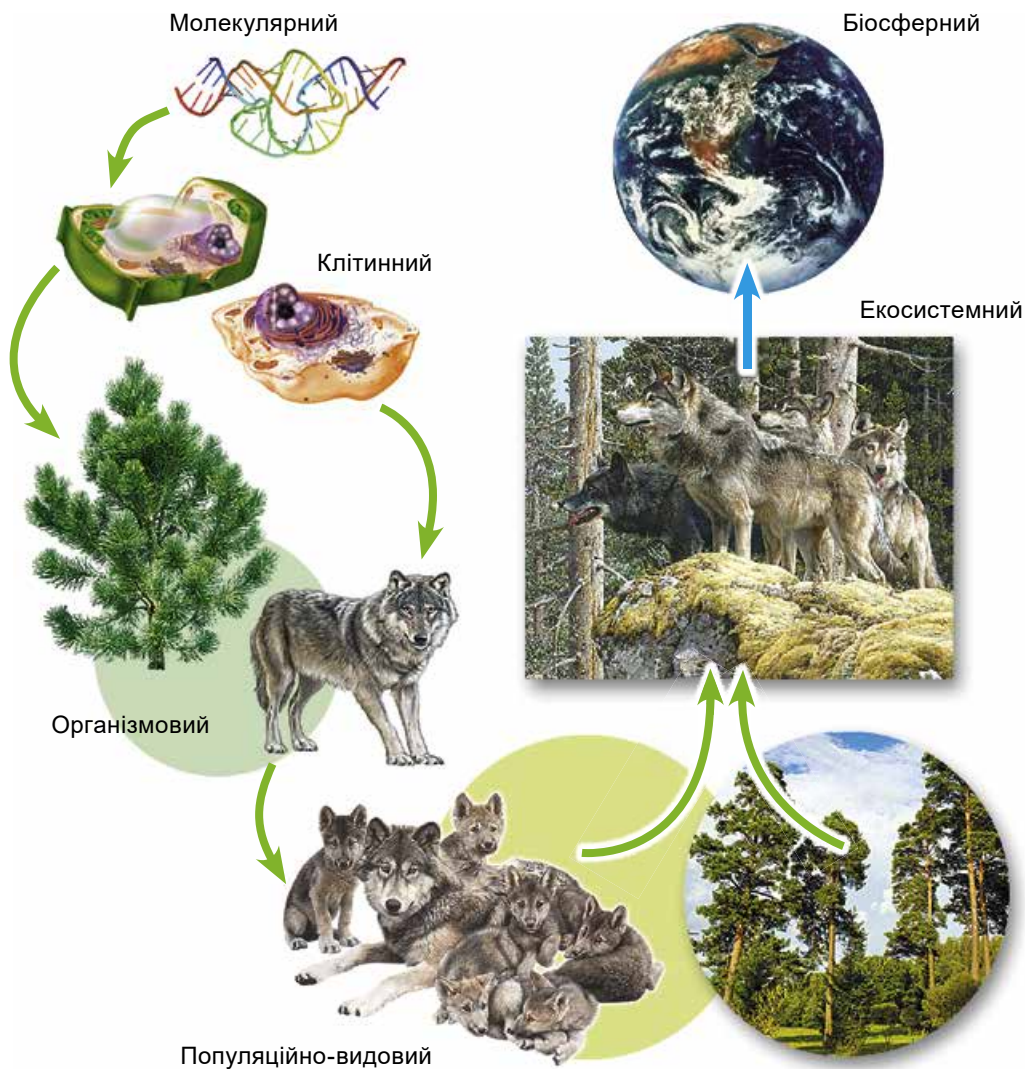
**Рівні організації живої матерії та їхній взаємозв'язок.** Ви вже знаєте, що жива матерія може перебувати на різних рівнях організації, які поступово сформувалися у процесі еволюції живої матерії: від простих – до складніших (мал. 2.1).



**Еволюція** – це процес історичного розвитку живої природи, під час якого змінювався генофонд популяцій, формувалися адаптації до середовища життя, виникали нові види та систематичні одиниці вищого рангу, натомість вимирали деякі старі, які виявилися нездатними пристосуватися до змін, що відбувалися, змінювалися як окремі екосистеми, так і біосфера в цілому.

Достеменно не відомо, як саме виникло життя на нашій планеті. Згідно з абіогенною гіпотезою походження життя (**пригадайте**, на чому ґрунтується ця гіпотеза), перші молекули органічних сполук утворилися з неорганічних. У сучасній науці відома гіпотеза світу РНК. Уперше її запропонував К. Воуз, а згодом розвинули Л. Орджел і В. Гілберт (мал. 2.2).

**Гіпотеза світу РНК** ґрунтується на тому, що молекули РНК здатні не тільки зберігати спадкову інформацію, а й виконувати функції ферментів. Наприклад, рибозими можуть забезпечувати розщеплення власних молекул або інших молекул РНК, беруть участь в утворенні пептидних зв'язків у молекулах білків. На базі скупчень молекул РНК, що виникли на певному етапі розвитку нашої планети, могли сформуватись асоціації молекул РНК, ДНК і білків. На ранніх етапах зародження життя на Землі

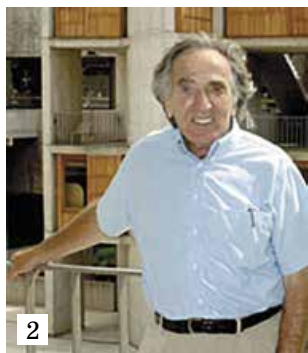


Мал. 2.1. Рівні організації живої матерії

молекули РНК могли існувати автономно завдяки здатності до самоподвоєння та каталітичним властивостям. Нові мутації могли спричинити появу молекул РНК, здатних каталізувати біосинтез певних білкових молекул. Поява молекул ДНК забезпечила здійснення ними функцій спеціалізованих «зберігачів» спадкової інформації. Натомість за молекулами РНК залишилися функції посередників між ДНК і молекулами білків, що синтезуються. Цікаво, що в деяких РНК-умісних вірусів, наприклад ВІЛ, молекули РНК слугують матрицею для синтезу ДНК.

### Запам'яємо

Світ РНК – гіпотетичний етап виникнення і розвитку життя на нашій планеті, пов'язаний з тим, що функцію збереження спадкової інформації та каталізу первинних хімічних реакцій здійснювали групи молекул РНК.



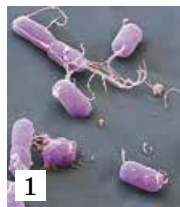
Мал. 2.2. Учені, які запропонували та підтримали гіпотезу світу РНК: 1. Американський мікробіолог **Карл Річард Воуз** (1928–2012); 2. Британський хімік **Леслі Ілізер Орджел** (1927–2007); 3. **Волтер Гілберт** (нар. 1932), американський фізик, біохімік, молекулярний біолог, лауреат Нобелівської премії з хімії

- Отже, першими біологічними системами на нашій планеті могли бути молекули РНК, а згодом – ДНК і білки. Так виник **молекулярний рівень організації живої матерії** (див. мал. 2.1). Він є складовою всіх наступних, складніших рівнів. Елементарними біологічними системами, які перебувають на молекулярному рівні, є неклітинні форми життя: віруси, віроїди, пріони (детальніше про їхню будову та властивості ви дізнаєтесь у темі «Біорізноманіття»). На молекулярному рівні відбуваються біохімічні процеси та перетворення енергії в біологічних системах, а також кодується, зберігається, змінюється і реалізується спадкова інформація.



**Біологічною системою називають ціле, що складається з окремих взаємопов'язаних частин живих систем, які здатні взаємодіяти між собою.**

- Первинні асоціації молекул РНК, ДНК і білків могли відокремлюватися біологічними мембранами від зовнішнього середовища. Так могли виникнути первинні клітини (слід зазначити, що експериментально цей імовірний етап еволюції життя на нашій планеті досі не доведено). Тим самим сформувався наступний, складніший **клітинний рівень організації живої матерії** (див. мал. 2.1). Ви знаєте, що клітина – це складна біологічна система, здатна до самостійного функціонування, самооновлення та самовідтворення. В одноклітинних організмів (*пригадайте*, до них належить переважна кількість прокаріотів, багато видів водоростей і тварин, деякі види грибів) окрема клітина функціонує як цілісний інтегрований організм (мал. 2.3).



Мал. 2.3. Приклади одноклітинних організмів: 1 – клітина бактерії (чумної палички); 2 – зелена водорість хламідомонада; 3 – одноклітинна тварина інфузорія-туфелька; 4 – цвілевий гриб мукор (є багатоядерною розгалуженою клітиною).

У кожній клітині як одноклітинних, так і багатоклітинних організмів відбувається обмін речовин і перетворення енергії, зберігається та реалізується спадкова інформація. Клітини здатні до розмноження і передачі спадкової інформації дочірнім клітинам.



**Клітина є елементарною одиницею будови, функціонування і розвитку живої матерії.**

- У процесі еволюції будова клітин ускладнювалася: від прокаріотичних до еукаріотичних. Виникли багатоклітинні організми (деякі ціанобактерії, більшість рослин, тварин, грибів). Так сформувався **організмний рівень організації живої матерії** (див. мал. 2.1). У багатьох багатоклітинних організмів під час індивідуального розвитку клітини спеціалізуються за будовою та виконуваними функціями (диференціюються), часто формуючи тканини. З тканин формуються органи. Різні органи взаємодіють між собою в процесі обміну речовин і перетворення енергії, формуючи системи органів. Досконалі регуляторні системи забезпечують функціонування багатоклітинного організму як цілісної інтегрованої біологічної системи. Оскільки в одноклітинних організмів організмний рівень організації збігається з клітинним, тому будова їхньої клітини складніша, ніж будова клітин, які входять до складу тваринних або рослинних тканин (*обґрунтуйте чому*).

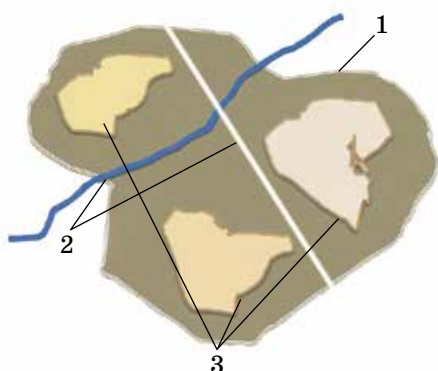
Усі організми належать до певних біологічних видів. Організми одного виду мають спільні особливості будови та процесів життєдіяльності, вимог до середовища життя. Вони здатні залишати плодючих нащадків.

Особини одного виду об'єднуються в групи – **популяції**, які займають певну частину території поширення даного виду – його **ареалу** (мал. 2.4).

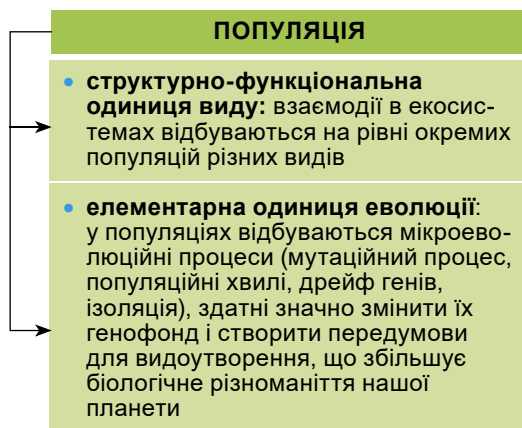


**Популяції є не тільки структурно-функціональними одиницями виду, а й елементарними одиницями еволюції** (мал. 2.5). Еволюціонують не окремі особини або цілісні види, а їхні популяції.

- Популяції різних видів, які населяють нашу планету, утворюють **популяційно-видовий рівень організації живої матерії** (див. мал. 2.1). Його особливістю є вільний обмін спадковою інформацією між різними



Мал. 2.4. Популяційна структура виду: вид складається з низки більш або менш відмежованих сукупностей особин – популяцій; 1 – ареал; 2 – бар'єри, які забезпечують часткову ізоляцію; 3 – популяції



Мал. 2.5. Популяція – структурно-функціональна одиниця виду та елементарна одиниця еволюції




представниками певного виду та передача її нащадкам. Ізоляція окремих популяцій створює передумови для виникнення нових видів.

### Запам'ятаємо

Вид складається із системи популяцій (дуже рідко вид представлений однією популяцією; такі види зазвичай вразливі й перебувають під загрозою зникнення).

Популяційно-видовий рівень організації живого характеризується надзвичайною різноманітністю. Ви знаєте, що на нашій планеті мешкає близько 2 млн видів різноманітних організмів: археїв, бактерій, рослин, грибів, тварин. Популяції різних видів, які населяють спільну територію, взаємодіють між собою та із чинниками неживої природи і входять до складу надвидових біологічних систем – **екосистем**.

 **Екосистеми, які охоплюють територію з однорідними умовами існування, називають біогеоценозами.** Це цілісні стійкі біологічні системи, здатні до самовідтворення, їх основу становлять рослинні угруповання певного типу – *фітоценози* (наприклад, ковиловий степ, дубово-грабовий ліс, сфагнове болото).

- Екосистеми становлять **екосистемний рівень організації живої матерії** (див. мал. 2.1). Для нього характерні потоки енергії між популяціями різних видів, а також постійний обмін речовиною між живою та неживою частинами біогеоценозів, тобто *колообіг речовин*.

Потоки енергії та колообіг речовин з'єднують різні складові біогеоценозів (екосистем) у єдину цілісну саморегульовану надвидову біологічну систему – **біосферу** – частину оболонок Землі, населених живими організмами (див. мал. 2.1).

- **Біосферний рівень організації живої матерії** характеризується глобальними колообігом речовин і потоками енергії, які забезпечують функціонування біосфери.

Різні рівні організації живої матерії не існують окремо один від одного, а тісно взаємопов'язані між собою: нижчі рівні організації живої матерії є складовими вищих, без яких вони функціонувати не можуть.

### Ключові терміни та поняття

рівні організації живої матерії.

#### Перевірте здобуті знання



1. Чим можна пояснити різноманітність рівнів організації живої матерії? 2. У чому полягає взаємозв'язок різних рівнів організації живої матерії? 3. Наведіть приклади біологічних систем, які перебувають на різних рівнях організації: від молекулярного до біосферного. 4. Чому біологічні системи належать до відкритих? Спробуйте довести, що екосистеми є відкритими системами. 5. Що спільного та відмінного між окремими екосистемами та біосферою як глобальною екосистемою нашої планети?

#### Поміркуйте



Відомо, що протягом історичного розвитку життя на нашій планеті кількість видів поступово збільшувалася. І це за умови, що значна кількість видів вимерла. Чим можна пояснити таку тенденцію?

### §3. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ЖИВОГО

*Пригадайте*, що таке мікроеволюція, видоутворення та макроеволюція. Що таке адаптації? Яке їхнє значення в еволюції організмів? Що таке гомеостаз?

Питання щодо появи й суті життя здавна хвилювали світову наукову спільноту та широкі верстви населення. Це цілком зрозуміло, адже ми й самі – живі істоти. Незважаючи на бурхливий розвиток біологічних наук, застосування методів генної та клітинної інженерії, електронної мікроскопії та складної обчислювальної техніки, сутність життя досі залишається загадковою.

Відрізнити живий організм від неживого об'єкта, на перший погляд, ніби й не складно. Але в певних випадках живі істоти можуть зовні нагадувати неживі предмети, наприклад, перебуваючи у стані спокою, коли прояви життєдіяльності стають непомітними (як-от, насіння чи пилоск рослин). З другого боку, якщо кришталіки кухонної солі перенести в насичений розчин цієї речовини, вони починають рости, що нагадує ріст живих істот.

Біологія досліджує різні прояви життя протягом багатьох століть, але й на сучасному етапі її розвитку важко дати чітке та стисле визначення цього поняття. Сучасна наука не здатна штучно створити повноцінний навіть найпростіший живий організм, точно невідомо, як життя з'явилося на нашій планеті. Тому перелічимо основні властивості, притаманні живій матерії, зауваживши при цьому, що функціонування біологічних систем ґрунтується на тих самих фізичних законах, які притаманні й неживій природі.

#### Цікаво знати



Група американських учених під керівництвом Крейга Вентера (першовідкривача генома людини) 2010 року створила першу штучну живу клітину. Команда Вентера не створила «життя» з нічого. Клітину сформовано на основі штучної ДНК та штучно створеної хромосоми, тобто в експерименті було штучно синтезовано геном. Робота з вирощування штучної клітини дала змогу краще дослідити, як працюють живі клітини.

**Здатність еволюціонувати.** Усе різноманіття біологічних систем на різних рівнях організації живої матерії – **біорізноманіття** – сформувалося у процесі тривалої (протягом мільярдів років) еволюції живої матерії. Біорізноманіття – запорука існування біосфери. Тому його збереження – головне завдання людини.

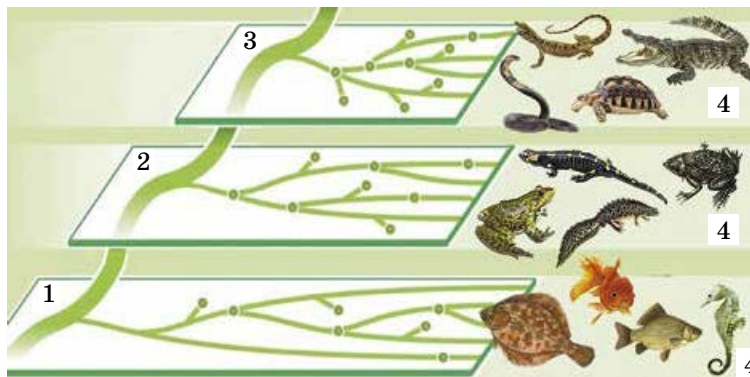
Зазвичай еволюційні перетворення пов'язані з ускладненням організації біологічних систем і лише в деяких випадках – зі спрощенням (як-от, в організмів, що переходять до паразитичного або прикріпленого способу життя).

**Завдання:** Уважно розгляньте малюнок 3.1, на якому зображено представників трьох класів хордових тварин: Кісткові риби, Амфібії та Рептилії.

1. Пригадайте ароморфози, які дали змогу представникам амфібій опанувати суходіл (поява легеневого дихання, трикамерного серця та двох кіл кровообігу: великого та малого).

2. Пригадайте ароморфози, які дали змогу рептиліям позбутися залежності від водного середовища (поява зародкових оболонок, завдяки яким зародки можуть розвиватися поза водним середовищем, та внутрішнє запліднення).

3. Укажіть ідіоадаптації тварин, зображених на малюнку.



Мал. 3.1. Основні форми еволюційного процесу: 1-3 – ароморфози в еволюції хребетних тварин; 4 – приклади ідіоадаптацій

**Здатність до адаптацій.** Процес еволюції біологічних систем пов'язаний з формуванням у них *адаптацій* до умов існування.

**Адаптації** – це виникнення пристосувань у відповідь на зміни, які відбуваються у зовнішньому чи внутрішньому середовищі організму (мал. 3.2).

### Запам'ятаємо

Генетично зумовлена здатність біологічних систем адаптуватися до нових умов мешкання має назву **адаптивний потенціал**. Що краще виражена здатність організмів формувати нові адаптації, то більше шансів у них вижити за певних змін умов мешкання.

Адаптації виникають на всіх рівнях організації живої матерії: від молекулярного до надорганізмового. Так, вивчаючи віруси – біологічні системи, що перебувають на молекулярному рівні організації, ви дізнаєтесь про певні адаптації до проникнення вірусних частинок у клітини організму хазяїна. Осінній листопад є прикладом адаптацій надвидових біологічних систем – екосистем широколистяних лісів – до переживання несприятливого зимового періоду.



Мал. 3.2. Приклади захисних адаптацій тварин. *Завдання:* оцініть значення наведених на малюнку адаптацій для виживання виду

**Співвідношення органогенних хімічних елементів.** Біологічні системи різного рівня організації мають *подібний хімічний склад*. Насамперед це стосується співвідношення хімічних елементів, які називають **органогенними** (*пригадайте чому*). Це Гідроген, Карбон, Нітроген та Оксиген. Крім того, для біологічних систем різного рівня організації характерні біополімери (полісахариди, білки, нуклеїнові кислоти тощо).

**Клітинна будова організмів.** Біологічні системи, які перебувають на організмовому рівні організації живої матерії, складаються з окремих *структурно-функціональних одиниць* – **клітин**. Неклітинні форми жит-



тя – віруси, віроїди, пріони – здатні виявляти прояви життєдіяльності лише всередині клітин тих організмів, у яких вони паразитують.

**Обмін речовин та енергії.** Біологічні системи відкриті, тобто постійно *обмінюються речовинами та енергією з навколишнім середовищем*. Отже, вони можуть тривалий час функціонувати лише за умов надходження іззовні енергії та поживних речовин. Процеси обміну речовин (*метаболізму*) становлять собою суму фізичних і хімічних процесів, що відбуваються як в окремих клітинах (мал. 3.3), так і в цілісному багатоклітинному організмі.

**Здатність біологічних систем до саморегуляції.** Обмін речовин та перетворення енергії забезпечують одну з найголовніших умов існування біологічних систем різного рівня організації – *підтримання гомеостазу* – здатності біологічних систем зберігати відносну сталість свого складу та властивостей за змін умов навколишнього середовища. Підтримання гомеостазу на організмовому рівні забезпечують особливі *регуляторні системи* (у тварин – нервова, ендокринна та імунна, у рослин і грибів – різноманітні біологічно активні речовини – вітаміни, фітогормони, фітонциди, антибіотики). Завдяки регуляторним системам усі процеси життєдіяльності живих організмів відбуваються узгоджено, зокрема процеси метаболізму здійснюються у певній послідовності і з певною швидкістю.

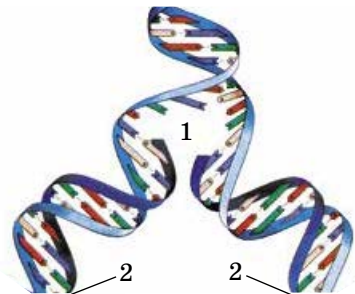
**Здатність до підтримання своєї специфічної структури.** Усім біологічним системам – від неклітинних форм життя до біосфери – притаманна чітка внутрішня організація. Тому існують специфічні механізми, спрямовані на її підтримання. Наприклад, молекули ДНК здатні до *репарації* – відновлення своєї специфічної будови після ушкоджень. Після незначних ушкоджень можуть відновлюватися клітинні мембрани. За допомогою *регенерації* багатоклітинні тварини і рослини можуть відновлювати втрачені або пошкоджені частини.

**Здатність до самооновлення.** Під час свого існування біологічні системи різного рівня організації постійно самооновлюються. Адже кожна молекула, клітина або окремий організм живуть лише певний час. Тому їм на зміну мають виникати нові.

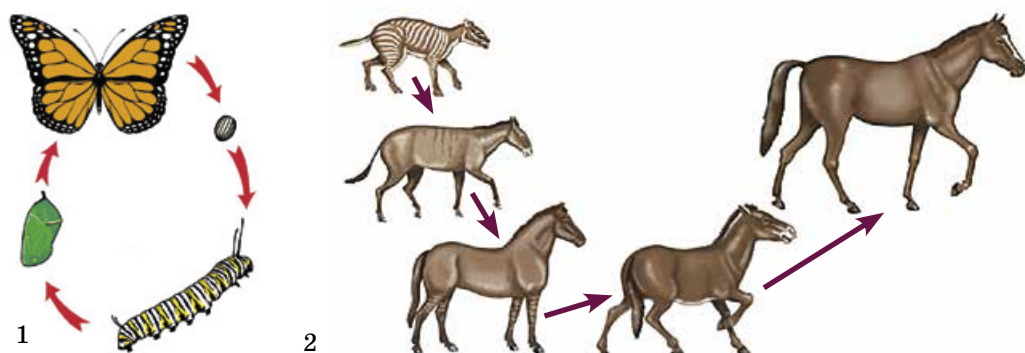
**Здатність до самовідтворення** – найважливіша риса, що відрізняє живе від неживого. Організми відтворюють собі подібних, тобто *розмножуються*. Завдяки цьому існують не лише окремі види, а й життя взагалі. Здатність до самовідтворення притаманна і молекулам ДНК. Їхня універсальна здатність до самоподвоєння – *реплікації* – є підґрунтям самовідтворення біологічних систем різного рівня організації (мал. 3.4).



Мал. 3.3. Клітина – універсальна біохімічна лабораторія, у якій повсякчас відбувається багато хімічних і фізичних процесів



Мал. 3.4. Реплікація молекули ДНК: за участю ферменту розширюються водневі зв'язки (1) і на кожному материнському ланцюзі за принципом комплементарності добудовується дочірній (2)



Мал. 3.5. Приклади індивідуального (онтогенез) та історичного (філогенез) розвитку організмів. 1 – онтогенез метелика. *Завдання:* пригадайте форми розвитку цієї комахи; 2 – філогенетичний ряд коня від далекого предка до сучасного

**Здатність біологічних систем до розвитку.** У процесі індивідуального розвитку (*онтогенезу*) організми ростуть і розвиваються: з ними відбуваються якісні зміни, пов'язані з набуттям нових рис будови та особливостей функціонування (мал. 3.5, 1). Історичний розвиток виду (або систематичної одиниці вищого рангу) у часі має назву **філогенез** (мал. 3.5, 2).

### Запам'ятаємо

Здатність до розвитку – це загальна властивість не лише окремих організмів, але й надорганізмових систем. Наприклад, біосфера – єдина глобальна екосистема нашої планети – пройшла тривалий і складний шлях історичного розвитку, під час якого вона зазнавала значних змін.

**Збереження спадкової інформації та її передача нащадкам під час розмноження** забезпечує стабільність існування видів. Водночас живим істотам притаманна й **мінливість** – здатність набувати нових ознак протягом індивідуального та історичного розвитку. Завдяки мінливості організмів створюються передумови для виникнення як нових видів, так і систематичних одиниць вищого рангу. Біологічним системам притаманний універсальний шлях передачі та реалізації спадкової інформації.

### Запам'ятаємо

У всіх клітин і багатоклітинних організмів спадкова інформація кодується у вигляді послідовності нуклеотидів молекул ДНК, з них переписується на молекули матричної РНК. Далі вона реалізується синтезуванням відповідних білкових молекул. Лише в неклітинних форм життя – вірусів – ця схема може змінюватися: у них можливе переписування спадкової інформації з однієї молекули РНК на іншу або з молекули РНК на ДНК.

**Здатність сприймати подразники зовнішнього та внутрішнього середовища і певним чином на них реагувати.** Це явище дістало назву **подразливість**. У тварин реакції на подразники, які здійснюються за участі нервової системи, називають **рефлексами** (наведіть приклади подразливості в рослин і тварин).

**Здатність до рухів.** Ви вже знаєте, що рухи часто є реакцією у відповідь на дію різних подразників. Рух властивий не лише тваринам, а й рослинам. Пригадайте листову мозаїку, коли листові пластинки рослин розташовуються так, щоб бути максимально освітленими. Багато мікроскопічних бактерій, водоростей чи тварин рухаються у воді за допомогою органел

руху – джгутиків. Цитоплазма клітин перебуває в постійному русі, що забезпечує зв'язки між усіма її компонентами.

### Запам'ятаємо

Організми та надорганізмові системи становлять собою цілісні біологічні системи, здатні до самооновлення, саморегуляції та самовідтворення.

### Ключові терміни та поняття

біорізноманіття, адаптивний потенціал.

#### Перевірте здобуті знання



1. Чому для біологічних систем важливе значення має їхня здатність до формування адаптацій? 2. Що таке гомеостаз? Чому існування біологічних систем різного рівня організації неможливе без підтримання гомеостазу? 3. Що таке подразливість? Яка її роль у забезпеченні нормального існування організмів? 4. Чому без спадкової мінливості еволюція живої матерії була б неможливою?

#### Поміркуйте



Рухи в більшості багатоклітинних тварин забезпечують м'язові клітини. Які механізми забезпечують рухи в рослин?

## §4. СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПРИРОДИ ТА СУСПІЛЬСТВА

*Пригадайте*, що таке біопаливо. Як його отримують? Які населені пункти називають мегаполісами? Які можливі причини поступових змін клімату в наші дні?

**Потреба в раціональному природокористуванні.** Характерною рисою розвитку різних природничих, суспільно-гуманітарних і технічних наук є їхня **екологізація**. З одного боку, це розуміння того, що окремі організми та їхні угруповання неможливо розглядати у відриві від середовища життя, з другого – впровадження ідей збереження та поліпшення стану навколишнього природного середовища та збалансованого розвитку природи й суспільства.

Екологія є науковою основою **раціонального використання природних** ресурсів і **сталого** (збалансованого) **розвитку** суспільства, охорони біологічного різноманіття нашої планети (мал. 4.1).

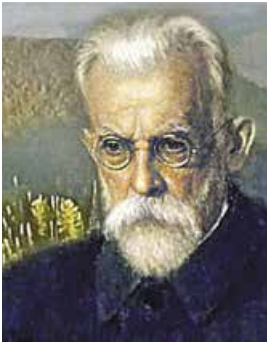
Сучасний розвиток людського суспільства неможливо уявити без наукових праць нашого видатного співвітчизника – Володимира Івановича Вернадського (мал. 4.2, 1). Він створив учення про **біосферу** – єдину глобальну екосистему планети Земля, а також **ноосферу** – новий стан біосфери, спричинений розумовою діяльністю людини (мал. 4.2, 2).

### Запам'ятаємо

Перехід біосфери в ноосферу – неодмінна умова існування людства.



Мал. 4.1. Екологічне мислення дає змогу розробляти ефективні заходи для подолання глобальної екологічної кризи та розв'язувати екологічні проблеми сьогодення



Мал. 4.2. Володимир Іванович Вернадський (1863–1945) – перший президент Української академії наук (тепер – Національна академія наук України)

З розвитком екології людство усвідомило значення досліджень взаємозв'язків між організмами та середовищем їхнього проживання. Виявлено закономірності, які керують функціонуванням надорганізованих біологічних систем: як окремих популяцій та екосистем, так і біосфери в цілому. Навіть незначний вплив людини на довкілля може запустити ланцюгові реакції, здатні спричинити непередбачені наслідки в глобальному масштабі. Людина поступово усвідомила необхідність охорони не лише окремих видів організмів, а й екосистем та біосфери в цілому.

Уникнути глобальної екологічної кризи можна, лише об'єднавши зусилля всіх країн для вироблення єдиної стратегії збереження і поліпшення стану навколишнього природного середовища – стратегії сталого (збалансованого) розвитку природи та суспільства.

### Екологічна безпека та сталий розвиток

**Концепція сталого (збалансованого) розвитку природи й суспільства** має три складові: екологічну, економічну та соціальну. 1983 року при Організації Об'єднаних Націй (ООН) (англ. – *United Nations*) було створено Всесвітню комісію з навколишнього середовища та розвитку. Вона визнала, що екологічні проблеми сьогодення мають не локальний, а глобальний характер. Сучасне суспільство несе відповідальність за те, у якому стані залишить після себе довкілля і природні ресурси наступним поколінням.

Стратегічні принципи побудови такого суспільства розробили вчені **Міжнародної спілки охорони природи та природних ресурсів (МСОП)** (англ. – *International Union for Conservation of Nature, IUCN*). Їх погоджено з урядами більшості країн світу.

Міжнародну комісію ООН з навколишнього середовища та розвитку 1983 року очолила Г.Х. Брунтланн (мал. 4.3). Ця комісія розробила концепцію сталого розвитку. Мета цієї концепції – забезпечення такого розвитку людства, який реально поліпшить умови життя за одночасного збереження і поліпшення стану біосфери, а також різноманітності організмів як основного фактору її стійкості. 1987 року побачила світ доповідь «Наше спільне майбутнє» (її також називають «Доповіддю Брунтланн»), присвячена пошуку оптимального шляху сталого розвитку. Саме Г.Х. Брунтланн сформулювала поняття «сталий розвиток» (англ. – *Sustainable development*).

### Цікаво знати

Гру Харлем Брунтланн – відома норвезька політикеска і громадська діячка, перша в історії Норвегії жінка, яка очолила уряд цієї країни. У 1998–2003 рр. обіймала посаду Генерального директора Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), з 2007 р. – спеціальна посланниця Генерального секретаря ООН з проблем зміни клімату. 2004 року авторитетне британське видання *Financial Times* включило Г.Х. Брунтланн у список найвпливовіших європейців за останні 25 років.



Мал. 4.3. Гру Харлем Брунтланн (народ. 1939)



1 січня 2016 року офіційно набрали чинності 17 цілей сталого розвитку. Їх викладено в Порядку денному в галузі сталого розвитку на період до 2030 року, який ухвалили лідери держав світу у вересні 2015 року на історичному саміті ООН. Які це цілі?

**1. Повсюдна ліквідація злиденності в усіх її формах.** Наслідками злиденності є систематичне недоїдання, обмежений доступ до освіти, охорони здоров'я тощо. Ліквідації злиденності має сприяти економічне зростання країн, яке забезпечить зайнятість населення та отримання необхідних засобів для існування.

**2. Ліквідація голоду, забезпечення продовольчої безпеки, поліпшення харчування та сприяння стійкому розвитку сільського господарства.** Сільське, лісове, рибне господарства тощо здатні забезпечити повноцінним харчуванням усе населення планети, не порушуючи при цьому стану навколишнього середовища. Але через інтенсивне вирубування лісів, виснаження ґрунтів і ресурсів Світового океану швидкими темпами скорочується біорізноманіття нашої планети. Тому сільське господарство має переходити на інтенсивний шлях розвитку, за якого з мінімальної площі можна отримувати високі врожаї.

**3. Забезпечення здорового способу життя і сприяння благополуччю для всіх у будь-якому віці.** Актуальними проблемами людського суспільства є боротьба з небезпечними хворобами (як-от, СНІД, туберкульоз, поліомієліт, малярія та ін.) та збільшення тривалості життя, забезпечення вільного доступу до чистої води, лікарських послуг.

**4. Забезпечення всеосяжної та якісної освіти, заохочення до освіти протягом усього життя.**

**5. Забезпечення гендерної рівності та розширення прав і можливостей усіх жінок і дівчат.** Має бути забезпечено рівний доступ представникам та представницям обох статей до освіти, медичних послуг, посад на роботі, політичного життя тощо. Жінки не повинні потерпати від дискримінації та насильства.

**6. Забезпечення доступу всіх до санітарії, водних ресурсів та їхнього раціонального використання.** Чиста вода – необхідна умова існування людства. За прогнозами ООН, уже 2025 року понад 2,5 млрд людей відчуватимуть значну нестачу питної води.

**7. Забезпечення для всіх доступу до недорогих, надійних, стабільних і сучасних джерел енергії.** Від енергії залежить робота промисловості, сільського господарства, транспорту, задоволення побутових потреб людини. Нині людина стикається з проблемами обмеження запасів невідновлюваних джерел енергії, таких як кам'яне вугілля, нафта, природний газ. Для розв'язання цієї проблеми потрібно ширше використовувати джерела відновлювальної енергії: енергії вітру, припливів і відпливів, біопаливо тощо (мал. 4.4).

**8. Сприяння поступальному, стійкому економічному зростанню, повній зайнятості та гідній роботі для всіх.**

**9. Створення стійкої інфраструктури, сприяння всеосяжній та стабільній індустріалізації та інноваціям.** Інвестиції в інфраструктуру: транспорт, енергозабезпечення, комунікації, інформаційні технології повинні забезпечити зростання продуктивності праці і відповідно – доходів населення, доступність послуг у галузі освіти та медицини тощо.

**10. Скорочення нерівності всередині країн і між країнами.** Нерівність в отриманні доходів між різними країнами світу створює проблеми масової міграції, коли багато людей з країн з низьким рівнем доходів масово і



Мал. 4.4. Джерела відновлювальної енергії. *Завдання:* уважно розгляньте малюнок та схарактеризуйте джерела відновлювальної енергії, які на ньому зображено

часто незаконно намагаються мігрувати в країни з високим рівнем доходів.

**11. Забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стабільності міст та інших населених пунктів.** Міста є центрами промислового виробництва, торгівлі, науки, культури, освіти, сучасної медицини тощо. Але вони, насамперед мегаполіси, стикаються з проблемами перенаселення, нестачі комфортного та екологічно безпечного житла, спотворення природного середовища (наприклад, скорочення площі зелених насаджень, забруднення повітря, утилізації промислових і побутових відходів) (мал. 4.5).

**12. Забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва.** Скорочення рівня споживання ресурсів з одночасним підви-



Мал. 4.5. 1. Великі сміттєзвалища, розміщені поблизу великих міст, є небезпечними джерелами забруднення довкілля. 2. Сортування, вчасне прибирання та перероблення сміття – приклад розв'язання цієї проблеми

ценням рівня продуктивності дасть змогу посилити конкурентоспроможність підприємств та скоротити рівень злиденності населення. Спільні зусилля урядів, наукової спільноти в розв'язанні цього питання одночасно дадуть змогу також поліпшити якість навколишнього середовища.

**13. Вжиття негайних заходів для боротьби зі змінами клімату та його наслідками.** Викиди в атмосферу парникового газу, пов'язані з діяльністю людини, зростають щодня й досягли історичного максимуму. Це негативно впливає як на природні екосистеми (мал. 4.6), так і на саму людину. Підвищення температури повітря та води спричиняє танення льодовиків, насамперед на полюсах планети. Унаслідок цього підвищується рівень Світового океану, що загрожує затопленням значних територій нашої планети в майбутньому.

**14. Збереження та раціональне використання океанів, морів і морських ресурсів в інтересах стійкого розвитку.** Світовий океан регулює клімат, насамперед прибережних територій, рівень ґрунтових вод, ним проходять важливі транспортні артерії. Тому без раціонального використання цього глобального ресурсу стійкий розвиток суспільства стає неможливим.

**15. Захист і відновлення екосистем суходолу та сприяння їх раціональному використанню, раціональне лісокористування, боротьба з опустелюванням та деградацією земель, припинення процесу втрати біорізноманіття.** Нині ліси охоплюють близько 30 % площі нашої планети. Через інтенсивне вирубування щорічно зникає близько 13 млн гектарів насамперед тропічних лісів, натомість зростає площа пустель.

**16. Сприяння побудові миролюбного та відкритого суспільства в інтересах збалансованого розвитку, забезпечення доступу до правосуддя для всіх і створення ефективних, підзвітних і заснованих на широкій участі установ на всіх рівнях.**

**17. Зміцнення засобів здійснення та активізації роботи в рамках Глобального партнерства в інтересах сталого розвитку.** Вдала реалізація концепції сталого розвитку неможлива без налагодження партнерських відносин на всіх рівнях: між урядами країн, громадськими організаціями тощо. Ці відносини мають бути побудовані на загальнолюдських принципах і цінностях, спільних цілях і баченні вирішення проблем та орієнтовані на найбільш повне задоволення інтересів людського суспільства.



Мал. 4.6. Зміни клімату ставлять під загрозу існування багатьох видів організмів: зокрема, танення льодовиків загрожує існуванню білого ведмеда

## **Запам'ятаємо**

Пріоритетними напрямками сталого (збалансованого) розвитку є економічне зростання, охорона навколишнього середовища, соціальна справедливість (рівність усіх громадян перед законом, забезпечення однакових можливостей для досягнення матеріального та соціального благополуччя), раціональне природокористування, стабілізація темпів народонаселення, якісна освіта та активне міжнародне співробітництво в усіх галузях нашого життя.



## Ключові терміни та поняття

сталий (збалансований) розвиток, екологізація науки та практичної діяльності людини.

### Перевірте здобуті знання



1. Що мають на увазі під екологізацією всіх сфер життя людини? 2. Що таке сталий (збалансований) розвиток? Які цілі потрібно реалізувати для забезпечення сталого розвитку? 3. Яке значення досліджень у галузі біології та екології для існування сучасного людського суспільства?

### Поміркуйте



Які цілі сталого розвитку найактуальніші для сучасної України?

### Творче завдання



Поміркуйте, які дослідження в галузі біології та екології потрібно зробити для реалізації цілей сталого розвитку. У яких з них ви бажали б узяти участь?

## ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ

*Виберіть із запропонованих відповідей правильну*

1. Визначте, що собою становить адаптивний потенціал: а) здатність біологічних систем ускладнюватись у процесі еволюції; б) генетично визначена здатність формувати нові адаптації; в) виникнення нових популяцій певного виду; г) здатність біологічних систем зберігати сталий хімічний склад.

2. Зазначте біологічні системи, які перебувають на клітинному рівні організації живої матерії: а) вищі рослини; б) хордові тварини; в) бактерії; г) віруси.

3. Укажіть особливості біологічних систем, які відрізняють їх від неживих об'єктів: а) ріст; б) участь у колообігу речовин; в) наявність особливих хімічних елементів, які не трапляються у неживих об'єктів; г) здатність до сприйняття подразників.

*Утворіть логічні пари*

4. Установіть відповідність між фундаментальними властивостями живої матерії та їхніми характерними рисами.

- |                 |  |
|-----------------|--|
| 1 гомеостаз     | А підтримання динамічної сталості хімічного складу та властивостей внутрішнього середовища |
| 2 регенерація   | Б здатність сприймати подразники зовнішнього та внутрішнього середовища                    |
| 3 адаптація     | В набуття нових ознак у процесі історичного розвитку                                       |
| 4 подразливість | Г відновлення після пошкоджень   |
|                 | Д пристосування до умов існування  |

*Завдання з вибором трьох правильних відповідей із трьох груп запропонованих варіантів відповідей*

5. Визначте належність біологічних систем до відповідного рівня організації.

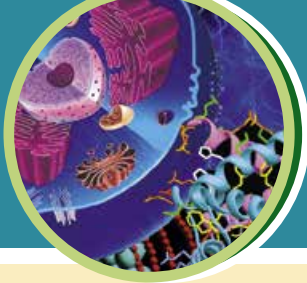
Віруси	Бактерії	Сфагнове болото
1 молекулярний	1 молекулярний	1 клітинний
2 клітинний	2 клітинний	2 популяційно-видовий
3 організмний	3 екосистемний	3 екосистемний

*Запитання з відкритою відповіддю*

6. Що спільного й відмінного в будові та функціонуванні клітин одноклітинних і багатоклітинних організмів?

7. Що спільного та відмінного в проявах подразливості в одноклітинних і багатоклітинних тварин?

8. Яким чином адаптивний потенціал залежить від різноманітності генофонду організмів певного виду?



# ТЕМА 1. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

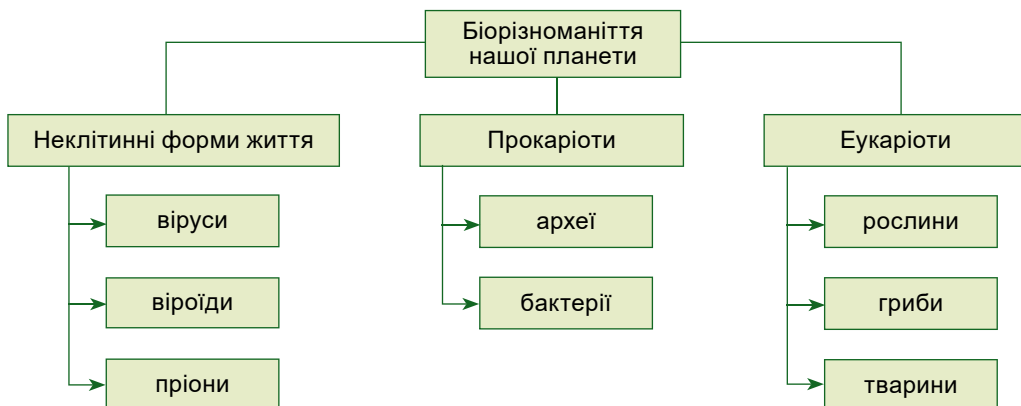
- сучасні принципи наукової систематики та її значення для біологічних досліджень;
- особливості організації, функціонування та принципи класифікації неклітинних форм життя (вірусів, віроїдів, пріонів);
- особливості організації, процесів життєдіяльності та принципи класифікації прокаріотів (археїв і бактерій);
- сучасну систему еукаріотичних організмів;
- різноманітність органічного світу як наслідок еволюції.

## §5. СИСТЕМАТИКА – НАУКА ПРО РІЗНОМАНІТНІСТЬ ОРГАНІЗМІВ

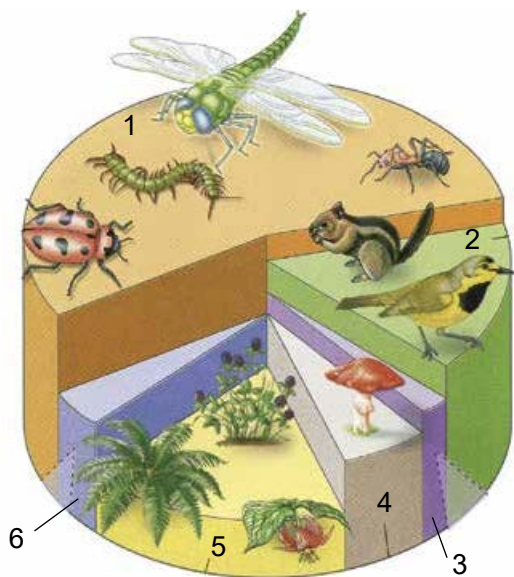
*Пригадайте*, які існують рівні організації живої матерії. Що мають на увазі під поняттям «біологічна система»?

**Біорізноманіття нашої планети.** Ви вже знаєте про вражаюче різноманіття біологічних систем різного рівня організації – **біорізноманіття** (або **біологічне різноманіття**). Зазвичай під поняттям «біорізноманіття» розуміють різноманітність проявів життя на трьох рівнях його організації: молекулярному, популяційно-видовому (мал. 5.1) та екосистемному.

**Неклітинні форми життя** – це біологічні системи, які перебувають на молекулярному рівні організації живої матерії. Так, пріони представлені лише білковими молекулами, віруси складаються з молекул нуклеїнових



Мал. 5.1. Біорізноманіття нашої планети: неклітинні форми життя, прокаріоти та еукаріоти



Мал. 5.2. Співвідношення різних груп еукаріотичних організмів: легко помітити, що серед них чітко переважають членистоногі (понад 66 % усього різноманіття еукаріотів): 1 – тип Членистоногі; 2 – хордові тварини; 3 – багатоклітинні безхребетні тварини; 4 – гриби; 5 – рослини; 6 – одноклітинні еукаріоти

кислот (або ДНК, або РНК), оточених оболонкою (до її складу входять білки або білки з ліпідами), віроїди – лише з молекули РНК (детальніше про них ви дізнаєтеся з § 8).

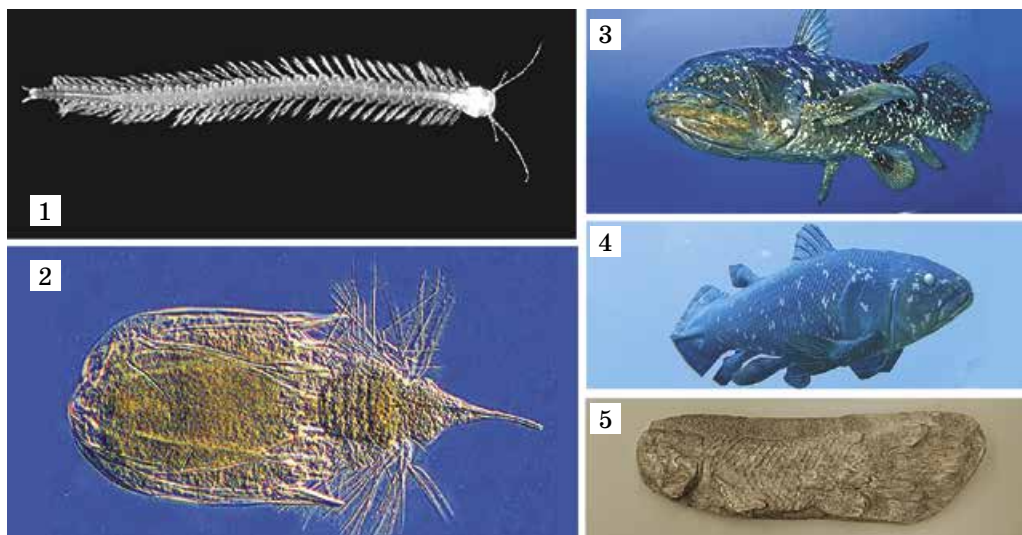
**Прокаріоти (Доядерні)** – здебільшого одноклітинні організми, клітини яких мають відносно просту будову: у них відсутнє сформоване ядро, більшість органел. До прокаріотів належать Археї та Бактерії (детальніше про їхню організацію ви дізнаєтеся з § 11).

**Еукаріоти (Ядерні)** – організми, клітини яких хоча б на певних етапах розвитку мають ядро. Їм властиві різноманітні органели. На сьогодні описано близько 2 млн видів еукаріотів (мал. 5.2), з яких понад 1,6 млн видів тварин (уявіть: тільки сучасних видів комах нараховують понад 1 млн 70 тис. видів, тоді як хордових тварин – лише понад 42 тис. видів). Число видів рослин учені оцінюють у близько 320 тис., серед них переважають покритонасінні, або квіткові (280 тис. видів або майже 88 % усього різноманіття рослин).

Щорічно вчені описують тисячі нових для науки видів, а також систематичні категорії вищого рангу: нові для науки роди, родини, ряди (порядки), класи і навіть типи (відділи). Особливо багато нових знахідок обіцяє нам Світовий океан.

### Цікаво знати

У 1955 році знайдено викопних морських ракоподібних, за зовнішнім виглядом не схожих на раніше відомих представників цієї групи; згодом було виявлено й нині існуючі види. 1981 року з'ясувалося, що це новий для науки клас ракоподібних – Реміпедії (мал. 5.3, 1). Це невеликі ракоподібні, що вільно плавають, мешкають у підводних печерах островів або материкового морського узбережжя Атлантичного та Тихого океанів. На початку 1970-х років знайдено інших невідомих мешканців морів фантастичного вигляду – лоріцифер (мал. 5.3, 2). Представники цього нового для науки типу – дрібні мешканці морів (розміри дорослих особин не перевищують 1 мм); цікаво, що деякі види лоріцифер можуть мешкати в анаеробних умовах. 1997 року біля острова Сулавесі (Індонезія) учені відкрили новий вид латимерії – представника кистеперих риб (мал. 5.3, 3). Перший

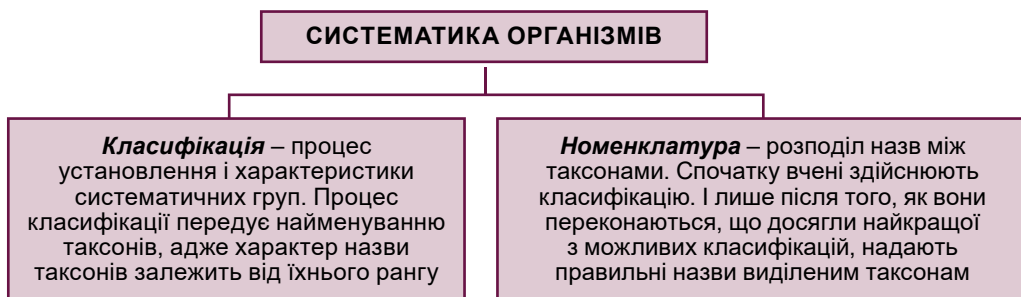


Мал. 5.3. Нові для науки таксони тварин, описані у другій половині XX століття: 1 – клас Реміпедії; 2 – тип Лоріцифери; 3 – вид латимерії, виявлений 1997 року біля берегів Індонезії; 4 – вид латимерії, що мешкає біля берегів Африки; 5 – відбиток кистеперої риби. *Завдання:* з допомогою учителя або вчительки пригадайте, чому кистеперих риб вважають предками наземних хребетних тварин

сучасний вид латимерії знайдено 1938 року біля берегів Південної Африки (мал. 5.3, 4). До того часу вчені вважали, що кистепері риби вимерли ще 65 млн років тому (мал. 5.3, 5).

**Систематика – біологічна наука про різноманітність організмів**, які населяють нашу планету. За допомогою цієї науки описують, дають назви всім організмам, які мешкають на нашій планеті тепер або мешкали колись. Основні галузі систематики: класифікація організмів та їхня номенклатура (мал. 5.4).

Чому потрібно спочатку з'ясовувати ранг виявленого нового для науки таксона, а вже потім давати йому наукову назву? Тому, що досліджувана особина може становити не лише новий для науки вид, а й рід і, можливо, – нову родину і т. д. Так, реміпедії (див. мал. 5.3, 1) виявилися не лише новим для науки видом, а й новим родом, родиною, рядом і навіть



Мал. 5.4. Основні галузі систематики: класифікація та номенклатура

класом. Кожному із цих нових для науки таксонів надано відповідну нову назву й характеристику.

### Запам'ятаємо

Систематика описує всіх істот, які мешкають на нашій планеті тепер або мешкали колись, надає їм назви та класифікує, тобто розподіляє їх по таксонах різного рангу.

**Пригадаємо:** основи наукової систематики заклав шведський учений К. Лінней. Як і сучасні вчені, він вважав, що **вид** – це сукупність особин, подібних між собою за будовою, які дають плодючих нащадків. Звісно, сучасні погляди на вид у біології значно ширші, вони базуються на даних різноманітних наук.

К. Лінней також запровадив **принцип подвійних назв видів** (бінарну номенклатуру). Ви пам'ятаєте, що наукова назва кожного виду складається з двох слів латинською мовою. Наприклад, *Rosa canina* – шипшина собача, вид рослин, поширений по всій Україні (мал. 5.5, 1). Перше слово (*Rosa*) означає назву роду (латинською мовою завжди пишеться з великої літери), до якого належить вид, а друге – видовий епітет (пишеться з малої літери). Така назва виду єдина для світової наукової спільноти.

На малюнку. 5.5,2 зображено поширений в Україні вид – вивірку звичайну (її ще називають вивірка лісова, або руда). Нам він більше відомий як білка, хоча справжня білка – це один з підвидів вивірки звичайної, поширений на території Росії. Але хоч як би ми називали різними мовами цей вид, у нього є лише одна наукова назва – *Sciurus vulgaris*.



Мал. 5.5. Види рослин і тварин України: 1 – квітка шипшини собачої (*Rosa canina*); 2 – вивірка звичайна (*Sciurus vulgaris*)

### Цікаво знати

До К. Ліннея назва виду часто була багатослівною, фактично становила собою його опис. Наприклад, один з видів мохоподібних має сучасну назву **буксбаумія безлиста** (*Buxbaumia arhylla*). Його колишня назва була такою: **мох у вигляді волосу, безлистий, з потовщеною двостулковою головкою**. Зрозуміло, що така назва занадто складна для запам'ятовування.

### Запам'ятаємо

Кожен вид організмів має лише одну наукову назву, яку подають латинською мовою. До цієї назви ще додають прізвище особи, що описала вид, і рік, коли вид було описано. У нашому випадку – *Sciurus vulgaris* L.<sup>1</sup>, 1758. Це означає, що вид вивірка звичайна описав у 1758 році К. Лінней.

<sup>1</sup> На знак пошани до заслуг К. Ліннея його прізвище в назвах таксонів – Linnaeus – скорочують: L.



Навіщо зазначати рік описання виду? Один і той самий вид міг бути описаний неодноразово й у різні роки. Але остаточною назвою виду вважають ту, яку було дано вперше. Наприклад, паразита кишечника людини та рибоїдних ссавців стьожака широкого (*Diphyllobothrium latum* L., 1758) К. Лінней описав ще й під назвою *Taenia vulgaris* L., 1758. Загалом стьожака широкого описували під різними назвами 53 рази!

Іншим важливим внеском К. Ліннея було застосування в систематиці системи взаємопідпорядкованих таксонів. Цей ієрархічний<sup>1</sup> принцип полягає в тому, що таксони нижчого рангу об'єднують у таксон вищого рангу.

Ви пам'ятаєте, що як і в систематиці рослин або грибів, так і в систематиці тварин споріднені **види** об'єднують у **роди**. Так, види шипшина голчаста і шипшина собача належать до роду Шипшина (*Rosa*). Близькі роди об'єднують у **родини**. Наприклад, роди Шипшина та Малина (*Rubus*) входять до родини Розові (*Rosaceae*). Близькі родини об'єднують у **порядки** (у зоології – у **ряди**). Наприклад, родини Розові та Шовковицеві (Тутові) – це дві родини порядку Розоцвіті (*Rosales*). Близькі порядки (ряди) складають **клас**. Наприклад, порядки Розоцвіті та Капустоцвіті належать до класу Дводольні, або Магноліопсиди (*Dicotyledones*, або *Magnoliopsida*). Класи об'єднують у **відділи** (у зоології – у **типи**). Наприклад, класи Однодольні та Дводольні – це класи відділу Покритонасінні, або Квіткові (*Angiospermae*, або *Magnoliophyta*).

Рослини	Тварини
Вид	Вид
Рід	Рід
Родина	Родина
Порядок	Ряд
Клас	Клас
Відділ	Тип

Науку, яка вивчає організми, що мешкали в колишні геологічні періоди, називають **палеонтологією**. Палеонтологічні експедиції виявляють рештки таких організмів або сліди їхньої життєдіяльності, відновлюють їхній вигляд, установлюють особливості процесів життєдіяльності та визначають час існування (мал. 5.6).



Мал. 5.6. Палеонтологічні дослідження: 1 – скам'янілі рештки насінної папороті роду Алетоптеріс; 2 – реконструкція листка алетоптеріса з насінним зачатком; 3 – скелет птахоподібного динозавра – археоптерикса; 4 – реконструкція археоптерикса

<sup>1</sup>Ієрархія – порядок підпорядкованості від нижчих ланок до вищих, організація їх у струнку єдину структуру.

**Завдання:** уважно роздивіться малюнок 5.6 і назвіть у будові археоптерикса ознаки, характерні для птахів і плазунів. Про що свідчить поєднання ознак, притаманних представникам різних класів у будові істот одного виду?

## Запам'ятаємо

Не існує окремих класифікацій організмів, які мешкають на нашій планеті тепер, і тих, що мешкали на ній колись. Єдина класифікаційна система об'єднує як сучасні, так і вимерлі види. Вимерлі види є або «сліпими гілками еволюції» (тобто такими, які не дали нащадків, наприклад археоптерикс; мал. 5.6, 3, 4), або предками сучасних видів (як-от, кистепері риби, див. мал. 5.3, 3–5).

## Ключові терміни та поняття

біорізноманіття, систематика, класифікація, номенклатура, принцип подвійних назв видів (бінарна номенклатура).

### Перевірте здобуті знання



1. Схарактеризуйте біорізноманіття нашої планети. Які основні групи біологічних систем воно охоплює? 2. Назвіть основні галузі систематики. Які їхні основні завдання? 3. У чому заслуга К. Ліннея у становленні систематики як науки? 4. У чому полягає принцип подвійних назв видів, які впровадив у науку К. Лінней? 5. Яку назву виду вважають науковою? Чому?

### Поміркуйте



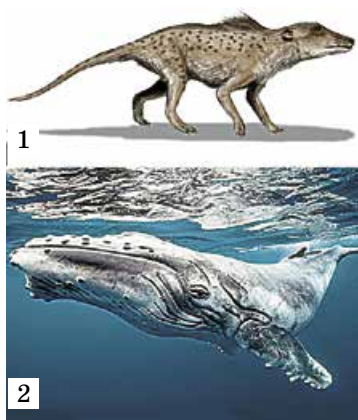
Чому сучасні класифікації організмів повинні включати не лише види, які існують сьогодні, а й ті, які вимерли раніше?

## §6. ПРИНЦИПИ СУЧАСНОЇ НАУКОВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ОРГАНІЗМІВ

**Пригадайте** завдання науки систематики. Що таке вид організмів? Що таке геном? Які систематичні одиниці використовують у систематиці рослин, грибів і тварин? Що таке філогенез та онтогенез? Що таке мікроеволюція, видоутворення та макроеволюція? Які є варіанти видоутворення? Які основні положення синтетичної теорії еволюції?

**Принципи наукової класифікації організмів.** Одним з головних принципів сучасної систематики є виявлення родинних зв'язків між різними групами організмів, як тих, що існують тепер, так і тих, що колись вимерли. Саме на цьому ґрунтується виділення систематичних груп надвидового рангу: родів, родин і т. д.

Як ви пам'ятаєте, за часів К. Ліннея і раніше системи організмів базувалися лише на подібності їхньої будови і не враховували ступінь спорідненості (це так звані *штучні системи*). Наприклад, китів лише на підставі зовнішньої подібності відносили до риб, хоча вони є ссавцями. Зовнішньої подібності до риб (обтічна форма тіла, перетворення передніх кінцівок на своєрідні плавці, утворення хвостової згортки, що нагадує хвостовий плавець тощо) кити набули внаслідок переходу до постійного мешкання у воді. **Пригадайте:** цей процес називають *конвергенцією*. Сучасні молекулярно-генетичні дослідження свідчать про те, що предки китоподібних походять від ранніх форм парнокопитних. Зо-



Мал. 6.1. Сучасні китоподібні та їхні предки.

1 – вимерлий хижий ссавець пакідет; 2 – горбатий кит, сучасний вид



крема, найближчим предком сучасних китів вважають вимерлого хижого ссавця пакіцета (мал. 6.1). Він жив приблизно 48 млн років тому; мав невеликі ратиці, потужні щелепи та довгий хвіст; мешкав біля водойм, у пошуках здобичі заходив у воду.

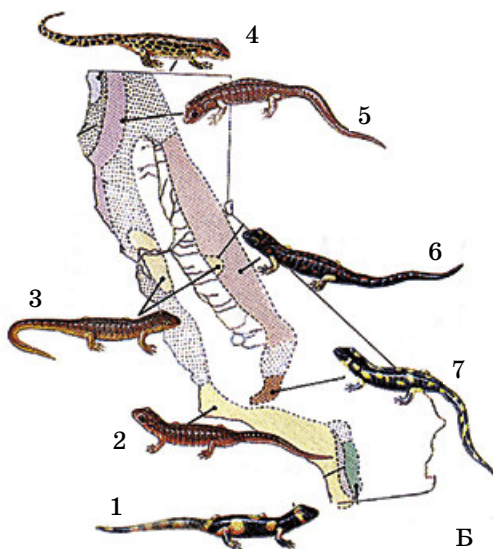
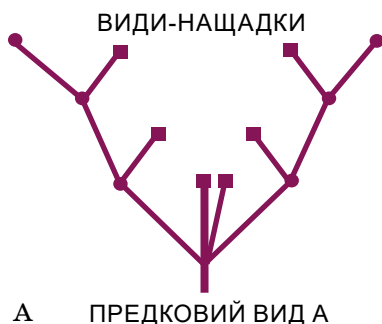
Важливим етапом у розвитку систематики був розвиток **філогенетичного напрямку**, який започаткував Е. Геккель (мал. 6.2). Цей учений вважав, що для класифікації організмів важливо враховувати не стільки їхню зовнішню подібність, скільки родинні зв'язки – ступінь спорідненості.

Минулого року ви дізналися, що прикладами еволюційних процесів є дивергенція, конвергенція та паралелізм.

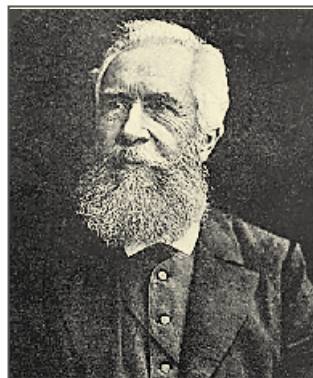
**Дивергенція** – еволюційний процес розходження ознак у нащадків спільного предка (мал. 6.2, 1). Цей процес відкрив Ч. Дарвін. Процес дивергенції пояснює, чому протягом розвитку життя на нашій планеті, незважаючи на постійне вимирання певної кількості видів, загальне видове різноманіття не тільки не скорочувалося, а й поступово зростало. Припустимо, що колись існував предковий вид А, який охоплював широкий ареал. Умови існування в різних його частинах могли змінюватись. Щоб вижити в нових умовах, популяції цього виду мали до них пристосовуватись. Через певний час генофонд таких популяцій міг змінитися настільки, що їхні представники втрачали здатність схрещуватись між собою. Так відбувався процес **видоутворення** – виникнення нових видів (мал. 6.3, 2).

### Запам'ятаємо

Сучасна систематика базується на тому, що споріднені таксони походять від спільного предка. Групу, яка включає всіх нащадків спільного

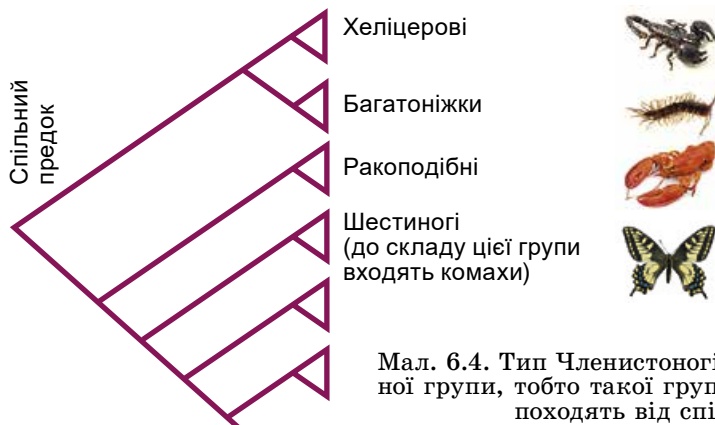


Мал. 6.3. Процес дивергенції: А – схема, що ілюструє виникнення нових таксонів шляхом дивергенції; Б – комплекс із семи підвидів (1–7) виду саламандра ешшольца, що утворюють своєрідне кільце на території Каліфорнії (США); це приклад процесів дивергенції, які відбуваються всередині виду й можуть привести до появи нових видів



Мал. 6.2. Ернст Генріх Філіп Август Геккель (1834–1919) – відомий дослідник природи, еволюціоніст; автор термінів «екологія», «філогенез», «онтогенез»

предка (як сучасних, так і таких, що колись вимерли), називають **монофілетичною** (мал. 6.4). Згідно з принципами сучасної систематики право на існування мають тільки такі групи.



Мал. 6.4. Тип Членистоногі – приклад монофілетичної групи, тобто такої групи, усі представники якої походять від спільного предка

Е. Геккель першим запропонував зіставляти дані різних наук (палеонтології, порівняльної анатомії та порівняльної ембріології) для встановлення ступеня спорідненості організмів. Зокрема, спираючись на дані порівняльної ембріології, він одночасно з іншим дослідником – німецьким природознавцем Ф. Мюллером – сформулювали біогенетичний закон, яким намагалися показати зв'язок між індивідуальним розвитком особин (онтогенезом) та історичним розвитком певної систематичної групи (філогенезом).

**Завдання:** пригадайте формулювання закону Геккеля–Мюллера та, використовуючи літературні й інтернет-джерела, поясніть сучасні уявлення про нього.

Філогенетичний напрям у систематиці організмів визначив подальший розвиток цієї науки. Спираючись на дані різних наук, учені встановлюють ступінь спорідненості організмів і вже на підставі цього створюють сучасні системи різних груп. При цьому вони аналізують різні ознаки. Спільні ознаки свідчать про спорідненість організмів та їхнє походження від спільного предка. Якщо якісь ознаки є лише у представників певної групи, це говорить про її унікальність і самостійність.

## Запам'ятаємо

Сучасні системи організмів називають **природними**, або **філогенетичними**. **Філогенетична систематика** базується на таких принципах:

- ✓ усі сучасні види є нащадками викопних форм, чим забезпечується безперервність життя;
- ✓ викопні види є або сліпими гілками еволюції (тобто такими, які не дали потомок дочірнім), або є предками сучасних видів;
- ✓ видоутворення відбувається переважно шляхом дивергенції, тому кожна природна систематична група є монофілетичною, має включати всіх нащадків спільного предка, як нині існуючих, так і вимерлих;
- ✓ кожний тип тварин (відділ рослин) має притаманний лише йому загальний план будови, який докорінно відрізняється від інших завдяки унікальним ознакам, які називають діагностичними; **завдання:** пригадайте ознаки представників відділу Покритонасінні (Квіткові), які відрізняють їх від інших відділів вищих рослин;
- ✓ різноманіття видів є наслідком їхніх адаптацій до певних умов довкілля (явище адаптивної радіації);

✓ певні таксони включають як одноклітинні види, так і багатоклітинні, якщо ці види є спорідненими (наприклад, відділи Зелені та Червоні водорості);

✓ загальною метою сучасної систематики є створення єдиної всеосяжної системи організмів, яка відбивала б хід еволюції.



**Адаптивна радіація** – поява різноманітних форм, які мають спільного предка, але видозмінилися у зв'язку з пристосуванням до різноманітних умов мешкання. Вона дає можливість використовувати нові джерела їжі та уникати ворогів і конкурентів. Класичний приклад адаптивної радіації – надзвичайне різноманіття сумчастих Австралії. Серед них у процесі еволюції з'явилися трав'яні форми (кенгуру), риючі (сумчасті кроти), форми, пов'язані з деревною рослинністю, що нагадують білок і летяг (тагуанові), хижаки (тасманійський диявол) тощо (мал. 6.5).

Сучасна філогенетична систематика спирається на дані різноманітних наук (біохімії, цитології, екології, біогеографії, анатомії, фізіології тощо). Особливу увагу приділяють молекулярно-генетичним дослідженням: оскільки споріднені групи організмів походять від спільного предка, то вони успадковують від нього і багато груп спільних генів.

### Запам'ятаємо

Що більше спільних груп генів мають організми певних груп, то тісніші між ними родинні зв'язки.

Наприклад, геноми людини розумної (рід Люди) та шимпанзе звичайного (рід Шимпанзе), які належать до родини Гомініди, збігаються майже на 98,7 %. Дещо більше (приблизно на 2 %) відрізняється геном людини та горили, ще більше (майже на 3 %) — людини та орангутана. Ці дані молекулярно-генетичних досліджень підтверджуються даними палеонтологічних досліджень, які показують, що еволюційна лінія сучасної людини відокремилася від лінії сучасних орангутанів приблизно 14 млн років тому, горил – 10 млн, а шимпанзе – 6 млн років тому.



Мал. 6.5. Адаптивна радіація сумчастих ссавців Австралії.  
*Завдання:* використовуючи отримані раніше знання та різні джерела інформації, схарактеризуйте екологічні ніші тварин, зображених на схемі

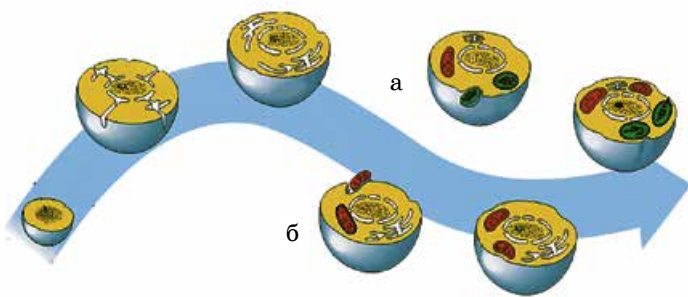
Дані молекулярно-генетичних досліджень показали, що спорідненими групами тварин є членистоногі та нематоди (круглі черви), хоча раніше близькими родичами членистоногих вважали кільчастих червів, з якими в них багато спільних рис будови (*пригадайте* яких). Тепер членистоногих і нематод пропонують об'єднати в одну групу – Линяючі (у них подібно відбувається процес линяння, який регулюється гормоном линяння).

Важливе значення для сучасної систематики мають також цитологічні дослідження, зокрема хромосомного набору організмів – їх каріотипу: у споріднених організмів особливості хромосомного набору подібніші, ніж у неспоріднених. Цей напрям досліджень називають – **каріосистематикою**. Дані каріосистематики дають змогу розрізняти види-двійники, які майже неможливо відрізнити зовні. Навіть якщо два види мають подібну кількість хромосом (як-от, капуста та редька – по 18 у диплоїдному наборі), вони відрізнятимуться за особливостями будови хромосом окремих пар.

Багато уваги в систематиці приділяють також вивченню мітохондрій і хлоропластів. Згідно з **теорією симбіогенезу**, яку в остаточному вигляді сформулювала американська біологиня Л. Маргуліс (мал. 6.6, 1), мітохондрії та хлоропласти є нащадками клітин прокаріотів: мітохондрії – аеробних гетеротрофних бактерій, хлоропласти – ціанобактерій. Проникнувши у предкову клітину еукаріотів, такі прокаріоти втратили власну самостійність, але зберегли певний ступінь автономії (мал. 6.6, 2). *Пригадайте*: у мітохондрій і хлоропластів є власний спадковий матеріал у вигляді кільцевих молекул ДНК; спадкову інформацію вони реалізують, синтезуючи власні білки; на відміну від інших органел, розмножуються поділом. Під час розмноження материнської клітини спадкова інформація мітохондрій і хлоропластів передається клітинам-нащадкам. Тому вивчення спадкового матеріалу цих органел також дає інформацію про ступінь спорідненості певних груп організмів.



1



2

Мал. 6.6. 1. Лінн Маргуліс (1938–2011) – відома фахівчиня в галузі вивчення водоростей, авторка сучасної версії теорії симбіогенезу. 2. Схема, що ілюструє походження мітохондрій і хлоропластів від предкових прокаріотичних клітин:

а – походження клітин автотрофних еукаріотів; б – походження клітин гетеротрофних еукаріотів. *Завдання*: назвіть відмінності в перебігу енергетичного обміну в їхніх клітинах

## Ключові терміни та поняття

філогенетична систематика організмів, адаптивна радіація, монофілетична група, теорія симбіогенезу.

### Перевірте здобуті знання



1. Які системи організмів називають штучними, а які – природними (філогенетичними)? 2. Який еволюційний процес лежить в основі виникнення сучасного біорізноманіття? 3. Чому сучасна систематика ґрунтується на виділенні монофілетичних груп? 4. На яких положеннях базується сучасна філогенетична систематика, основи якої заклав Е. Геккель? 5. Що таке адаптивна радіація? Яке значення адаптивної радіації для зростання біорізноманіття нашої планети?

### Поміркуйте



Чому лише філогенетичні системи мають наукове значення?

## § 7. СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЯ ТА КРИТЕРІЇ ВИДУ

**Пригадайте**, які основні таксономічні одиниці використовують у систематиці рослин і тварин. Які організми належать до авто-, міксо- та гетеротрофів? Які є способи видоутворення? Що таке геном? Які набори хромосом називають гаплоїдними, диплоїдними та поліплоїдними? Що таке екологічна ніша?



**Вид – найменша, але основна систематична одиниця. Це єдиний таксон, який реально існує у природі.** Натомість надвидові таксони (роди, родини, порядки (ряди), класи, відділи (типи), царства) суб'єктивно встановлюють учені-систематики, базуючись на даних різних наук.

**Критерії виду.** На відміну від надвидових таксонів, відрізнити один вид від іншого, близького до нього, можна за допомогою низки критеріїв. Навіщо потрібно точне визначення виду? Відповідь на це запитання дає такий цікавий факт. Комарі, яких раніше вважали одним видом, – малярійний комар (мал. 7.1, 1), згодом, після ретельних досліджень, виявився комплексом так званих видів-двійників, яких майже неможливо відрізнити за зовнішньою будовою. При цьому одні із цих видів переносять збудників малярії людини, інші – ні.

### Запам'ятаємо

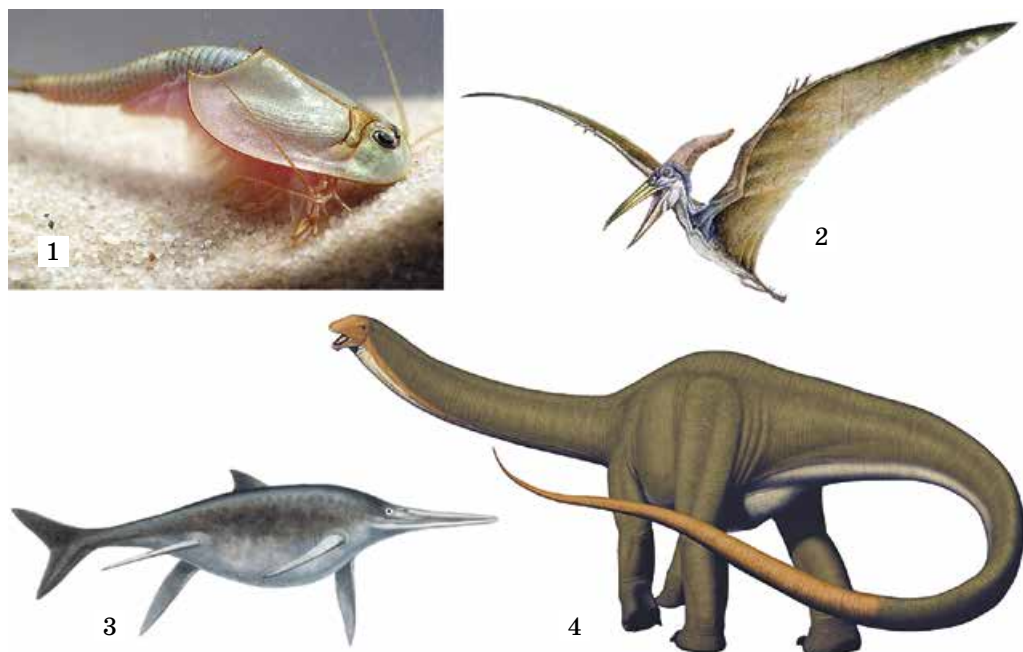
Визначення належності організмів є необхідною умовою будь-якого наукового дослідження. Від цього можуть залежати його результати.



Ви пам'ятаєте, що вид є наслідком процесу видоутворення. Завдяки мікроеволюції генофонд певних популяцій виду може змінюватись настільки, що схрещування між їхніми особинами стає неможливим. Так виникають нові види. Згідно із **законом необоротності еволюції**, який 1893 року сформулював бельгійський палеонтолог Луї Долло, організми певної

Мал. 7.1. Кровосисні види комарів: 1 – самка малярійного комара роду Анофелес; 2 – самка немалярійного комара звичайного. *Зверніть увагу:* у малярійного комара задня пара ніг довша, ніж у звичайного комара, тому малярійний комар сидить на тілі людини, піднявши черевце догори та опустивши голову





Мал. 7.2. Групи рептилій, які панували у фауні мезозойської ери: 1 – літній щитень, представник сучасної фауни; 2 – кетцалькоатль, найбільший представник птерозаврів; 3 – шонізавр, один з найбільших представників іхтіозаврів; 4 – апатозавр

популяції не можуть повернутися до попереднього вигляду, від якого вони походять, навіть якщо вони повернуться до попереднього середовища та умов проживання. Наприклад, якщо клімат на нашій планеті повернеться до того стану, яким він був у мезозойську еру, навряд чи варто очікувати появи птерозаврів, іхтіозаврів чи динозаврів. Є види, які виникли десятки й сотні мільйонів років тому, але існують і досі (мал. 7.2, 1), їх називають *живими викопними*. Інші види, які виникли раніше, до сьогодні вимерли. Одні з них залишили по собі нащадків (як-от, кистепері риби, див. мал. 5.3, 3, 4), інші – ні (наприклад, археоптерикс, див. мал. 5.6, 3, 4). Таким чином, вид є *якісним етапом еволюційного процесу*.



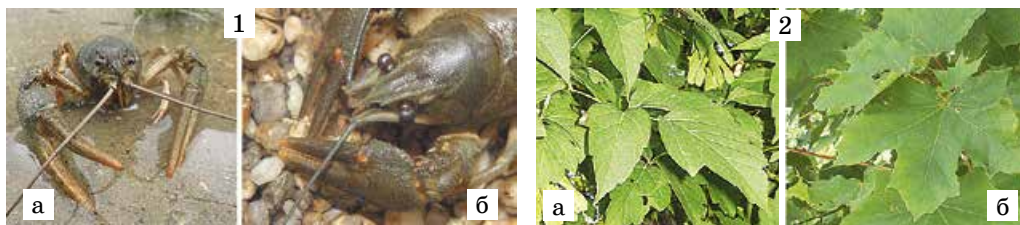
**Критерії виду** – характеристики організмів, за якими в систематиці розрізняють види.

- **Морфологічний критерій** базується на подібності будови (як зовнішньої, так і внутрішньої) особин виду. Морфологічні ознаки, унікальні для певного виду (або таксону вищої категорії: роду, родини тощо), називають *діагностичними*. Наприклад, два види річкових раків – широкопалий і довгопалий – різняться за будовою клешень першої пари ходильних ніг (мал. 7.3, 1). Діагностичними ознаками в систематиці рослин часто є будова квіток, листків (мал. 7.3, 2) тощо.

Хоча в більшості сучасних визначників тварин, рослин чи грибів за основу взято морфологічні ознаки, слід урахувати такі явища, як поліморфізм та види-двійники.



**Поліморфізм** – явище, коли в межах одного виду існують групи особин, які різняться забарвленням, розмірами, особливостями будови



Мал. 7.3. Морфологічний критерій виду: 1 – два види річкових раків фауни України: довгопалий (а) та широкопалий (б); 2 – листки клена ясенolistого (а) та гостролистого (б)

тощо (мал. 7.4). Натомість особини **видів-двійників** подібні між собою за особливостями будови й відрізняються лише незначними деталями, інколи – лише хромосомним набором. Види-двійники відомі серед багатьох груп комах, безхвостих амфібій, землерийок, мишоподібних гризунів тощо.



Мал. 7.4. Явище поліморфізму в денного метелика рябокрилки мінливої (цей вид ще називають сонцевичок змінний): 1 – весняна форма; 2 – літня форма

## Запам'ятаємо

Морфологічний критерій важливий для визначення виду. Його легко застосовувати, але він не завжди дає можливість розпізнати види-двійники. Надійні результати дає вивчення особливостей каріотипу: навіть якщо особини двох видів мають однакове число хромосом, вони відрізняються за особливостями їхньої будови.

• **Фізіологічний критерій** ґрунтується на подібності та відмінностях у процесах життєдіяльності представників різних видів. Особини одного виду здатні паруватися та утворювати плодючих нащадків і зазвичай не схрещуються з представниками інших видів (явище **репродуктивної ізоляції**). Але відомі випадки міжвидового схрещування і навіть виникнення нових видів унаслідок міжвидової гібридизації близьких батьківських видів, коли гібридні нащадки здатні до парування між собою та утворюють нові плідні покоління. Наприклад, жаба їстівна – результат схрещування трав'яної та ставкової жаб, толай – гібрид зайця білого та сірого тощо (мал. 7.5). Поширене видоутворення методом гібридизації у рослин.



Мал. 7.5. Приклади міжвидової гібридизації у тварин: 1 – жаба їстівна; 2 – заєць-толай



Наприклад, платан кленолистий виник унаслідок гібридизації платанів американського та середземноморського.

### Запам'ятаємо

Для істот, які розмножуються статевим шляхом, вид визначають як групу організмів, здатних при схрещуванні залишати життєздатне і плодюче потомство. В організмів, які розмножуються лише нестатевим, види визначають на підставі схожості їхніх фенотипів і подібності геномів.

- **Біохімічний критерій** – це особливості будови і складу макромолекул і перебігу біохімічних реакцій, характерних для особин певного виду. Наприклад, близькі види, які мають різний набір генів, відрізняються і за білковим складом (*поміркуйте чому*).

- **Молекулярно-генетичний критерій** базується на тому, що особини одного виду мають подібний геном, особини різних, навіть близьких, видів – відмінний. При цьому що спорідненіші види, то більше в них спільних генів. Для визначення спорідненості видів використовують дані дослідження рРНК малої субодиниці рибосом, а також певні послідовності ДНК. За допомогою цієї методики виявлено, наприклад, що ДНК людини гомологічна ДНК макаки на 78 %, великої рогатої худоби – на 28 %, пацюка – на 17 %.

### Цікаво знати

У сучасній систематиці використовують різні молекулярно-генетичні методи. Один з них – **секвенування біополімерів**: визначення послідовності нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот та амінокислот – у молекулах білків. Ця методика дає змогу визначати послідовності нуклеотидів ділянок певних генів, окремих генів і навіть цілісного генома. Ще одна методика **полімеразної ланцюгової реакції** (скорочено – ПЛР) дає можливість отримати потрібну для секвенування кількість ДНК. Крім того, за допомогою методу ПЛР можливе поєднання окремих фрагментів ДНК, клонування окремих генів, ідентифікація малих кількостей молекул ДНК.

- **Екологічний критерій** пов'язаний з тим, що внаслідок взаємодії популяції певного виду з популяціями інших видів і факторами неживої природи (абіотичними) формується власна екологічна ніша. Наприклад, деякі морфологічно близькі види паразитичних червів (людська та свиняча аскариди тощо) розрізняють за видами хазяїв. Свиняча аскарида не досягає статевої зрілості в організмі людини і, навпаки, людська аскарида зазвичай не паразитує в організмі свині.

- **Географічний критерій** полягає в тому, що популяції одного виду охоплюють певний ареал, при цьому ареали близьких видів часто не перетинаються або перетинаються незначно. Зокрема, унаслідок кліматичних змін чи антропогенного впливу умови на території, яку населяє певний вид, можуть змінюватись. Це змушує організми змінювати територію свого проживання. Наприклад, коли людина здійснює **акліматизацію видів**, тобто переселяє їх на нові території, де вони раніше не траплялися. Так формується вторинний ареал, що може значно відрізнятись від первинного.

- **Етологічний критерій** виду базується на вивченні особливостей поведінки тварин: шлюбної, соціальної, будівельних, мисливських інстинктів, міграцій тощо. Наприклад, сучасна наука вважає, що вовк і собака свійський є двома підвидами одного виду. Відомі випадки схрещування цих тварин. Але вони не такі часті, оскільки вовки переважно активні вночі, тоді як собаки – вдень.

Отже, хоча серед критеріїв виду є такі, що мають важливіше значення порівняно з іншими, наприклад біохімічний чи молекулярно-генетичний, для точного встановлення належності до того чи іншого виду або виявлення нових для науки видів потрібно спиратись на весь їх комплекс.

**Сучасна концепція виду.** Під час тривалого історичного розвитку поняття про вид в біології формувалися різні концепції виду. Одні концепції виду вважали їх незмінними, інші – базувалися на поглядах про те, що види еволюціонують.

### Цікаво знати

У розроблення біологічної концепції виду значний внесок зробили американські біологи **Е. Майр** та **Т. Добржанський** (мал. 7.6) – американський учений українського походження, еволюційний біолог, генетик, зоолог. Народився в м. Немирові (Вінницька обл.), протягом 1917–1921 рр. навчався в Київському університеті Св. Володимира (нині – Київський національний університет імені Тараса Шевченка). У 1927 році отримав стипендію Фонду Рокфеллера, переїхав до США, працював у всесвітньо відомій лабораторії Т.Х. Моргана при Колумбійському університеті (*завдання*: пригадайте внесок Т.Х. Моргана і розвиток генетики). Він також брав участь у розвитку синтетичної теорії еволюції (*завдання*: пригадайте її основні положення).



Мал. 7.6. Учені, з іменами яких пов'язано створення біологічної концепції виду: 1 – **Ернст Уолтер Майр** (1904–2005), професор Гарвардського університету (США); 2 – **Добржанський (Добжанський) Феодосій** (Теодосій) Григорович (1900–1975)

Однією з панівних концепцій виду в сучасній біології є **біологічна**. Вона базується на таких положеннях:

- ✓ види складаються з популяцій – більш або менш відмежованих у природі одна від іншої груп особин;
- ✓ характеризуючи види, слід використовувати не лише особливості їх будови, а й біологічні (процеси життєдіяльності, особливості розмноження та розвитку) та екологічні особливості;
- ✓ з точки зору екології популяцію розглядають як структурно-функціональну одиницю виду, а з точки зору еволюційної теорії – як елементарну одиницю еволюції (*пригадайте чому*);
- ✓ групи популяцій одного виду можуть відрізнятися між собою за однією або декількома ознаками, утворюючи підвиди;
- ✓ наявність підвидів у межах певного виду свідчить про екологічну пластичність виду (тобто його здатність існувати в широкому діапазоні умов середовища мешкання), а також є показником того, що всередині виду інтенсивно відбуваються мікроеволюційні процеси, наслідком яких може бути виникнення нових видів;
- ✓ популяції одного виду мають подібний генофонд, тому особини з різних популяцій можуть схрещуватись між собою; разом з тим генофонди

різних популяцій певного виду можуть відрізнятися за частотою зустрічальності окремих алельних генів та їх набором;

✓ вид – це єдина систематична одиниця, яка реально існує у природі; надвидові таксони встановлюють залежно від результатів проведених досліджень, тому погляди щодо рангу певної групи організмів можуть відрізнятися;

✓ особини різних видів зазвичай між собою не схрещуються (якщо ж таке схрещування і відбувається, міжвидові гібриди здебільшого розмножуватись не здатні);

✓ види здатні змінюватись, вони еволюціонують;

✓ вид – це екологічна єдність: особини популяції взаємодіють як єдине ціле не тільки між собою, а й з популяціями інших видів певної екосистеми.

**Міжнародні кодекси біологічної номенклатури.** Під час утворення наукових назв таксонів дослідники і дослідниці керуються положеннями **кодексів біологічної номенклатури**. Це зведення правил, які регламентують утворення й застосування наукових назв організмів. Існують «Міжнародний кодекс зоологічної номенклатури», «Міжнародний кодекс ботанічної номенклатури», «Міжнародний кодекс номенклатури бактерій», «Вірусологічний кодекс».

### Запам'ятаємо

Новим для науки видом вважають лише той, що описано згідно з вимогами міжнародних кодексів біологічної номенклатури.

### Ключові терміни та поняття

критерії виду, діагностичні ознаки, поліморфізм видів, види-двійники, репродуктивна ізоляція, біологічна концепція виду, міжнародні кодекси біологічної номенклатури.

#### Перевірте здобуті знання



1. Яке сучасне визначення виду? 2. Які критерії виду вам відомі? 3. Які критерії відіграють провідну роль у встановленні видової належності? Чому? 4. Що таке концепція виду? 5. На яких положеннях базується біологічна концепція виду?

#### Поміркуйте



Як з точки зору генетики можна пояснити поліморфізм видів?

## §8. РІЗНОМАНІТТЯ ВІРУСІВ ТА ПРИНЦИПИ ЇХНЬОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ. НЕКАНОНІЧНІ ВІРУСИ: ВІРОЇДИ ТА ПРИОНИ

**Пригадайте,** що спільного між живою та неживою природою і яка між ними відмінність. Які характерні ознаки життя? Які особливості будови молекул ДНК та РНК?

**Різноманіття вірусів.** Кожен з вас неодноразово стикався з вірусними захворюваннями, наприклад грипом. Розміри вірусних частинок такі малі, що більшість з них можна побачити лише за допомогою електронного мікроскопа. Важливою особливістю вірусів є нездатність проявляти жодних ознак живого за межами живої клітини, у якій вони паразитують.



Науку, яка вивчає будову і функції вірусів, їхні властивості, шляхи передачі збудників та способи лікування і профілактики вірусних захворювань, називають **вірусологією**.

## Запам'ятаємо

**Віруси** – неклітинні форми життя. Це винятково внутрішньоклітинні паразити. Для свого відтворення вони використовують будівельний матеріал та енергію клітини-хазяїна. Унаслідок взаємодії між вірусом та його клітиною-хазяїном виникають вірусні хвороби.

Вірусні інфекції відомі людству з давніх часів. Перше відоме свідчення про вірусну інфекцію знайдено на барельєфі з Мемфіса – столиці давнього Єгипту. На ньому зображено священика храму, у якого проявляються типові клінічні симптоми вірусного захворювання – паралітичного поліомієліту (мал. 8.1).



Мал. 8.1. Найдавніше свідчення про вірусну інфекцію – барельєф з Мемфіса – (3500 рік до н. е.)

## Цікаво знати

1796 року відбулася важлива подія, завдяки якій протягом наступних віків було врятовано мільйони людей. Англійський лікар Едуард Дженнер зробив щеплення восьмирічному хлопчику (мал. 8.2, 1). Він увів йому матеріал, отриманий від працівниці коров'ячої ферми, яка перехворіла на коров'ячу віспу. У хлопчика, який ніколи не хворів на віспу, розвинулося маленьке пошкодження на місці введення вірусу, яке загоїлося за два тижні.

Через півтора місяці Е. Дженнер свідомо ввів під шкіру хлопчику матеріал від людини, хворої на натуральну віспу, але хвороба не розвинулася.

Згодом, 1885 року відомий французький учений Луї Пастер (мал. 8.2, 2) уперше створив вакцину проти сказу та перевірів її дію на людині. Він зробив щеплення дитині, яку покусав скажений собака, і тим самим зберіг дитині життя. І хоча на той час віруси ще не було відкрито, саме Л. Пастер запропонував терміни **вірус** (від лат. *вірус* – отрута) та **вакцинація** (на честь Е. Дженнера, від лат. *вакка* – корова).

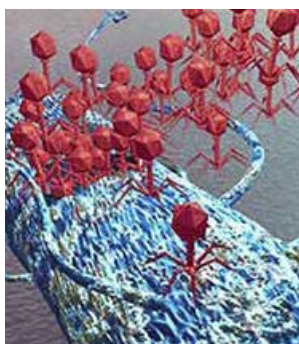


Мал. 8.2. 1. Едуард Дженнер (1749–1823) робить щеплення хлопчику.  
2. Луї Пастер (1822–1895), видатний французький мікробіолог; відкрив мікробіологічну суть процесів бродіння і багатьох хвороб людини; один з основоположників мікробіології та імунології





Мал. 8.3. Дмитро Йосипович Івановський (1864–1920) – засновник науки про віруси



Мал. 8.4. Бактеріофаги атакують клітину бактерії

Віруси відкрив Д.Й. Івановський (мал. 8.3), коли вивчав мозаїчну хворобу тютюну. Він дослідив, що витяжка від уражених рослин, коли її ввести здоровим, спричиняє їхнє захворювання. Це відбувалося навіть після проходження витяжки крізь керамічні фільтри дуже малого діаметра, здатні затримувати найдрібніші бактерії. Учений припустив, що збудниками мозаїчної хвороби тютюну є дуже дрібні організми, але вони не росли на жодному поживному середовищі. Це відкриття визнано як народження науки вірусології.

Через шість років після того, як Д. Й. Івановський відкрив вірус тютюнової мозаїки, німецькі бактеріологи Фрідріх Леффлер і Поль Фрош показали, що збудник ящуру великої рогатої худоби подібний до збудника мозаїчної хвороби тютюну за своїми властивостями – він теж фільтрується. Так було встановлено, що ці нові «істоти» можуть спричиняти інфекційні захворювання не тільки в рослин, а й у тварин. Згодом, 1900 року Уолтер Рід довів, що жовту пропасницю спричиняє вірус, який поширюють кровосисні комарі. 1915 року Фредерік Туорт перший відкрив віруси, які уражують бактерії. Фелікс д'Еррель, працюючи незалежно від Ф. Туорта, назвав ці віруси – бактеріофагами («пожирачами бактерій») (мал. 8.4).

Тривалий час, аж до другої половини ХХ ст., світова наукова спільнота дискутувала про те, чи можна вважати віруси об'єктами живої природи. Порівняйте аргументи «за» і «проти» і висловте свою думку.

Властивості, за якими віруси можна віднести до об'єктів живої природи	Властивості, які відрізняють віруси від клітинних форм життя
1. Віруси здатні до розмноження (їм притаманна спадковість)	1. У вірусів відсутні системи, здатні синтезувати власні білки
2. Віруси здатні пристосовуватися до змін навколишнього середовища (їм притаманна мінливість)	2. До складу вірусної частинки може входити лише один тип нуклеїнової кислоти – або РНК, або ДНК
3. Віруси займають певні екологічні ніші (паразитують лише в клітинах певних типів)	3. Вірусні частинки не здатні до росту
	4. Віруси можуть кристалізуватися

Отже, оскільки спадковість і мінливість є основними властивостями живої, віруси, безумовно, є об'єктами живої природи, хоча і належать до неклітинних форм життя. Нині відомі віруси всіх живих істот – людини, тварин (хребетних і безхребетних), рослин, грибів, бактерій.

**Принципи класифікації вірусів.** Класифікація вірусів ґрунтується на особливостях будови вірусної частинки та типу нуклеїнової кислоти. Нині вона перебуває на стадії розроблення, однак у ній використовують ті самі підходи, що й під час класифікації прокаріотів та еукаріотів. Наприклад, види вірусів об'єднують у роди, роди – у родини, родини – у порядки.

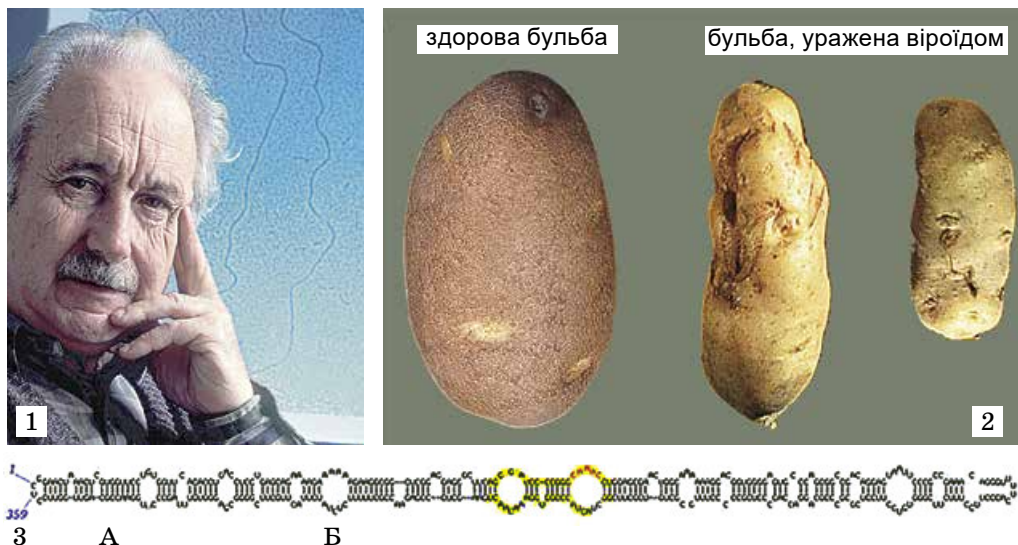


Основна відмінність – у вірусології не застосовують принцип подвійних назв видів. Віруси називають за ознаками хвороби, яку вони спричиняють (вірус тютюнової мозаїки, вірус імунodefіциту людини), за назвою хвороби (вірус вітряної віспи, вірус грипу), за місцем, де цей вірус було виділено вперше (вірус Марбург, або вірус лихоманки Марбург, вірус Західного Нілу, або вірус лихоманки Західного Нілу) тощо. Згідно із сучасними уявленнями віруси виокремлюють у царство неклітинних форм життя – **Віра**.

**Неканонічні віруси.** Нині до царства Віра зараховують також інші неклітинні форми життя, які також перебувають на молекулярному рівні організації, – віроїди і пріони. Вони, так само як і віруси, спричиняють інфекційні захворювання завдяки здатності до самовідтворення – передавання своїх спадкових ознак молекулам-нащадкам.

**Віроїди** відкрив 1971 року американський учений Т. Дінер (мал. 8.5, 1), коли вивчав інфекційне захворювання картоплі, відоме під назвою «веретеноподібність бульб» (мал. 8.5, 2). На превеликий подив дослідника, під час біохімічного аналізу очищеного збудника у препараті не виявили жодних білків. Інфекцію спричиняла невеличка одноланцюгова молекула РНК у формі замкненого ланцюга (мал. 8.5, 3). Генетичний матеріал віроїду не кодує жодного білка, його основна задача – самовідтворення у клітині хазяїна.

Тепер відомо багато різних захворювань рослин (віроїд екзокортису цитрусових, хвороба «каданг-каданг» кокосових пальм, віроїд сонячного опіку авокадо та ін.). У людини, тварин і бактерій подібних збудників не виявлено. Віроїди, як і деякі віруси рослин, передаються від рослини до рослини під час механічного ушкодження. В інфікованій клітині віроїд прямує до ядра або до хлоропласта, де використовує клітинний фермент полімеразу для відтворення власних молекул. Симптоми захворювання виникають унаслідок активного відтворення молекул РНК віроїду, що спричиняє патологічний процес в інфікованій клітині.



Мал. 8.5. 1. Теодор Отто Дінер (народ. 1921). 2. Веретеноподібність бульб картоплі. 3. Схема будови одноланцюгової РНК віроїду: А – комплементарна ділянка; Б – некомплементарна ділянка («шпилька»)

## Запам'ятаємо

**Віроїди** – інфекційні частинки, за структурою становлять собою низькомолекулярні однопанцюгові кільцеві молекули РНК, які не кодують власних білків.

Одним з визначних наукових досягнень ХХ ст. у галузі біології та медицини стало відкриття в 1982 році американським молекулярним біологом, професором С. Прюзинером (мал. 8.6, 1) нового типу інфекційних агентів – пріонів.

## Запам'ятаємо

**Пріони** (від англ. *proteinaceous infectious particles* – інфекційні білкові частки) – особливий клас інфекційних агентів, що спричиняють невиліковні захворювання центральної нервової системи людини та тварин – губкоподібні енцефалопатії. Пріонні білки також відкрито у дріжджів.

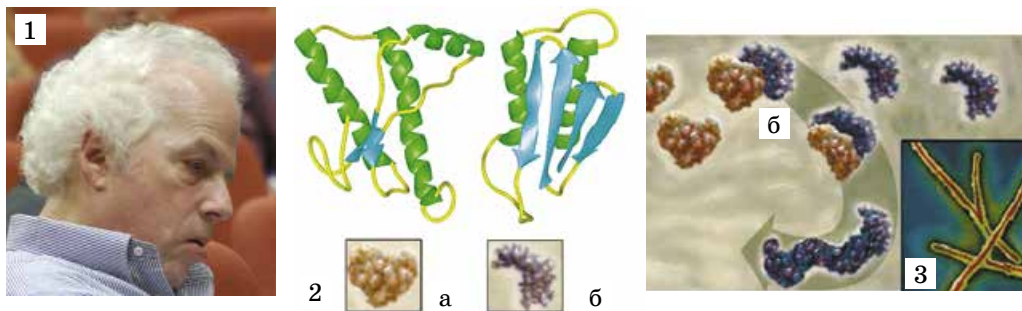
На відміну від більшості інших збудників інфекційних захворювань, зокрема вірусів, пріони дуже стійкі до різноманітних фізико-хімічних факторів (нагрівання, іонізуючого та ультрафіолетового опромінення, оброблення формальдегідом, дії ферментів, які розщеплюють білки тощо). Пріонні білки формують стрижнеподібні частки, діаметром 10–20 нм і завдовжки 100–200 нм – амілоїдні фібрили (мал. 8.6, 3). За структурою вони є полімером: кожен містить близько тисячі молекул пріону.

Клітинним аналогом інфекційного пріонного білка є нормальний білок. Відмінність між ними полягає в конформації молекули – вторинній і третинній структурі, незважаючи на однакову первинну (амінокислотну послідовність). Інфекційний пріонний білок з аномальною тривимірною структурою здатний каталізувати структурне перетворення відповідного нормального клітинного білка в собі подібний – пріонний (мал. 8.6, 2).

У людини відомо чотири хвороби, спричинені пріонами: куру, хвороба Крейтцфельдта–Якоба, синдром Герстмана–Штрауслера–Шейнкера та смертельне родинне безсоння.

Людина здебільшого може заразитися пріонами, що містяться в їжі, оскільки вони не руйнуються ферментами травної системи. Безперешкодно проникаючи крізь стінку тонкого кишечника, пріони потрапляють у центральну нервову систему.

Особливу групу пріонних захворювань становлять спадкові хвороби, спричинені мутацією гена пріонного білка.



Мал. 8.6. 1. Стенлі Прюзинер (народ. 1942 р.) – професор університету Каліфорнії (США), за відкриття пріонів 1997 року отримав Нобелівську премію. 2. Перетворення нормального клітинного білка (а) на пріонний (б) з утворенням амілоїдних фібрил (3)



1957 року американський учений Карлтон Гайдушек описав нове захворювання – **куру** етнічної групи папуасів-канібалів Нової Гвінеї. Хвороба виникала в результаті вживання в їжу мозку загиблих одноплемінників під час ритуального канібалізму. Симптоми були такі: порушення ходи, яке згодом прогресує в порушення координації руху. Біль у колінах, головний біль, підвищення температури, кашель і нежить, загальне нездужання. Пізніше з'являється характерне тремтіння тулуба, кінцівок і голови. Через 2–3 місяці від початку захворювання порушується мова та координація точних рухів кінцівок. Хворі не здатні ходити без сторонньої допомоги. Через 3–6 місяців стан хворих погіршується, мова стає нерозбірливою, вони не можуть самостійно їсти і, зазвичай, гинуть від виснаження. Характерною особливістю хвороби є підвищена збудженість, безпричинний сміх, тривала посмішка. Саме тому цю хворобу місцеві мешканці й назвали куру – «смерть, що сміється». З припиненням канібалізму захворювання зникло.

**Скрепі** – неврологічне захворювання овець, що супроводжується загибеллю тварин. Захворювання було відоме в Англії ще у 1732 р. Ураження виявляють лише в головному мозку, мозкова тканина при цьому нагадує губку. Тому скрепі віднесено до губкоподібних енцефалопатій. Симптоми: у хворих овець з'являються ознаки різкого подразнення шкіри, вони труться об огорожу, дерева, стовбури та інші нерухомі предмети (звідси і назва хвороби від англ. *to scrape* – шкребти, чесатися). Ще однією ознакою хвороби є порушення координації руху.

Надійних методів лікування пріонних захворювань, на жаль, поки що не існує, хоча їх пошук триває неупинно.

### Ключові терміни та поняття

віруси, вірусологія, віроїди, пріони.

#### Перевірте здобуті знання



1. Як було відкрито віруси? 2. Які біологічні системи належать до неклітинних форм життя? 3. На чому ґрунтується класифікація вірусів? 4. Які особливості організації віроїдів? У яких організмах вони паразитують? 5. Що таке пріони? Які захворювання вони спричиняють?

#### Поміркуйте



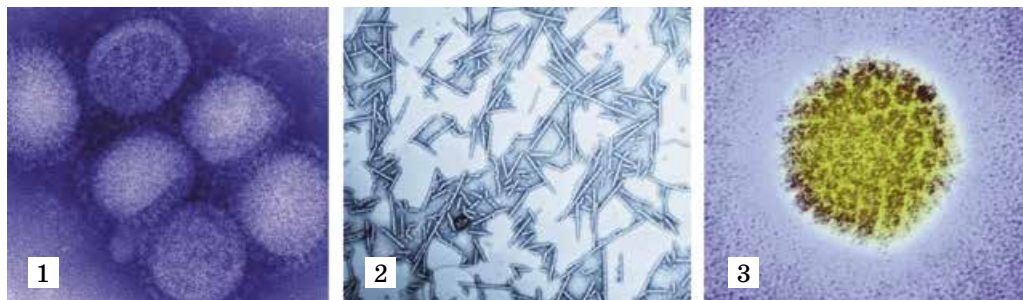
1. Що спільного та відмінного між неклітинними формами життя та організмами, які мають клітинну будову? 2. Чим будова РНК віроїдів відрізняється від будови РНК еукаріотів?

## §9. ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІРУСІВ

**Пригадайте**, як реалізується у клітині генетична інформація. Що таке реплікація, транскрипція та трансляція?

Оскільки віруси є обов'язковими паразитами клітин, вони використовують для побудови нових вірусних частинок не тільки енергію клітини, а й усі потрібні для синтезу нових вірусних частинок хімічні сполуки, що в ній є. Отже, хімічний склад вірусів майже тотожний хімічному складові клітин, у яких вони паразитують.

**Особливості будови вірусів.** Усі віруси можна розподілити на дві групи. До однієї групи належать віруси, які складаються тільки з молекул білка та нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК). Їх називають **простими вірусами**. Оболонка простих вірусів – «капсид» – складається лише з білків. До другої групи належать віруси, до складу оболонки яких («суперкапсида») входять також молекули ліпідів і вуглеводів. Їх називають **складними вірусами**. Принципова відмінність між цими двома групами вірусів



Мал. 9.1. Електронномікроскопічні зображення вірусів: 1 – вірус грипу (складний вірус, добре видно зовнішню мембрану); 2 – вірус тютюнової мозаїки; 3 – вірус папіломи (2 та 3 – прості віруси, їхні оболонки не мають зовнішньої мембрани)

полягає в тому, що складні віруси у процесі свого утворення захоплюють частину клітинної мембрани клітини-хазяїна і використовують її як зовнішню оболонку вірусної частинки.

### Запам'ятаємо

Вірусні частинки, які складаються з оболонки та однієї (або декількох) молекул нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК), називають **віріонами**. За межами клітин, у яких паразитують віруси, віріони не виявляють жодних ознак живого.

На малюнку 9.1 наведено електронномікроскопічні зображення простих і складних вірусів. Зверніть увагу на чітку відмінність в будові оболонок вірусних частинок.



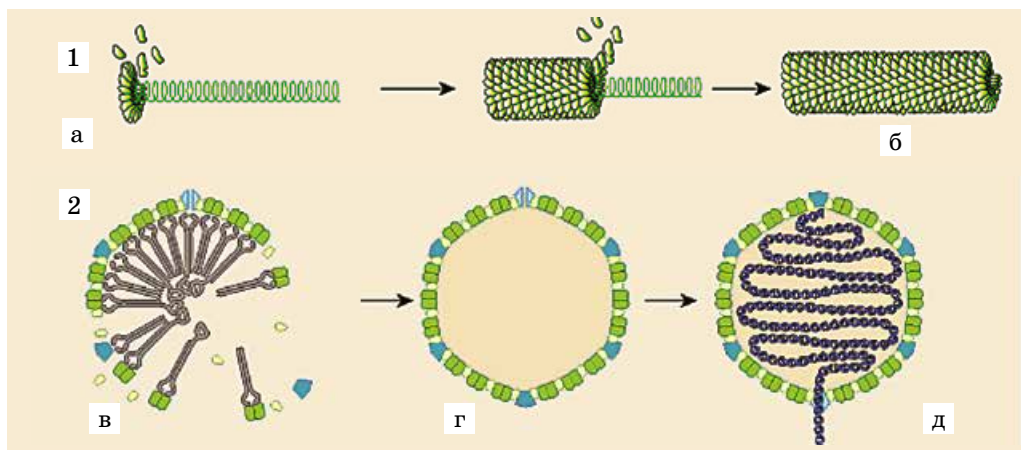
**У складі вірусної частинки може існувати тільки один тип нуклеїнової кислоти – або ДНК, або РНК.** Ці молекули виконують функцію носія генетичної інформації. Зверніть увагу: якщо у клітинах прокаріотів та еукаріотів молекули ДНК лише дволанцюгові, а молекули РНК – лише одноланцюгові, то у вірусів молекули як ДНК, так і РНК можуть бути як дволанцюговими, так і одноланцюговими.

Залежно від того, який тип нуклеїнової кислоти входить до складу вірусної частинки, їх поділяють на **ДНК-** (як-от, бактеріофаги, віруси герпесу людини) та **РНК-вмісні** (віруси грипу, кору, сказу, кліщового енцефаліту, вірус імунodefіциту людини (ВІЛ), вірус тютюнової мозаїки тощо).

**Розмноження вірусів.** Ще одна важлива відмінність вірусів від прокаріотів та еукаріотів полягає в їхньому унікальному способі утворювати нові дочірні вірусні частинки. Віруси, використовуючи компоненти клітини (амінокислоти, нуклеотиди), перелаштовують системи синтезу клітини на синтез власних складових. У певних функціональних ділянках клітин відбувається процес збирання вірусних частинок з великої кількості вірусних білків, синтезованих клітиною (структура цих білків кодується генами вірусної нуклеїнової кислоти). Ці процеси відбуваються не тільки у строго визначеному місці, а й у строго визначений час. Кінцевим етапом самовідтворення вірусів є включення в оболонку вірусу його нуклеїнової кислоти (мал. 9.2). Після цього вірус стає життєздатним і може виходити з клітини, набуваючи здатності інфікувати нові клітини.

Переважаюча кількість віріонів простих вірусів утворюють високосиметричні структури. Залежно від виду вірусу, віріон може мати або ікосае-



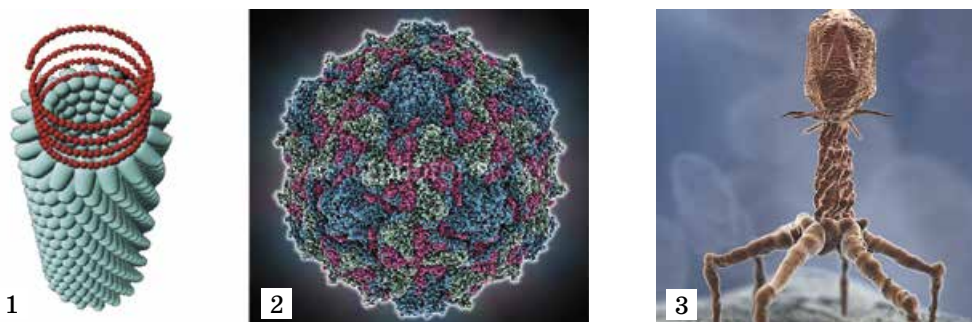


Мал. 9.2. Самозбирання віріонів: 1 – формування віріону, що має спіральну симетрію: а – молекула нуклеїнової кислоти оточується білковими молекулами; б – сформований віріон; 2 – формування віріону, що має ікосаедричну симетрію: в – самозбирання капсиду; г – утворений капсид; д – включення нуклеїнової кислоти вірусу в капсид

дричну<sup>1</sup> (її ще називають кубічною, наприклад віруси поліомієліту, папіломи) або спіральну (як-от, вірус тютюнової мозаїки) симетрію (мал. 9.3, 1,2).

У деяких бактеріофагів віріон може складатися з «деталей», які мають як кубічну, так і спіральну симетрію. На малюнку 9.3, 3 зображено бактеріофага Т4, у якого головка з молекулою ДНК усередині побудована за кубічним типом симетрії, а хвіст – за спіральним. Зверніть увагу, що цей бактеріофаг, незважаючи на складність архітектурної будови, є простим вірусом, оскільки не має зовнішньої оболонки з ліпідів і вуглеводів.

Прості віруси виходять з клітини зазвичай унаслідок руйнування клітинної оболонки вірусними ферментами або в результаті запрограмованої



Мал. 9.3. Типи симетрії вірусних частинок простих вірусів. 1. Модель будови вірусів зі спіральним типом симетрії (вірусу тютюнової мозаїки). 2. Модель будови вірусів з кубічним типом симетрії (вірусу поліомієліту) 3. Бактеріофаг Т4 (фотографію зроблено за допомогою електронного мікроскопа)

<sup>1</sup> **Ікосаедр** – правильний опуклий багатогранник (двадцятигранник). Кожна з 20 граней є рівностороннім трикутником, число ребер дорівнює 30, число верхівок – 12.



загибелі клітини (її апоптозу), коли клітина розпадається на окремі частини, оточені плазматичною мембраною. У складних вірусів так само є процес самозбирання, однак на пізніх етапах дозрівання вірусна частинка захоплює фрагмент клітинної оболонки, яку вірус використовує як свою зовнішню оболонку. Цей процес називають *брунькуванням вірусу*.

У процесі еволюції у вірусів виробилися специфічні механізми, завдяки яким вони набули здатності потрапляти саме в ті клітини, де їхнє розмноження найефективніше. Цікаво, що різні віруси набули різних специфічних способів проникнення у клітину та розмноження в ній. У наступному параграфі ми розглянемо, як ці процеси відбуваються у вірусів рослин, бактерій, тварин і людини.

### **Ключові терміни та поняття**

прості та складні віруси, РНК- та ДНК-вмісні віруси.

**Перевірте здобуті знання**



1. Які особливості будови простих і складних вірусів? 2. Чим молекули нуклеїнових кислот вірусів відрізняються від нуклеїнових кислот прокаріотів та еукаріотів? 3. Чим самозбирання вірусних частинок відрізняється від розмноження клітин?

**Поміркуйте**



Чому вихід частинок простих вірусів з інфікованої клітини зазвичай спричинює її загибель?

## **§ 10. ОСОБЛИВОСТІ РОЗМНОЖЕННЯ ВІРУСІВ РОСЛИН, БАКТЕРІЙ, ТВАРИН ТА ЛЮДИНИ**

*Пригадайте*, що таке реплікація, транскрипція та трансляція. Які тварини належать до хордових?

**Віруси рослин.** Рослинні клітини, крім плазматичної мембрани, вкриті також міцною і потовщеною целюлозною клітинною оболонкою, яка майже непроникна для вірусів. Тому для проникнення вірусу в цитоплазму клітини-хазяїна потрібно її ушкодження. Так, вірус тютюнової мозаїки передається від рослини до рослини через подряпини листових пластинок чи кореневих волосків. Але більшість вірусів рослин адаптувалися проникати до різноманітних комах або нематод, які живляться соком певних видів рослин. Під час живлення ці тварини проколюють своїм ротовим апаратом клітинну оболонку, стаючи переносниками збудників вірусних інфекцій рослин і грибів. Отже, коло видів тварин – переносників вірусів, визначає й коло тих рослин, у яких ці віруси паразитують.

### **Запам'ятаємо**

Віруси рослин не мають специфічних рецепторів, за допомогою яких вони могли б обирати чутливі до них клітини. За них це роблять їхні переносники – комахи або нематоди.

Потрапивши до цитоплазми клітини, вірус повинен вивільнити свою генетичну інформацію. У більшості вірусів рослин вона записана у вигляді послідовності нуклеотидів одноланцюгової молекули РНК. Цікаво, що у такому разі генетична інформація вірусу зовсім не схожа на генетичну інформацію клітини (дволанцюгову молекулу ДНК). Однак вона нагадує мРНК клітини.

Вивільнившись з оболонки, молекула РНК вірусу відразу прямує до рибосом, де її генетична інформація реалізується у вигляді утворення нових вірусних білків. Але в клітині немає ферментів, які б забезпечували

перезаписування інформації з однієї молекули РНК на іншу. Клітині вони не потрібні. Виявляється, у складі генетичної інформації вірусу є два гени, які кодують специфічний вірусний фермент<sup>1</sup>. За його допомогою інформація з однієї молекули РНК перезаписується на іншу. Так дочірні вірусні частинки отримують молекулу РНК, тотожну «батьківській».

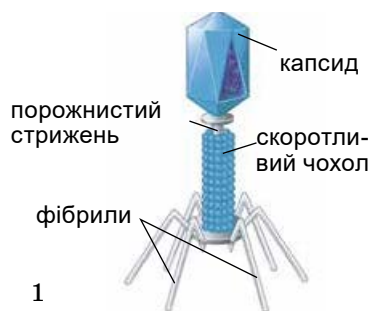
Під час перебування вірусу в клітині синтезуються різні вірусні білки. Одні з них використовуються як ферменти, що забезпечують подальше відтворення молекул вірусної РНК, інші – як структурні білки, з яких формуватимуться оболонки нових вірусних частинок. Усі ці процеси забезпечуються органелами клітини з її «будівельних матеріалів»: амінокислот і нуклеотидів та за рахунок її енергії. У результаті в цитоплазмі клітини накопичується велика кількість як структурного білка («будівельних блоків» нових вірусних частинок), так і вірусних молекул РНК. З них у подальших процесах самозбирання формуються нові дочірні вірусні частинки. Ці новоутворені вірусні частинки можуть знову потрапляти до тіла нематоди чи комахи-переносника, і все починається спочатку.

Як вірусна інфекція поширюється по рослині? Для інфікування сусідніх клітин віруси використовують міжклітинні контакти. Наприклад, РНК вірусу тютюнової мозаїки кодує специфічний білок, який так і називають – *білок руху*. Цей білок зв'язується з РНК вірусу і проводить її через міжклітинний контакт до сусідньої здорової клітини. Так вірусна інфекція поширюється по основній тканині листової пластинки. Для передачі в інші органи рослини (наприклад, квітку, корінь) віруси використовують рух поживних речовин по флоемі (*пригадаємо*: ця провідна тканина забезпечує низхідний транспорт розчинів по рослині).

Отже, молекула РНК вірусу тютюнової мозаїки кодує чотири білки: два з них – компоненти ферментів, що забезпечують перезаписування інформації з однієї молекули РНК на іншу, третій – структурний білок, який використовується для формування оболонки вірусних частинок, четвертий – білок руху.

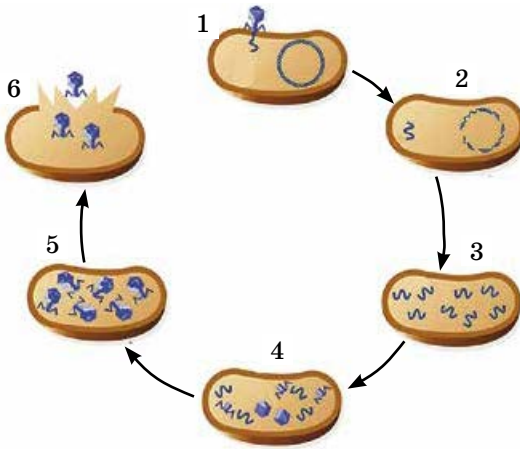
**Віруси бактерій, або бактеріофаги.** Бактеріальна клітина захищена від навколишнього середовища надійним «фортечним муром» – клітинною оболонкою складної будови. Тому на відміну від вірусів рослин, у вірусів бактерій – бактеріофагів – інша стратегія проникнення до цитоплазми клітини-хазяїна. Розглянемо цей процес на прикладі бактеріофага Т4 (мал. 10.1). До кінця хвостового відростка його вірусної частинки приєднані довгі фібрили – шість білкових ниток, які закінчуються специфічною структурою, що виконує функції рецептора.

На поверхні бактеріальної клітини є сполуки білків і вуглеводів (глікопротеїди), з якими і зв'язуються рецептори вірусу. Після цього бактеріофаг щільно притуляється до клітинної оболонки своїм хвостовим відростком і за рахунок скорочення чохла відростка впорскує через порожнистий стрижень у цитоплазму клітини свою дволанцюгову молекулу ДНК, розташовану в головці (капсиді).



Мал. 10. 1. Схематична будова бактеріофага Т4

<sup>1</sup>Його називають РНК-залежною РНК-полімеразою (термін наведено не для запам'ятовування).



Мал. 10.2. Життєвий цикл бактеріофага: 1 – бактеріофаг прикріплюється до поверхні клітини кишкової палички та вводить в її цитоплазму свою молекулу ДНК; 2 – за участю ферменту бактеріофага ДНК бактеріальної клітини розпадається на фрагменти; 3 – за участю ферментів бактеріофага та нуклеотидів бактеріальної клітини відбувається реплікація вірусної ДНК; 4 – за участю ферментів бактеріофага відбувається біосинтез білків, з яких формуються вірусні частинки; 5 – самозбирання вірусних частинок; 6 – руйнує клітинну оболонку кишкової палички, вірусні частинки виходять назовні

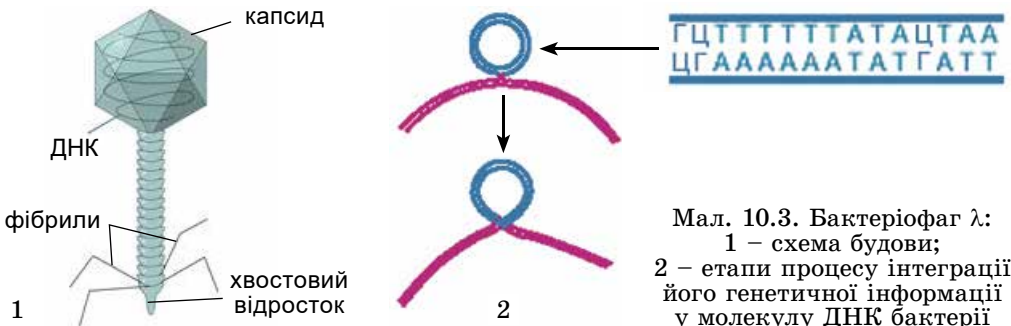
## Запам'ятаємо

На відміну від вірусів рослин, бактеріофаги використовують для пошуку чутливих клітин високоспецифічні рецептори, розміщені на поверхні їхніх вірусних частинок.

Оскільки генетична інформація бактеріофага Т4 – це дволанцюгова молекула ДНК, після потрапляння в цитоплазму вірус використовує клітинні ферменти, потрібні для забезпечення власного розмноження. У результаті за дуже короткий час (20–40 хв) в інфікованій клітині накопичується велика кількість вірусних структурних білків і копій ДНК вірусу. Після самозбирання в цитоплазмі бактерії утворюється близько 100 нових вірусних частинок (мал. 10.2). Специфічні ферменти ізсередини розчиняють клітинну оболонку бактерії, випускаючи вірусні частинки назовні.

Бактеріофаг Т4 є класичним прикладом інфекції, за якої уражена клітина завжди гине. На прикладі іншого вірусу, бактеріофага  $\lambda$  (бактеріофаг лямбда), ознайомимося із цікавим біологічним феноменом – вбудовуванням генетичної інформації вірусу в генетичну інформацію бактерії-хазяїна (мал. 10.3). Початкові стадії інфекції в цього фага майже такі, як у бактеріофага Т4: пошук чутливої до вірусу клітини, взаємодія зі специфічними рецепторами у складі оболонки бактеріальної клітини, впорскування ДНК бактеріофага в цитоплазму бактерії.

У бактеріофага лямбда немає скорочувального чохла хвостового відростка, тому він розчиняє ділянку клітинної стінки бактерії власними

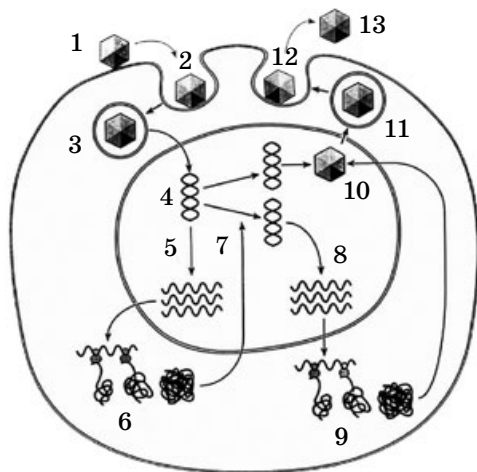


Мал. 10.3. Бактеріофаг  $\lambda$ :  
1 – схема будови;  
2 – етапи процесу інтеграції його генетичної інформації у молекулу ДНК бактерії

ферментами. За певних умов цей вірус не розмножується в інфікованій бактерії, а вбудовує свій генетичний матеріал у її молекулу ДНК. Вірусна інфекція у клітині бактерії не розвивається, клітина залишається життєздатною, незважаючи на ділянку чужорідної генетичної інформації у власній молекулі ДНК. Цікаво, що під час розмноження такої бактерії кожна нова дочірня клітина матиме копію генетичного матеріалу вірусу в складі власної молекули ДНК. Тільки під дією якихось екстремальних факторів (ультрафіолетові промені, висока температура, дія інших мутагенних факторів тощо) вірусна генетична інформація може «прокинутися» і запустити в дію програму розмноження вірусу, що завершується збиранням нових вірусних часток, розчиненням оболонки клітини і виходом нащадків вірусу в навколишнє середовище. Ми бачимо цікавий приклад привнесення чужорідної генетичної інформації в генетичну інформацію клітини-хазяїна. Нині це явище широко використовують у генній інженерії та біотехнології.

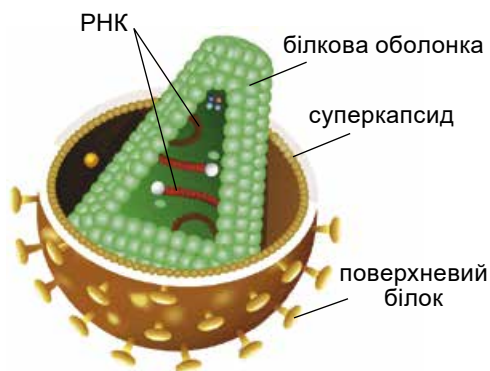
**Віруси людини і тварин.** Особливості розмноження вірусів людини і тварин розглянемо на прикладах вірусу поліомієліту та вірусу імунodefіциту людини. Перший з них є простим вірусом, другий – складним. *Вірус поліомієліту* використовує для пошуку і прикріплення до чутливої клітини специфічні рецептори (мал. 10.4), розміщені на верхівках його вірусної частинки (1). Після приєднання вірусної частинки до плазматичної мембрани вона вгинається всередину клітини (2), утворюючи пухирець, який транспортує вірус до гранулярної ендоплазматичної сітки (3). У цій ділянці цитоплазми генетична інформація вірусу (одноланцюгова молекула РНК) вивільняється з оболонки і використовується для синтезу вірусних білків. Проте в подальшому як вірусна молекула РНК, так і вірусні ферменти, які забезпечують перезаписування інформації з однієї молекули РНК на іншу<sup>1</sup>, транспортуються до ядра (4, 5). Там синтезуються нові молекули РНК вірусу (6–9). У цей час компоненти ядра клітини руйнуються, що передуює її загибелі. Велика кількість вірусних молекул РНК виходить з ядра, і в процесі самозбирання формуються нові вірусні частинки (10, 11), які виходять у позаклітинний простір унаслідок руйнування клітинної оболонки (12, 13).

На прикладі *вірусу імунodefіциту людини* (ВІЛ) ми ознайомимося з тим, як формуються складні вірусні частинки. Генетичний матеріал цього вірусу (мал. 10.5) – це дві однакові молекули одноланцюгової РНК, оточені білковою оболонкою. Зовні від неї є ще одна оболонка (суперкапсид), яка є ділянкою мембрани клітини, з якої вийшов цей вірус. Вона інкрустована двома складними вірусними білками. До складу вірусної частинки (на відміну від вірусу поліомієліту) входять



Мал. 10.4. Життєвий цикл вірусу поліомієліту

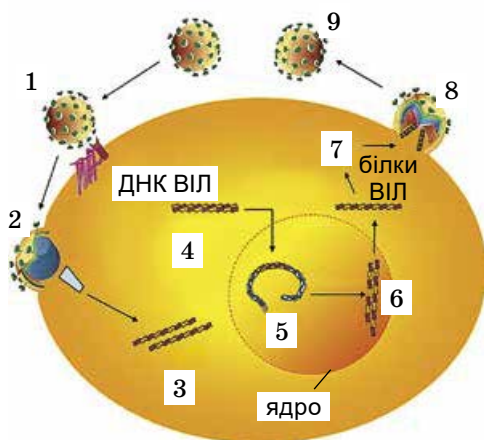
<sup>1</sup> Їх називають РНК-залежна РНК-полімераза; назву наведено не для запам'ятовування.



Мал. 10.5. Схематична будова вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ)

плазматичної мембрани (мал. 10.6, 1). Поверхнева мембрана вірусу зливається з плазматичною мембраною клітини, і РНК вірусу, оточена білками, опиняється в цитоплазмі клітини (2). РНК вірусу вивільняється (3), і вірусний фермент<sup>2</sup> використовує молекулу РНК вірусу як матрицю, на якій синтезується дволанцюгова молекула ДНК (4).

На наступному етапі інфекції, завдяки іншому вірусному ферменту, новосинтезована дволанцюгова ДНК ВІЛ транспортується до ядра клітини, де взаємодіє з однією з хромосом генетичного апарату клітини (5). Після того як ця взаємодія відбулася, вірусна ДНК у складі клітинної генетичної інформації (або провірус) може тривалий час співіснувати з хромосомою, не реалізуючи власної вірусної генетичної інформації (6). В інфікованих ВІЛ пацієнтів на такому етапі вірусної інфекції симптоми захворювання не проявляються. Однак під дією певних факторів клітинного середовища



Мал. 10.6. Життєвий цикл вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ)

також вірусні специфічні білки-ферменти. Головним з них є фермент<sup>1</sup>, основна функція якого – переписування генетичної інформації з молекули РНК на молекулу ДНК. Зверніть увагу: у клітинах прокаріотів та еукаріотів такі процеси не відбуваються.

ВІЛ використовує для пошуку і прикріплення до чутливих клітин (зазвичай, це Т-лімфоцити) специфічний рецептор – поверхневий білок (мал. 10.5). У результаті складної взаємодії з білками клітини, розміщеними на її поверхні, вірус адсорбується на зовнішній стороні

ДНК вірусу може активізуватися, починається її переписування (транскрипція) і далі – синтез вірусних білків (7). Білки, які відповідають за утворення зовнішньої (суперкапсидної) оболонки, проникають до плазматичної мембрани. Вони вбудовуються в неї зсередини, формуючи ділянки, які в подальшому вірус використає як зовнішню оболонку вірусної частинки (8).

Новосинтезовані молекули РНК ВІЛ (по дві молекули на кожен вірусну частинку) у процесі самозбирання взаємодіють зі структурними білками вірусу, внаслідок чого утворюється його серцевина, яка рухатиметься до ділянок плазматичної мембрани з уже інкрустованими

<sup>1</sup> РНК-залежна ДНК-полімераза, або зворотна транскриптаза; назву наведено не для запам'ятовування.

<sup>2</sup> Зворотна транскриптаза; назву наведено не для запам'ятовування.



вірусними поверхневими білками. Кінцевим етапом розвитку інфекції ВІЛ буде вихід вірусних частинок за рахунок вигинання плазматичної мембрани і їх відбруньковування від оболонки клітини (8). В одній інфікованій клітині може одночасно синтезуватися близько сотні нових вірусних частинок. За їхнього одночасного відбруньковування від плазматичної мембрани клітина гине. Оскільки ВІЛ уражає Т-лімфоцити, їхня загибель призводить до дефіциту імунних клітин в організмі і відповідно зниження імунітету всього організму. Звідки й походить його назва – вірус імунodefіциту людини. *Пригадаємо*: вірус імунodefіциту людини спричиняє смертельно небезпечне захворювання людини – синдром<sup>1</sup> набутого імунodefіциту людини (СНІД).

### Цікаво знати

Французькі вірусологиня Франсуаза Барре-Синьоссі та вірусолог Люк Антуан Монтаньє (мал. 10.7) досліджували ретровіруси в Інституті Пастера. У 1983 році Ф. Барре-Синьоссі виділила вірус збудник СНІДу. 20 травня 1983 р. вона зі співробітниками опублікувала статтю в журналі «Science», де повідомила про відкриття нового ретровірусу, який пізніше дістав назву вірус імунodefіциту людини. У 1984 році цей вірус самостійно виділив американський дослідник Роберт Галло.



1



2

Мал. 10.7. Учені – лауреати Нобелівської премії з фізіології та медицини 2008 року, які відкрили вірус імунodefіциту людини: 1 – Франсуаза Барре-Синьоссі (народ. 1947); 2 – Люк Антуан Монтаньє (народ. 1947)

### Запам'ятаємо

**Ретровіруси** – родина РНК-вмісних вірусів, які інфікують переважно людину та хворих тварин. Ці віруси характеризуються тим, що їхня молекула РНК використовується як матриця, на якій синтезується дволанцюгова молекула ДНК.

**Завдання:** пригадайте, як людина може убезпечити себе від зараження ВІЛ.

Зрозуміло, що наведені приклади способів розмноження вірусів не охоплюють усе різноманіття цих процесів. Проте вони ілюструють основні принципи формування нових вірусних часток.

### Ключові терміни та поняття

вірус імунodefіциту людини (ВІЛ), синдром набутого імунodefіциту людини (СНІД).

#### Перевірте здобуті знання



1. Як віруси заражають рослини? 2. Які особливості розмноження вірусів рослин? 3. Які особливості розмноження бактеріофагів? 4. Які особливості будови та життєвого циклу вірусу імунodefіциту людини?

#### Поміркуйте



Пригадайте гіпотезу світу РНК. Що спільного між її положеннями та реалізацією спадкової інформації ВІЛ?

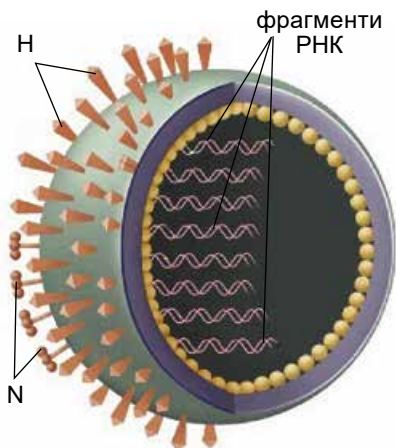
<sup>1</sup> Синдром (від грец. *синдроме* – той, хто біжить разом) – поєднання ознак (симптомів) певного захворювання.

## §11. ГІПОТЕЗИ ПОХОДЖЕННЯ ВІРУСІВ. РОЛЬ ВІРУСІВ В ЕВОЛЮЦІЇ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

**Пригадайте** гіпотези походження життя на Землі. Які основні положення гіпотези світу РНК? Що таке геном? Що таке плацента? У чому полягає біологічний метод боротьби з організмами-шкідниками?

**Гіпотези походження вірусів.** На сьогодні не існує єдиної точки зору щодо походження вірусів. У вірусології розглядають три основні гіпотези. Згідно з **гіпотезою регресивної** (від лат. *регрессус* – зворотний рух, повернення) **еволюції**, віруси утворилися з клітин, які втратили органели. На жаль, переконливих доказів цієї гіпотези немає. **Пригадаємо:** за теорією симбіогенезу шляхом регресу з клітин прокаріотів, які потрапили у клітину прадавньої еукаріотичної клітини, виникли хлоропласти та мітохондрії.

Згідно з **гіпотезою паралельної еволюції**, віруси виникли у прадавні часи незалежно від клітин, використовуючи їхні можливості до перетворення енергії та синтезу білків. Останнім часом більшість учених схильється саме до цієї гіпотези, оскільки на її користь з'являється дедалі більше доказів, зокрема щодо еволюції РНК.



Мал. 11.1. Схематична будова вірусу грипу

Відповідно до **гіпотези «скажених генів»**, яку запропонував Дж. Уотсон, віруси – ділянки спадкового матеріалу клітин, які вийшли з-під їхнього контролю й почали існувати самостійно. **Пригадайте** внесок Дж. Уотсона в розвиток біології.

**Роль вірусів в еволюції органічного світу.** Спадковий матеріал вірусів можна знайти будь-де – від легень здорової людини<sup>1</sup>, які до виявлення в них генетичних елементів вірусів вважали стерильними, до глибин Світового океану.

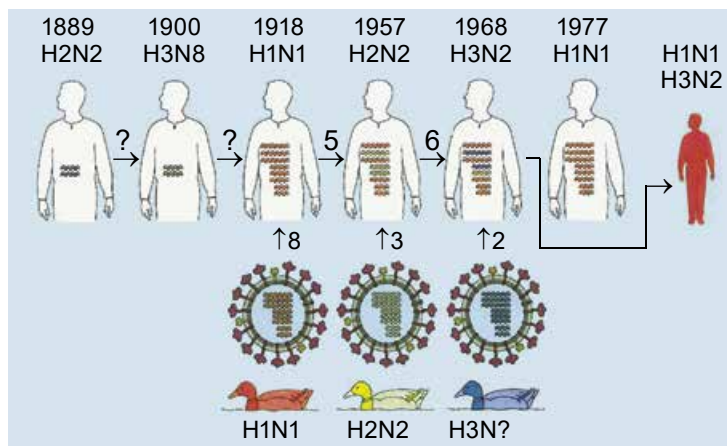
Віруси здатні змінювати свої властивості, завдяки чому ми можемо перехворіти одним і тим самим вірусним захворюванням декілька разів. Розглянемо це на прикладі РНК-вмісного вірусу грипу

(мал. 11.1). Геном вірусу складається з восьми фрагментів РНК), у яких закодовано десять білків, серед яких поверхневі – гемаглютиніни (позначають H), та фермент нейрамінідаза (N). Різні штами вірусу відрізняються за цими білками. У назві штаму вказують тип гемаглютиніну та нейрамінідази (H1N1). Насамперед сама по собі РНК вірусу здатна змінюватись унаслідок мутацій.

### Цікаво знати

Запис генетичної інформації у вигляді РНК сприяє збільшенню кількості самочинних мутацій, адже надійність якісного перезаписування з однієї молекули РНК на іншу приблизно на три порядки менш точна, ніж під час перезаписування з молекули ДНК на молекулу РНК: помилок утворюється у тисячу разів більше. Як наслідок, генетична інформація РНК-вмісних вірусів дуже швидко змінюється. Тому утворюються генетично неоднорідні **штами вірусів**.

<sup>1</sup> У середньому в легенях здорової людини можна виявити гени понад 170 вірусів, більшість з яких невідома.

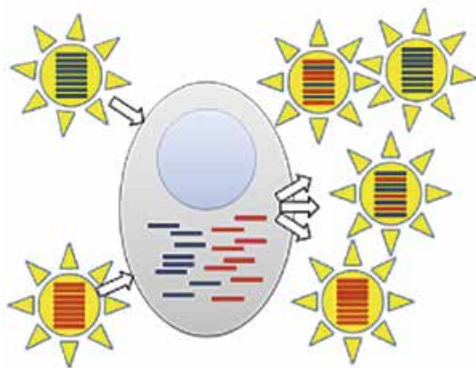


Мал. 11.2. Еволюція вірусу грипу людини. Цифрами зазначено кількість фрагментів РНК вірусу людини, успадкованих від попередника

**Штамами** називають відмінні між собою варіанти одного виду вірусу (аналогами можуть бути штами бактерій – нащадки однієї клітини). Але головна причина мінливості вірусів в іншому. Наприклад, віруси грипу людини дуже споріднені з вірусами грипу диких птахів (мал. 11.2) і свиней. Вважають, що вірус грипу потрапив до людської популяції саме від птахів. Це підтверджує той факт, що нині для вірусів, виділених від птахів, відомі всі можливі комбінації 16 типів особливого поверхневого білка гемаглютиніну (H) та 9 типів ферменту нейрамінідази (N). Водночас для вірусів людини відома тільки незначна частина таких комбінацій, як-от H1N1 (так званий свинячий грип) або H3N2. Занепокоєність світової спільноти можливим розвитком епідемії «пташиного грипу» якраз і пов'язують з тим, що з'являється новий тип білка гемаглютиніну, який раніше не траплявся в оболонці вірусів людини – H5N1. Але і вже добре відомий тип H1N1 може знову стати дуже небезпечним для людини після його адаптації до організму свині.

**Як вірус набуває нових ознак?** Коли в одну клітину потрапляє не один, а два віруси або більше (таке трапляється часто), можливий обмін однією або декількома ділянками РНК між різними вірусами. У такий спосіб нові віруси можуть набувати нових властивостей, насамперед можливості «втечі» від імунного нагляду організму хазяїна. Такий обмін сегментами генома у вірусу грипу дістав назву *реасортації* (мал. 11.3). Учені припускають, що саме так з'явився вірус грипу, який спричинив епідемію «іспанки» 1918 року.

Віруси, здатні спричиняти «за-студу» в людини – риновіруси, впливають на організм досить м'яко. До 40 % людей, у яких виявляли цей вірус, навіть не відчували симптомів захворювання. Більшість з тих, у кого такі симптоми розвиваються, одужують за тиждень. Проте рино-



Мал. 11.3. Обмін фрагментами (реасортація) молекул РНК у вірусу грипу. *Завдання:* визначте, скільки нових штамів вірусу з'явилося внаслідок реасортації

віруси з одного боку, можуть «відкривати шлях» іншим збудникам, значно небезпечніших хвороб, а з другого – здатні позитивно впливати на свого хазяїна. Людина, яка в дитинстві хворіла на риновірусну «застуду», менш схильна до захворювань, пов'язаних з імунними розладами.

Циркуляція вірусів серед морських мікроорганізмів вплинула на існування життя на Землі. Як ви вже знаєте, деякі бактеріофаги (як-от, фаг лямбда; див. мал. 10.3) здатні тривалий час перебувати в ураженій клітині, вбудовуючи свій геном у геном бактерії. Доки ДНК вірусу залишається незмінною, вірус може «звільнитися» і зруйнувати клітину. Проте якщо ДНК фага зміниться внаслідок мутації, вірус може втратити здатність до вивільнення і залишається в геномі клітини, ставши його частиною. Геном фага може також змінитися, «захопивши» під час вивільнення якісь гени клітини-хазяїна. У такому разі вірус передаватиме ці гени всім наступним зараженим клітинам. Інколи такі запозичені гени надають клітині – носію вірусу – еволюційні переваги, роблячи її більш пристосованою до виживання.

### Цікаво знати



За підрахунками вчених, у Світовому океані мешкають близько  $10^{30}$  вірусів, переважно бактеріофагів. Щодня «морські» фаги вбивають майже половину всіх бактерій Світового океану, утримуючи під контролем їхню чисельність.

Історія співіснування вірусів і клітин триває мільярди років. На жаль, її не можна простежити за якимись скам'янілими рештками, адже віруси не залишають їх по собі. Проте віруси здатні «залишати сліди» у геномах своїх хазяїв. Учені можуть відстежити гени, передані давніми вірусами своїм хазяям, порівнюючи геноми видів, які походять від спільного предка. Так було виявлено, що геноми всіх живих істот містять гени, перенесені вірусами. Геном людини містить близько 100 тис. фрагментів ДНК ендогенних ретровірусів, що становить майже 8 % загальної кількості генів людини.

Термін *ендогенні* (від грец. *ендон* – усередині та *генос* – рід) – указує на «внутрішнє походження» цих вірусів. Ендогенні ретровіруси є нащадками стародавніх вірусів, які, подібно до ВІЛ, вбудували власну ДНК у геном статевих клітин хазяїна і втратили здатність вивільнятися з них. Нині геноми цих вірусів у вигляді дwonиткової ДНК постійно є у складі клітинної хромосоми і функціонують як набір клітинних генів. Тривалий час вважали, що вірусні гени в ДНК людини не відіграють жодної ролі (становлять так звану сміттеву ДНК). Але останні відкриття виявили, що деякі вірусні гени продовжують функціонувати. Зокрема, ендогенні ретровіруси підтримують одну з основних функцій стовбурових клітин – здатність давати початок будь-якому іншому типу клітин у нашому організмі. Оброблення стовбурових клітин речовинами, що пригнічували активність ретровірусних генів, призводить до втрати клітинами своїх властивостей. Це відкриття має колосальне значення для генної інженерії (спробуйте пояснити, чому).

Багато тканин у нашому організмі (наприклад, шкіри, м'язи, кістки) складаються з багатоядерних клітин, які утворюються за допомогою «вірусних» білків. Під їхнім впливом руйнуються клітинні мембрани, клітини злипаються, а їхній уміст перемішується. Формування плаценти у хребетних тварин так само пов'язане з присутністю в геномі одного з таких ретровірусних елементів. Окрім того, виявилося, що з найперших

днів (ще в утробі матері) людина перебуває під захистом тих самих ендогенних ретровірусів. Ембріон людини містить генну складову ретровірусу, що проник у людський організм близько 200 тис. років тому. Ця складова регулює генну активність клітин та перешкоджає потраплянню інших інфекцій у плід, наприклад захищає його від грипу.

Дослідження геномів ендогенних вірусів має важливе значення і для систематики. Їхнє вивчення дає змогу простежити філогенетичні зв'язки між різними видами тварин. Ретровіруси вбудовуються в геном випадково й імовірність незалежної інтеграції однакових вірусів на однакові позиції дуже мала. Тобто генетичний матеріал одного й того самого ретровірусу може бути присутнім у двох тварин на одній і тій самій позиції в ДНК тільки в тому разі, якщо ці тварини походять від спільного предка. Деякі із цих ретровірусів трапляються тільки в геномі людини. Інші – тільки в шимпанзе і в людини (тим самим підтверджується походження людини й шимпанзе від спільного предка). Є послідовності, що трапляються в горил, шимпанзе й людини, в орангутанів, що свідчить про те, що ці примати й людина також мають спільного, але дуже далекого предка.

Отже, віруси є невід'ємною складовою різних еволюційних процесів на нашій планеті. За їхньою участю може відбуватися обмін ділянками ДНК (генами) між різними біологічними видами. Як ви пригадуєте, ці процеси називають *горизонтальним перенесенням генів*.

### Запам'ятаємо

Віруси здатні надавати новий генетичний матеріал для еволюції різних груп організмів.

Здатність вірусів переносити гени з однієї клітини до іншої широко використовують у генній інженерії. Частина вірусного генома, що містить несуттєві для репродукції вірусу гени, заміщують нуклеотидною послідовністю, у якій закодовано потрібний людині білок. Так людина штучно отримує нові комбінації генів – рекомбінації – у складі вірусного генома. Заражена цим рекомбінантним вірусом клітина починає продукувати цей білок. При цьому вірус не втрачає здатності репродукуватися, виходити з інфікованої клітини і заражати нові, збільшуючи тим самим кількість клітин, що синтезують цей білок. Використання вірусів у генній інженерії та біотехнології ви докладно вивчатимете наступного року.

### Цікаво знати

У водоймах і вологому ґрунті мешкають дрібні багатоклітинні тварини – коловертки (мал. 11.4). Уявіть: найдрібніший представник коловерток завдовжки лише 0,04 мм! У геномі цих тварин виявили десятки генів, запозичених у представників інших груп організмів: бактерій, рослин, грибів. Можна припустити, що їхній геном «збагатився» не без участі вірусів.

Мал. 11.4. Коловертки – дрібні безхребетні тварини. Цим тваринам притаманна здатність переживати тривалі періоди несприятливих умов: у висушеному стані вони витримують упродовж 5 хв нагрівання до +100 °С та впродовж 4 год заморожування до -271 °С





Важлива роль вірусів у біосфері – контроль за зростанням чисельності популяції організмів, у яких вони паразитують. Цю властивість вірусів людина використовує, коли розробляє біологічні методи боротьби з організмами-шкідниками.

### Ключові терміни та поняття

штами вірусів, реасортація, ендогенні ретровіруси.

**Перевірте здобуті знання**



1. Назвіть гіпотези, які пояснюють походження вірусів. Яка з них, на вашу думку, найбільш імовірна? 2. Завдяки яким процесам збільшується різноманітність вірусів? 3. Яка роль вірусів в еволюції органічного світу?

**Поміркуйте**



Яким може бути позитивний вплив вірусів на організм хазяїна?

## § 12. РІЗНОМАНІТТЯ ПРОКАРІОТІВ І ПРИНЦИПИ ЇХНЬОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

**Пригадайте** особливості будови прокаріотичних та еукаріотичних клітин. Як діють антибіотики? Яка будова генів еукаріотів? Що таке інтрони та екзони? Що таке плазмід? Які організми називають сапротрофами, симбіотрофами, аеробами та анаеробами? Яка будова плазматичної мембрани?

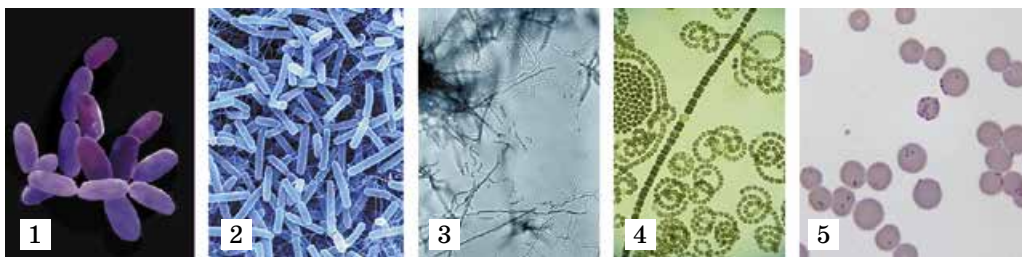
**Прокаріоти** – доядерні організми, які включають два домени: Археї та Бактерії. До домену Бактерії належать власне бактерії, ціанобактерії, актиноміцети та мікоплазми (мал. 12.1). На сьогодні описано понад 3000 видів прокаріотів (з них близько 2000 видів ціанобактерій), але їхня реальна кількість у природі значно більша (за прогнозами вчених, сотні тисяч видів). Бактерій вивчає наука **бактеріологія**. Підвалини цієї науки заклали відомі вчені-мікробіологи Л. Пастер (мал. 8.2), С.М. Виноградський (мал. 12.2) та ін.

### **Цікаво знати!**



1990 року Карл Воуз запропонував систему біологічної класифікації під назвою «Система трьох доменів», згідно з якою всі організми поділив на домени Бактерії, Археї та Еукаріоти (мал. 12.3), які з'явилися від далекого спільного предка.

**Археї** вважають найдавнішими організмами на Землі. Нині їх налічують близько 700 видів. Клітини археїв мають мікроскопічні розміри, у середньому близько 1 мкм (мінімальні розміри – 0,4 мкм), а клітинна оболонка, на відміну від бактерій, не містить муреїну. Замість нього є полісахариди.



Мал. 12.1. Різноманітність прокаріотів: 1 – археї; 2 – бактерії (кишкова паличка); 3 – актиноміцети; 4 – ціанобактерії; 5 – мікоплазми. **Завдання:** пригадайте, яка роль кишкової палички у забезпеченні нормального існування організму людини

Мал. 12.2. Виноградський Сергій Миколайович (1856–1953): усесвітньо відомий мікробіолог. Народився в Києві, відкрив процес хемосинтезу, заснував новий напрям у дослідженні мікроорганізмів – ґрунтову мікробіологію



харид псевдомуреїн, який зумовлює нечутливість археїв до дії деяких антибіотиків.

Форма клітин різних видів археїв різноманітна: сферична, паличкоподібна (див. мал. 12.1, 1), спіральна, трикутна, прямокутна. Клітини багатьох видів мають джгутики. Геном археїв – дволанцюгова кільцева молекула ДНК. На відміну від бактерій, у складі генів археїв є інтрони (як і в генах еукаріотів). У клітинах археїв є кільцеві плазмиди, характерні для клітин бактерій. Археї відрізняються від інших прокаріотів та еукаріотів системами синтезу білків. Зокрема, їхні рибосоми за розмірами нагадують рибосоми прокаріотів, а за формою – еукаріотів. Археї не здатні синтезувати гідролітичні ферменти, які забезпечують розщеплення складних органічних сполук, тому можуть засвоювати лише прості речовини.

### Цікаво знати

Археїв часто виявляють в екстремальних умовах, у яких не можуть існувати інші живі істоти. Наприклад, серед них є як види, здатні мешкати в гарячих джерелах (за температури  $+45^{\circ}\text{C}$ ... $+113^{\circ}\text{C}$ ; такі види мають у своєму складі білки, стійкі до дії високих температур), так і види, що існують за низьких температур ( $-10^{\circ}\text{C}$ ... $+15^{\circ}\text{C}$ ). Є види, які витримують тиск до 700 атмосфер, інші здатні пережити тривалі посушливі періоди.

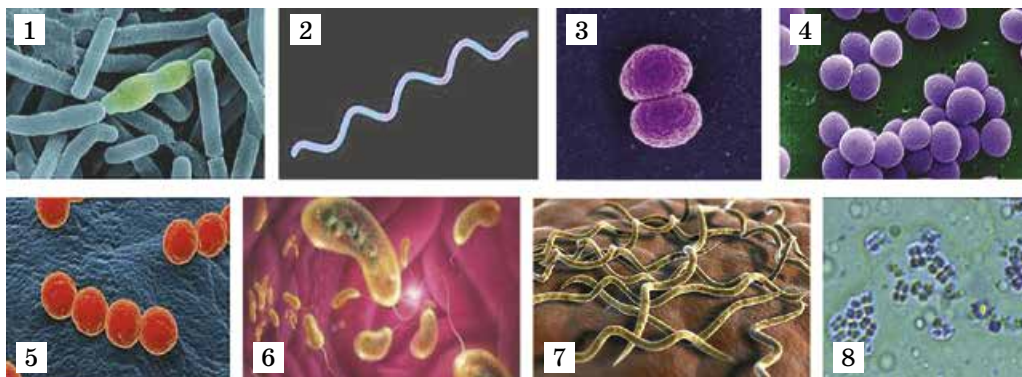
Серед археїв трапляються як аероби, так і анаероби, як автотрофні (хемотрофи та фототрофи, так і гетеротрофні види. Тільки один вид археїв належить до паразитичних. Деякі з археїв здатні фіксувати атмосферний азот, є і метаноутворювальні види. Вони відновлюють карбон(II) оксид до метану. Ці види (унікальне явище серед організмів) мешкають в анаеробних умовах: у перезволожених ґрунтах, на болотах, у мулі водойм, очисних споруд, рубці жуйних тварин (*пригадайте* особливості будови шлунка жуйних тварин). Метан у них утворюється як побічний продукт процесів метаболізму. Серед археїв є також види окиснювачі та відновлювачі Сульфору. Розмножуються археї поділом клітини навпіл, брунькуванням і фрагментацією.

Серед археїв є перспективні види, які можна використовувати для утилізації органічних решток. У деяких країнах метаноутворювальних бактерій використовують для отримання біогазу з органічних відходів.

### Запам'ятаємо

**Біогаз** – це різновид біопалива (органічних матеріалів, які використовують для отримання енергії). Отримання біогазу дає змогу розв'язати дві важливі задачі: по-перше, використовувати для отримання енергії відновлювальні ресурси (відходи тваринництва, харчової промисловості, побутові відходи тощо) замість невідновлювальних (природний газ, нафта, вугілля); по-друге, здійснювати ефективну утилізацію відходів промисловості, сільського господарства та побутових відходів. В Україні з її розвиненим агропромисловим комплексом та значним обсягом побутових відходів існують значні ресурси для вироблення біогазу.

До **бактерій** належать різноманітні за особливостями будови клітин та процесів життєдіяльності види. Розміри бактеріальних клітин у серед-



Мал. 12.3. Форма клітин бактерій: 1 – бацили; 2 – спірили; 3 – диплококи; 4 – стафілококи; 5 – коки; 6 – вібріони; 7 – спірохети; 8 – тетракоки

ньому становлять близько 0,5–5 мкм. Форма клітин бактерій також різноманітна: куляста (*коки*), паличкоподібна (*бацили*), комоподібна (*вібріони*), у вигляді спірально закрученої палички (*спірили*), довгої та тонкої спірально закрученої клітини (*спірохети*) тощо. Коки, що зібрані попарно, називають *диплококами*, по чотири – *тетракоками*, у вигляді грон – *стафілококами*, ниток – *стрептококами* тощо (мал. 12.3). Це приклади колоніальних форм. Є й багатоклітинні види (серед ціанобактерій та актиноміцетів).



Мал. 12.4.  
Міксобактерії

Сукупність клітин прокаріотів, об'єднаних слизом, який вони виділяють, має назву *біоплівка*. Зазвичай, це лише випадкове об'єднання окремих організмів, але інколи таке об'єднання пов'язане з виконанням певної функції. Наприклад, формування «плодових тіл» міксобактеріями (мал. 12.4) забезпечує можливість формування мікоспор, тоді як поодинокі клітини не здатні їх утворювати.

Одні з бактерій нерухомі, інші здатні пересуватись за допомогою джгутиків чи виділяючи слиз. У деяких бактерій рух досить швидкий, є види, здатні за 1 с долати відстань, що дорівнює приблизно 20 діаметрам їхньої клітини.

### Цікаво знати!

Міксобактерії живуть переважно в ґрунті. Здатні активно рухатися за допомогою ковзання. Вони – своєрідні хижачки, які, тримаючись разом великими групами, «полюють» на інших бактерій. У складі такої групи міксобактерії виділяють назовні ферменти, потрібні для перетравлювання клітин здобичі. Коли їжі не вистачає, міксобактерії створюють «плодові тіла» із сотень тисяч клітин. Міксобактерії застосовують у біомедичній промисловості для отримання деяких антибіотиків.

**Будова бактеріальної клітини.** Клітина бактерій оточена плазматичною мембраною (її будова така сама, як і в клітинах еукаріотів) та клітинною оболонкою. Клітинна оболонка бактерій, розташована над плазматичною мембраною і має досить складну будову. До її складу входить високомолекулярна сполука *муреїн* (має сітчасту структуру, утворену полісахаридними ланцюгами, сполученими пептидними містками), яка надає жорсткості клітинній стінці (здійснює опорну функцію). До складу клі-