

ТЕМА 2. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК І РІЗНОМАНІТНІСТЬ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

§ 44. ХІМІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ І ВИНИКНЕННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ

Терміни і поняття: самозародження; хімічна, або передбіологічна, еволюція; абіогенез; біогенез; коацервати; протобіонти; протоклітини; архебіонти; гіпотеза панспермії.



Мал. 195. Ф. Реді.

Абіогенез і самозародження. Першими свої думки про те, як на Землі з'явилося життя, висловлювали ще прадавні мудреці. Уже тоді вони припускали, що живі організми виникли з неорганічної матерії. В античні часи ідея самозародження (спонтанного зародження) живих істот з неживих матеріалів сприймалася як щось само собою зрозуміле. У Середньовіччі уявлення про походження життя набули форми релігійної догми. Одним з її постулатів стала ідея про виникнення живих істот з ґрунту в процесі гниття під впливом животворящого духу.

Середньовічний природодослідник *Ян Батіста ван Гельмонт* (1579—1644), наприклад, пропонував такий спосіб одержання мишей. Відкритий глечик слід набити брудною білизною і додати туди пшениці. Приблизно через три тижні варто очікувати зародження мишей, «оскільки закваска, що перебувала в білизні, проникає крізь пшеничну лушпайку

й перетворює пшеницю на мишу». Середньовічний філософ і богослов *Фома Аквінський* (1225—1274) вважав, що паразити та інші тварини-шкідники зароджуються з волі диявола, який прагне таким витонченим способом завдати шкоди людині.

В епоху Відродження активно поширилася легенда про *гомункулуса* — крихітну людинку, яку можна створити з глини, ґрунту або іншої неживої матерії за допомогою магічних заклинань і обрядів.

Помилковість ідеї про самозародження життя документально довів італійський лікар *Франческо Реді* (1626—1698). Він провів ряд дослідів, які показали, що м'ясні мухи, всупереч думці, що тоді побутувала, розвиваються з відкладених самками яєць, а не зароджуються самі по собі в гниючому м'ясі. Так, Реді брав два шматки м'яса, розкладав їх у два глиняних горщики, один з яких накривав серпанком. Через якийсь час у відкритому горщику розвивалися личинки, а в закритому не було жодних ознак личинок або мух. Відтак учений зробив

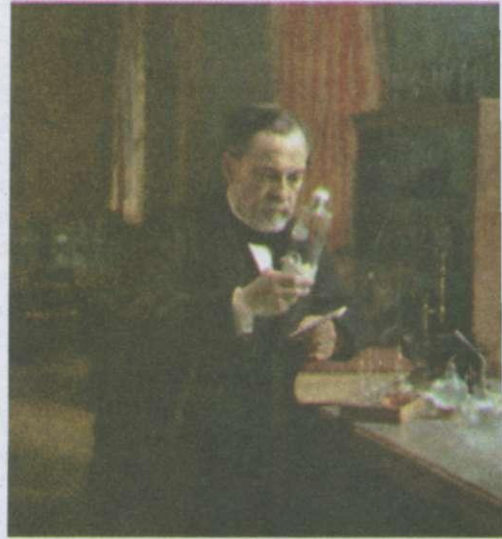
висновок: мухи сідають на гниюче м'ясо й відкладають у нього личинки, в результаті чого народжуються нові мухи.

Проте у більшості біологів аж до XIX ст. не виникало сумніву, що властивістю самозародження володіють усі одноклітинні організми. Цю ідею розвінчав тільки у 1865 р. видатний мікробіолог *Луї Пастер* (1822—1895). На той час вже було відомо, що після тривалого кип'ятіння у закритій пробкою колбі будь-якого середовища, воно залишається стерильним доти, поки колба залишається невідкоркованою. Однак прихильників ідеї самозародження не переконував цей дослід. Вони вважали, що для самозародження необхідне чисте, а не прогріте повітря. Тому на замовлення Пастера спеціально виготовили колбу з вигнутим у вигляді лебединої шиї горлечком (мал. 197). Прокип'ячений у такій колбі живильний бульйон не простав бактеріями так само, як і в колбі, закритій пробкою. Пастер пояснював це тим, що мікроорганізми, які проникають у таку колбу разом з повітрям, осідають на вигинах горлечка. Свої слова він підтвердив, струснувши колбу так, щоб бульйон обполоскав стінки горлечка. Саме після цього через деякий час у відварі з'явилися бактерії. У такий спосіб Л. Пастер довів, що у середовищі, позбавленому мікроорганізмів, неможливе їх зародження навіть за ідеальних умов.

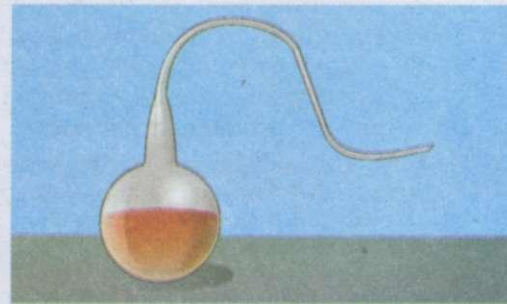
Нині притулком ідеї самозародження організмів залишається креаціонізм — релігійно-філософська концепція, яка різноманітність живої природи, людство, Землю і Всесвіт розглядає як акт божественного творення.

Заперечення ідеї можливості спонтанного зародження організмів у сучасних умовах не суперечить науковим уявленням про те, що життя на Землі виникло з неорганічної матерії мільярди років тому в результаті хімічної, або, як ще її називають, **передбіологічної еволюції**. Ідея передбіологічного розвитку природи, який спричинив утворення життя, дістала назву **абіогенезу** (від грец. *a* — не, *bios* і *genesis*). Нині вважають, що еволюція життя на нашій планеті складається з двох етапів: абіогенезу та **біогенезу** — власне біологічної еволюції, коли живі організми походять тільки від живих організмів.

Хімічна еволюція. Матеріальна сутність тіл живих організмів досить проста. Вони побудовані з полімерних органічних сполук, основу яких становлять сполуки атомів Карбону. А процес життєдіяльності — це не що



Мал. 196. Л. Пастер у своїй лабораторії.



Мал. 197. Колба, яку використав Л. Пастер у своєму досліді.

інше, як сукупність упорядкованих, що впливають одна з одною, хімічних реакцій. Подумки розклавши клітину на окремі структури і макромолекули, з яких вона побудована, а метаболізм організму спочатку на біохімічні цикли, а потім на окремі реакції, легко уявити логіку поступового ускладнення будови хімічних сполук і реакцій, яке могло відбуватися мільярди років тому. У лабораторних умовах, що імітують умови первісної Землі, можливо спочатку здійснити синтез найпростіших біогенних сполук, потім з них одержати біополімери, що мають каталітичну активність, а потім — структури, що нагадують клітинну мембрану. Тим самим можна довести принципову можливість хімічної еволюції — поступального процесу появи нових хімічних сполук, більш складних і високоорганізованих порівняно з вихідними речовинами, що відбувався на Землі перед виникненням життя.

Основні положення концепції хімічної еволюції такі.

- Життя на Землі виникло природним шляхом з неорганічних речовин з витратою енергії, яка надходила іззовні.
- Виникнення життя — це процес появи дедалі нових хімічних сполук та хімічних реакцій.
- Хімічна еволюція — процес, який протікав протягом мільярдів років у дуже специфічних умовах під впливом потужних зовнішніх джерел енергії.
- Важливу роль у хімічній еволюції відіграв передбіологічний добір, що сприяв виникненню, насамперед, складних сполук, у яких здатність до обміну речовин поєднувалася зі здатністю до самовідтворення.
- Ключовим у процесі хімічної еволюції був фактор самоорганізації, властивий усім складним системам, до яких відносяться й органічні молекули.

А чи можна в сучасних умовах на Землі знайти граничний стан між неживим і живим? Виявляється, можна. Це ті самі віруси, які виявляють властивості як живого, так і неживого, хоча, як вважає більшість учених, не мають жодного відношення до хімічної еволюції і походження життя. Цікавішою є знахідка зовсім нового прикордонного стану між живим і неживим — так званих нанобактерій. Це дуже дрібні кулясті субстанції, які за розмірами не перебільшують віруси. Їх можна розглядати лише в електронний мікроскоп. Більшість учених вважають їх біомінералами. Нанобактерії здатні до самовідтворення у присутності певних вітамінів. Їх розмноження при цьому відбувається шляхом самокопіювання. Нанобактерії не містять ані ДНК, ані РНК, ані будь-яких білків. Хімічні процеси у цих субстанціях відбуваються інакше, ніж у прокаріотів, а швидкість їх росту у тисячі разів менша, ніж у бактерій.

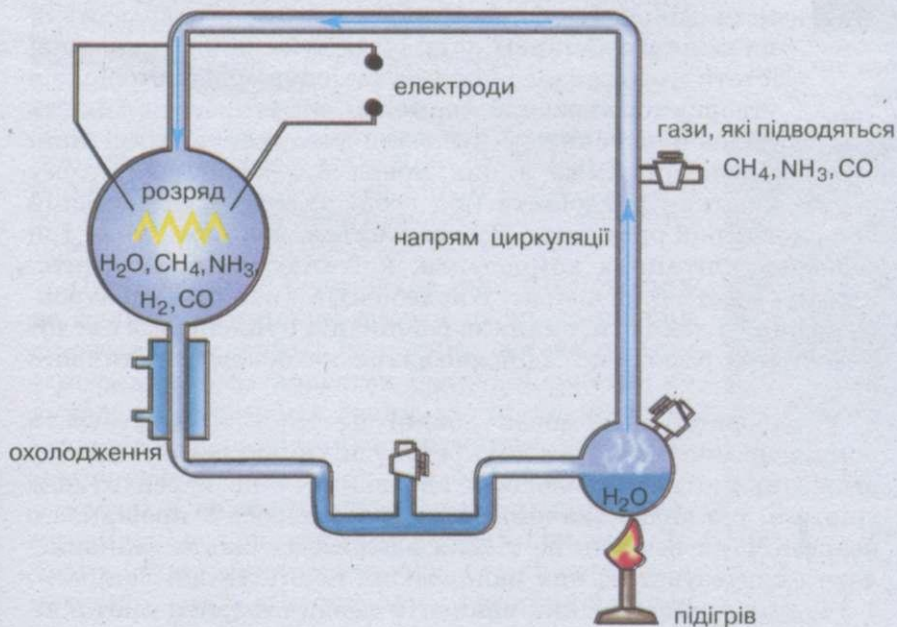
Сучасні уявлення про основні етапи абіогенезу. Утворення поширених у живій природі органічних сполук поза організмом проходить ряд етапів.

1. Синтез органічних мономерів: органічних кислот, амінокислот, вуглеводів, азотистих основ. Для цього на первісній Землі були всі умови: кількість води, метану, аміаку і ціанідів, відсутність кисню та інших окиснювачів (атмосфера мала відновний характер), а також надлишок вільної енергії у вигляді ультрафіолетового випромінювання, електричних розрядів і вулканічної діяльності.

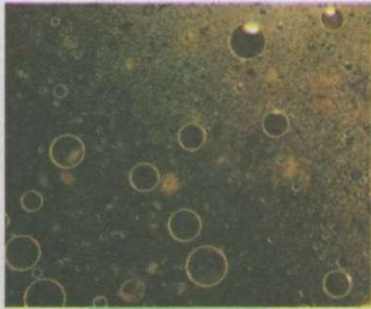
Можливість синтезу амінокислот та інших низькомолекулярних органічних сполук з хімічних елементів і неорганічних сполук доведена експериментально. Для цього складові атмосфери тогочасної Землі (вуглекислий газ, метан і аміак, водяна пара) були зміщені у замкнену колбу й крізь цю суміш пропущені електричні розряди (мал. 198). У результаті вдалося син-

тезувати ряд порівняно складних біогенних сполук: амінокислоти (гліцин, аланін, аспарагінову кислоту), янтарну й молочну кислоти, інші низькомолекулярні органічні сполуки. Схожі результати були отримані неодноразово, у тому числі за використання інших джерел енергії, інших газів, їх різного співвідношення. Враховуючи, що нині у міжпланетному просторі знайдені десятки простих органічних сполук, можна цілком обґрунтовано припустити, що за мільярди років до виникнення життя концентрація органічних сполук на Землі місцями могла бути досить високою. Розчинені у воді, вони утворювали так званий «первинний бульйон».

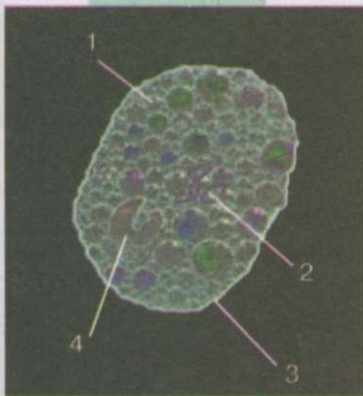
2. Синтез органічних полімерів, що здійснювався з наявних мономерів, став наступним етапом хімічної еволюції. Каталізаторами могли бути іони металів, а матрицею — частки глини. У результаті цього процесу в «первинному бульйоні» утворювалися різні поліпептиди і найпростіші ліпіди (*пригадайте, з яких двох компонентів побудовані жири*). Вони сполучалися один з одним, утворюючи складніші багатомолекулярні комплекси — **коацервати** (від лат. *коацерватус* — зібраний до купи), що мали вид крапель із чіткими межами (мал. 199). Коацервати вже були здатні поглинати різні речовини, в них відбувалися різні реакції, зокрема полімеризація мономерів, що надходили іззовні. За рахунок цих реакцій краплі могли рости — збільшуватися в об'ємі, а після досягнення критичної маси розмножуватися — дробитися на дочірні краплі. Авто-



Мал. 198. Схема лабораторної установки, яка імітувала умови первісної Землі під час абіогенезу.



Мал. 199. Коацерватні краплі в мікроскопі.



Мал. 200. Будова типового протобіонта: 1 — мікрочастки; 2 — РНК; 3 — зовнішня мембрана; 4 — впинання мембрани.

ром ідеї коацерватних крапель, якому вдалося одержати їх у лабораторних умовах ще в 20-х роках ХХ ст., був російський біохімік *Олександр Іванович Опарін* (1894—1980).

Найстійкіші коацерватні краплі завдяки передбіологічному добору діставали перевагу, яка забезпечила вдосконалювання світу молекул.

3. Утворення комплексів білків і нуклеїнових кислот, пов'язана з цим поява реакцій матричного типу, виникнення ліпідних мембран. Лише наявністю коацерватів, що складаються з білків і ліпідів, не можна пояснити, яким чином найбільш ефективно побудовані коацерватні краплі передають свої виняткові особливості з покоління в покоління. Для цього потрібний спадковий апарат. Вважають, що спочатку він будувався виключно з молекул РНК, які забезпечували всі матричні процеси, а ДНК виникла значно пізніше. Найімовірніше, що на певному етапі коацервати вступили у симбіоз із колоніями молекул, здатних до самовідтворення. Це й призвело до формування перших по-справжньому автономних біологічних систем — **протобіонтів** (від грец. *протос* — перший і *біос*) (мал. 200).

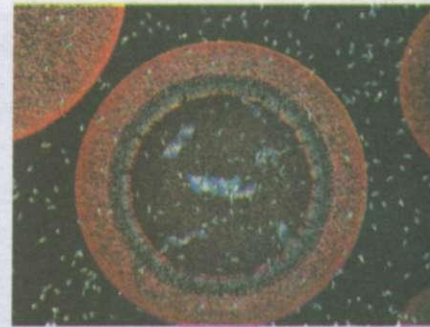
4. Поява перших біологічних систем і організмів. Саме поява протобіонтів, як вважають, завершила процес хімічної еволюції. Одні дослідники розглядають їх як неживі субстанції, інші — як дуже примітивні живі істоти зі своєю еволюцією. За час існування протобіонтів утворилися справжні ферменти, різко зросла стійкість матричного синтезу й почали утворюватися клітинні мембрани. Саме з них понад 3,5 млрд років тому виникли **архебіонти** (від грец. *археос* — стародавній і *біос*) — перші організми. Як вважається, вони вже мали три основних клітинних компоненти: клітинну мембрану, цитоплазму, генетичний апарат. В архебіонтів з'явилися електрон-транспортні ланцюги, виникли реплікація нуклеїнових кислот і біосинтез білка, які здійснювалися на основі генетичного коду.

У лабораторних умовах донині не вдалося синтезувати живих організмів, хоча є конкретні успіхи, які дають підставу вважати, що передбіологічна еволюція — це перспективна гіпотеза, що являє значний науковий інтерес. У пробірках з неорганічних речовин не тільки вдалося одержати амінокислоти і синтезувати з них найпростіші поліпептидні ланцюги, а й із цих поліпептидних ланцюгів і води створити **протоклітини** — частки сферичної форми (мал. 201). Ці протоклітини можуть збільшуватися у розмірах, ділитися, брунькуватися, мають ферментативну активність.

Концепція космічного виникнення життя на Землі. Наукова ідея, згідно з якою життя могло бути занесене з космосу (мал. 202), дістала назву концепції панспермії (від грец. *пан* — усі і *сперматос*). Думку про занесення життя з космосу, висловлену у 1865 р. Г. Е. Ріхтером, обґрунтував шведський астроном, фізик і хімік *Сванте Август Арреніус* (1859—1927). Він підрахував, що фотони світла тиснуть на частки, які за діаметром дорівнюють спорам бактерій. Завдяки цьому, спори з величезними швидкостями можуть переміщуватися у міжпланетному просторі. Припускалося, що спори потрапили на Землю з метеоритами або космічним пилом. Непрямим підтвердженням цього припущення є те, що спори бактерій можуть перебувати у стані спокою тисячоліттями, витримувати тривале перебування за температури абсолютного мінімуму ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), вони надзвичайно стійкі до радіації й ультрафіолетового випромінювання, вакууму та інших хімічних і фізичних впливів.

Надзвичайно стійкими до факторів космічного середовища є не тільки спори бактерій, а й деякі групи багатоклітинних тварин, наприклад *тихоходки* — окремий клас типу Членистоногі (мал. 203). У стані діапаузи ці мікроскопічні, схожі на ведмежат тваринки витримують: нагрівання до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ і охолодження до $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$, тиск близько 6000 атмосфер, що в шість раз перевищує тиск на дні найглибшого місця в океані, перебування у вакуумі, вплив найсильнішого рентгенівського випромінювання (570 000 рентген убиває тільки 50 % опромінених особин. Порівняйте: для людини смертельною дозою радіації є 500 рентген); перебування в чистому водні; висихання тривалістю понад 100 років; повну відсутність кисню.

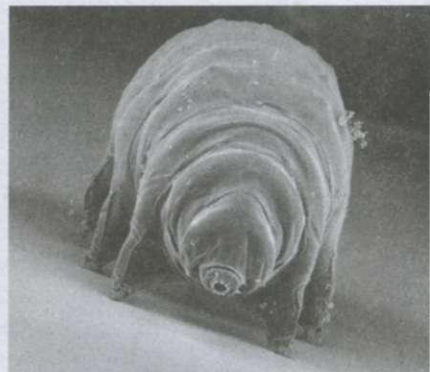
Проте детальні космічні та інші дослідження не дали безсумнівних фактів на підкріплення гіпотези панспермії. Будь-яких живих часток у космосі або на планетах Сонячної системи не виявлено. Досі немає даних, що підтверджують реальність занесення одноклітинних організмів метеоритами. Усі спори або бактерії, начебто виявлені у каменях позапланетного походження, виявилися звичайними земними видами. Та навіть якщо припустити, що перші організми потрапили на Землю з космосу й їм підійшли для життя умови, які були на Землі 3—4 млрд років тому, що вони розмножувалися і згодом започаткували органічну еволюцію й життя на планеті, все одно залишається відкритим питання про первісне виникнення життя й можливості передбіологічної еволюції.



Мал. 201. Загальний вигляд протоклітини.



Мал. 202. Таким чином прихильники панспермії уявляють занесення життя на Землю.



Мал. 203. Тихоходка — тварина, найбільше пристосована до екстремальних умов існування.

Більшість біологів, котрі займаються питаннями еволюції, вважають, що походження життя на Землі є результатом передбіологічної (хімічної) еволюції. Цей процес відбувався на Землі перед виникненням життя й полягав у появі нових, дедалі складніших хімічних сполук. У наш час хімічна еволюція залишається дуже правдоподібною науковою гіпотезою, яка в міру розширення досліджень у цій царині знаходить дедалі більше підтверджень.



Перевірте себе

1. У чому полягають істотні відмінності ідей самозародження та абіогенезу?
2. Що таке хімічна еволюція, які її головні положення?
3. Що являють собою протоклітини?
4. У чому обмеженість ідеї панспермії?



Як ви вважаєте?

1. Чому в лабораторних умовах й дотепер не вдалося синтезувати живі організми з неорганічних речовин і хімічних елементів?
2. Життя на планеті Земля — це унікальне чи відносно звичайне явище, що трапляється на інших планетах Всесвіту? Відповідь обґрунтуйте.



§ 45. ІСТОРІЯ ЗЕМЛІ. ПЕРІОДИ РОЗВИТКУ ЖИТТЯ

Терміни і поняття: радіоізотопний метод; геохронологічна шкала; еоми; ери; періоди; епохи.

Методи вивчення історії Землі. Історію Землі вивчають за допомогою комплексу різноманітних методів. Найважливішим у геологічних і палеонтологічних дослідженнях є послідовне визначення віку шарів землі від верхніх до нижніх (мал. 204). Найпоширенішим методом цих досліджень є **радіоізотопний** — за періодом радіоактивного напіврозпаду урану, що перетворюється на свинець. Співвідношення цих двох елементів у геологічній породі й визначає її вік. Точність методу висока — кілька мільйонів років. Зважаючи на вік стародавніх порід, помилка становить менше відсотка. Вік молодших шарів Землі визначають за співвідношенням інших радіоактивних елементів або за вмістом Карбону ^{14}C , який накопичується в органічних рештках (кістках і зубах хребетних та панцирах молюсків й інших безхребетних).

Дуже важливі для відтворення історії Землі й біологічні дані. Про часи панування прокаріотів і одноклітинних еукаріотів розповідають так звані біогенні осадові породи, що сформувалися із залишків тварин і рослинних організмів або продуктів їх життєдіяльності. За хімічним складом їх поділяють на карбонатні, кременисті й фосфатні породи, а також вугілля. Пізніші відрізки історії планети і життя на ній досліджують або за різноманітними відбитками, або за знахідками скам'янілих організмів чи їх твердих часток — фрагментів скелета, кісток, навіть окремих зубів (мал. 205), за якими можна відтворити зовнішній вигляд тварини чи рослини, вста-

Тема 2. Історичний розвиток і різноманітність органічного світу



Мал. 204. Залягання шарів землі різного віку (за віссю ординат — млн років).

новити її систематичну приналежність, визначити вік і період існування. Цей напрям дослідження, як ви вже знаєте, дістав назву *біостратиграфії*.

Короткий нарис історії Землі й життя на ній. Комбінація різноманітних методів у кінцевому підсумку дає змогу досить докладно відновити події, що відбувалися на нашій планеті мільярди років тому (табл. 18).

Абсолютний вік Землі й усієї Сонячної системи, визначений за співвідношенням ізотопів, становить близько 4,6 млрд років. З них ледь більше 1 млрд років припало на час безжиттєвого



Мал. 205. Википні рештки: а—в — відбитки стародавніх рослин; г — скам'янілі рештки стародавніх морських безхребетних, що утворюють окремий тип Плечснoгі; г' — викопний молюск амоніт; д — скам'янілий зуб мамонта.

Таблиця 18

Геологічні та біологічні події в історії Землі

Вік (млрд років)	Подія в історії Землі	Середовище		Прокаріоти			Еукаріоти			
		Безкисневе	Кисневе	Анаеробні	Фотосинтезуючі	Аеробні	Цянобактерії	Одноклітинні	Багатоклітинні	Безхребетні
0—0,5	Становлення основних груп хребетних тварин і насінних рослин									
0,5—1	Виникнення й еволюція багатоклітинних організмів									
1—1,5	Виникнення й еволюція еукаріотів, поява статевого розмноження									
1,5—2	Еволюція аеробних еукаріотів									
2—2,5	Розвиток аеробного фотосинтезу й утворення атмосфери, що утримує кисень									
2,5—3	Еволюція аеробних прокаріотів									
3—3,5	Анаеробні й фотосинтезуючі бактерії									
3,5—4	Хімічна еволюція									
4—4,5	Утворення океанів і материків									

Примітка. Рожевим кольором заповнені періоди повної переваги, світло-рожевим — часткової присутності, білим — відсутності.

існування нашої планети. Про це свідчить наявність у шарах Землі віком від 4,6 до 3,6 млрд років винятково магматичних порід. Таке доводить: у ті часи на Землі відбувалася активна вулканічна діяльність, а життя ще не існувало (мал. 206). Атмосфера була повністю позбавлена кисню й складалася з парів сірководню, аміаку, чадного газу, води. У ній постійно відбувалися грозові розряди. Інтенсивне ультрафіолетове випромінювання пронизувало не тільки гази, що огортали планету, а й верхні шари води. Під впливом цих факторів постійно синтезувалися органічні сполуки, які поступово накопичувалися й згодом утворили первинний бульйон.

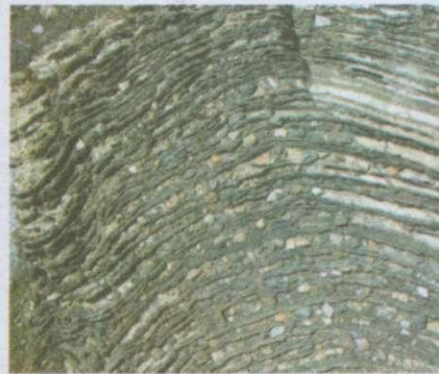
Тільки у шарах Землі віком порядку 3,5 млрд років стали з'являтися найдавніші осадові породи біологічного походження (мал. 207). Особливий інтерес викликають знахідки вуглецевих мінералів, у яких співвідношення ізотопів ^{12}C і ^{14}C дає підставу припустити наявність примітивного фотосинтезу. Крім того, у шарах осадових порід були виявлені сліди перших викопних мікроорганізмів, які в палеонтології прийнято називати мікрокопалинами (мал. 208). Вони містяться у прадавніх породах у такій великій кількості, що можна в конкретному шарі сантиметр за сантиметром відстежити зміну їх складу й таким чином установити, з якою швидкістю йшла еволюція. Вважається, що саме в інтервалі від 3,9 до 3,6 млрд років тому і відбувалася хімічна еволюція, яка спричинила появу протобіонтів. Із них згодом (3,5—3 млрд років тому) утворилися перші анаеробні прокариотичні організми — архебіонти, які є спільними предками усіх нині існуючих організмів.

Період наступного мільярда років (3—2 млрд років тому) можна назвати періодом царювання прокариотів. У його першій половині на Землі існували в основному гетеротрофні анаеробні бактерії, що живилися речовинами з первинного бульйону. Потім виникли хемотрофи й фотосинтезуючі бактерії. Останні здійснювали фотосинтез, який не супроводжувався виділенням кисню (пригадайте: нині існує безліч видів бактерій, у яких фотосинтез відбувається зовсім інакше, ніж у вищих рослин). Тільки наприкінці цього проміжку історії Землі масово з'явилися ціанобактерії (пригадайте, їх ще називають синьо-зеленими водоростями), у яких фотосинтез відбувався так само, як і у вищих рослин, за допомогою хлорофілу і супроводжувався виділенням кисню. Різке збільшення біомаси ціанобактерій змінило склад атмосфери, яка протягом 2—2,2 млрд років тому перетворилася з відновної, що містить аміак і сірководень, у кисневу окисну. Це призвело до масової загибелі анаеробних прокариотів.

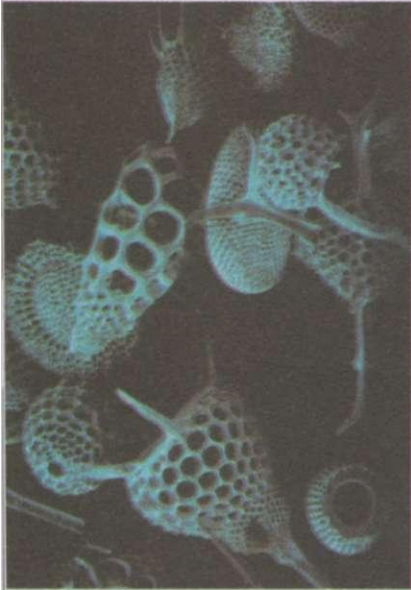
Наведені міркування — не вигадки вчених, а результат скрупульозного аналізу фактичного матеріалу, знахідок викопних мікроорганізмів і слідів їх життєдіяльності у вигляді відкладень (головним чином особливих форм вапняку), а також деяких мінералів, що містять сполуки Феруму.



Мал. 206. Вигляд земної поверхні у період формування первинного бульйону.



Мал. 207. Щільні шаруваті утворення в товщах вапняку є наслідком відкладання ціанобактерій та одноклітинних водоростей, що жили на Землі більш ніж мільярд років тому.



Мал. 208. Форамініфери — одна з груп одноклітинних організмів, що мають твердий скелет.

На наступному етапі (від 2 до 1 млрд років тому) відбулося різке збільшення кількості різноманітних аеробних прокариотів. У другій половині цього проміжку часу з'явилися еукаріоти і розвинулося статеве розмноження. Мимоволі виникає запитання: що дає вченим підставу вважати, що ці нові одноклітинні організми справді були саме еукаріотами, адже у мікрокопалинах не можна розгледіти будову клітини, побачити ядро або мітохондрії? Виявляється, розв'язати цю проблему зовсім нескладно — до кінця цього мільярда років мікрокопалини настільки збільшилися у розмірах, що стали порівнянними із сучасними одноклітинними еукаріотами (*пригадайте: об'єми клітин прокариотів і еукаріотів відрізняються у тисячі разів*).

Багатоклітинні організми — це продукт останнього мільярда років розвитку Землі. За період з 1 до 0,5 млрд років тому з'явилися багатоклітинні водорості й зародилося багато груп безхребетних тварин. Друга половина цього проміжку часу стала періодом розвитку хребетних тварин і судинних рослин.

Літопис історії життя на Землі. Історія Землі — не лише сукупність таких епохальних геологічних подій, як формування земного ядра, утворення літосфери, гідросфери й атмосфери, поява океанів і материків, а й більш окремі явища: зміни хімічного складу гідросфери й атмосфери, рух материків і океанів, коливання температури (потепління, похолодання). Кожна з таких подій призводила до масових вимирань живих організмів, а потім — до появи нових їх видів і груп. За цими подіями була побудована **геохронологічна шкала Землі** (табл. 19) — своєрідний календар геологів і палеонтологів. У ній історію життя на нашій планеті поділено на ряд проміжків часу від сотень тисяч до сотень мільйонів років, і кожний з них відображує певну геологічну або еволюційну подію.

Історію життя на Землі поділяють на два дуже великих нерівних за тривалістю проміжки часу — **еони**. Перший — **Докембрій** (його ще називають **первинним періодом**) охоплює величезний часовий відрізок від 3,6 до 0,6 млрд років і складається з двох ер — **Архею** (від грец. *археіос* — давній) і **Протерозою** (від грец. *протерос* — більш ранній і *зоє* — життя). В Археї на Землі жили головним чином одноклітинні організми, а в Протерозої вже з'явилися водорості й м'якотілі (позбавлені будь-якого твердого скелета) багатоклітинні тварини (мал. 209), які не залишили жодних слідів в осадових породах. Тому «первинний період» ще називають часом схованого життя.

Набагато більший інтерес для дослідження еволюції являє другий еон — **Фанерозой** (від грец. *фаерос* — явний і *зоє*). Це час існування багатоклітинних тварин і рослин, який розпочався з появи величезної кількості різноманітних молюсків та інших морських безхребетних з твердим панциром.

Таблиця 19

Геохронологічна шкала

Еон	Ера	Період	Епоха	Проміжок часу (млн років)	Характерні події
ФАНЕРОЗОЙ	КАЙНОЗОЙ	Четвертинний	Голоцен	Від 0,012 до нашого часу	Виникнення людини сучасного типу
			Плейстоцен	0,012 — 2,6	Виникнення видів сучасних ссавців і птахів
		Третинний		2,6 — 65,5	Утворення сучасних родів, родин, рядів птахів і ссавців, формування сучасної флори
	МЕЗОЗОЙ	Крейдовий		65,5 — 146	Вимирання динозаврів, поява перших приматів та розвиток квіткових рослин і комах
		Юрський		146 — 200	Панування динозаврів, поява перших птахів і перших покритонасінних рослин
		Тріасовий		200 — 251	Панування давніх плазунів, поява перших ссавців. Поширення голонасінних рослин
	ПАЛЕОЗОЙ	Пермський		251—299	Вимирання близько 95% усіх видів, що жили на той момент. Початок панування рептилій, поява голонасінних рослин
		Карбоновий		299 — 359	Поява перших рептилій, деревоподібних папоротей і літаючих комах
		Девонський		359 — 416	Поява перших амфібій, панування щелепоротих риб, поява лісів з мохів, плаунів і папоротей
		Силурійський		416 — 444	Вихід рослин і безхребетних на суходіл
		Ордовикський		444 — 488	Поява перших хребетних — безщелепних тварин і перших судинних рослин
		Кембрійський		488 — 542	Розвиток безхребетних, поява хордових
		ПРОТЕРОЗОЙ			600 — 2500
	ДОКЕМБРІЙСЬКИЙ	АРХЕЙ			2500 — 3600



Мал. 209. М'якотілі тварини Докембрію, які не залишили майже ніяких викопних решток.



Мал. 210. Хребетні тварини з твердим скелетом Фанерозою (Мезозойський період).

Численні викопні рештки у датованих шарах дали геологам змогу поділити цей відрізок історії життя на Землі на три ери, межі яких проходять найбільш значущими еволюційними подіями — глобальним вимиранням одних груп організмів і розвитком інших. Ери поділяють на **періоди**, а періоди — на **епохи**.

Палеозой (від грец. *палаіос* — прадавній і *зое*) і **Мезозой** (від грец. *мезо* — середній і *зое*) — дві перші ери Фанерозою (мал. 210), які ще називають **вторинним періодом**, — становлять 340 і 170 млн років відповідно. У цей проміжок історії розвитку Землі відбулася інтенсивна еволюція багатоклітинних тварин. У результаті її утворилися представники всіх сучасних типів і класів царств тварин і рослин. Еволюція чітко йшла від примітивних організмів до більш складних. Наприклад, перші хордові з'явилися на самому початку Фанерозою — у **Кембрійському періоді** близько 488 млн років тому, безщелепні рибоподібні — в **Ордовикському періоді** близько 440 млн років тому; щелепні риби й амфібії — у **Девонському періоді** близько 360 млн років тому, примітивні яйцекладні ссавці — у **Триасовому періоді** близько 200 млн років тому і птахи — у **Юрському періоді** близько 146 млн років тому.

Подібна ситуація спостерігається і з рослинами. Перші судинні рослини з'явилися в Ордовикському періоді 440 млн років тому, деревоподібні папороті панували на Землі на межі Палеозою й Мезозою — близько 220—200 млн років тому, розквіт голонасінних припав на Триасовий і Юрський періоди 200—140 млн років тому, а початок еволюційного піднесення квіткових рослин — на **Крейдовий період** близько 65 млн років тому.

Важливою подією цього історичного відрізка часу, що відіграла ключову роль для подальшої еволюції тварин і рослин, став вихід живих істот на суходіл. Спочатку це відбулося у **Силурійському періоді** (416 млн років тому), коли першопоселенцями стали примітивні судинні рослини й членистоногі (скорпіони й павуки), а потім — у Девонському (420—360 млн років тому) і **Карбоновому періодах** (360—300 млн років тому), коли суходіл заселили амфібії та рептилії.

Кайнозой (від грец. *каїнос* — новий і *зое*) — остання ера геологічної історії Землі, час розвитку сучасної флори і фауни. У цю еру максимального розвитку досягли ссавці, птахи, костисті риби, комахи і квіткові рослини.

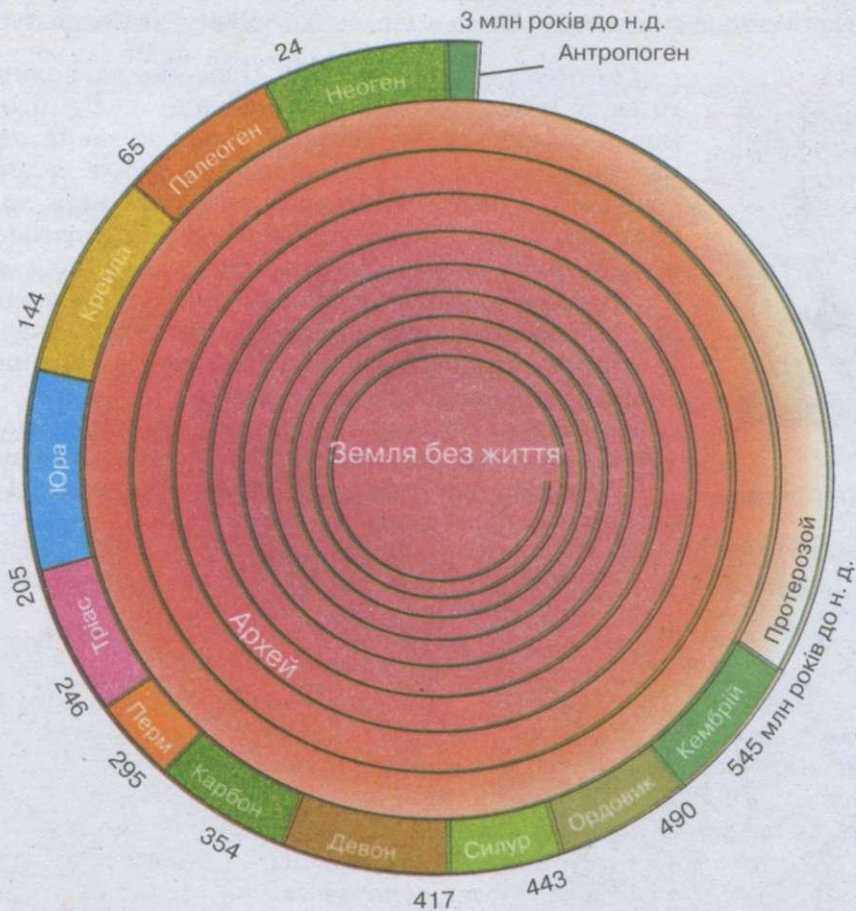
Прадавня частина Кайнозою, або **третинний період**, тривала від 66 до 3 млн років тому. У цей час утворювалися сучасні родини й роди птахів і ссавців. Нинішній етап розвитку Землі — **четвертинний період** — розпочався близько 3 млн років

Тема 2. Історичний розвиток і різноманітність органічного світу

тому. Саме у цей період часу утворилася більшість сучасних видів птахів і ссавців, з'явився вид *Homo sapiens* — людина розумна. Саме тому цей період ще називають **антропогеном** (від грец. *антропос* — людина і *генезіс*).

Отже, еволюція на нашій планеті відбувається дедалі швидшими темпами. Для того щоб на Землі зародилося життя, знадобилося від 1 до 1,5 млрд років, щоб з'явилися еукаріоти й виник статевий процес — це близько 1 млрд років. На те, щоб з'явилися перші багатоклітинні, пішло ще близько 800 млн років. Хребетні виникли через 600 млн, а ссавці — через 200 млн років. Саме тому геохронологічну шкалу краще уявляти не у вигляді драбини зі сходами різної висоти, а у вигляді спіралі, що розкручується (мал. 211).

Історію Землі відповідно до геологічних і еволюційних подій поділяють на ряд часових відрізків різної тривалості. При цьому в еволюції життя зазвичай виділяють два головних періоди: час схованого життя, коли еволюціонували одноклітинні організми, виникли багатоклітинні м'якотілі тварини і водорості, і набагато коротший період еволюції багатоклітинних вищих рослин і тварин з твердим скелетом.



Мал. 211. Геохронологічна шкала у вигляді спіралі.

Перевірте себе

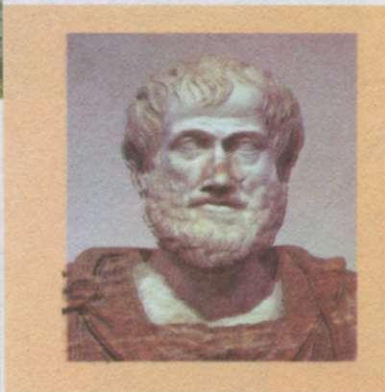
1. Яким чином за допомогою радіоізотопних методів визначають вік Землі або кісткових решток?
2. Що таке мікрокопалини?
3. Чому докембрійський еон називають часом схованого життя?
4. Яку еру вважають періодом розквіту птахів і ссавців?

Як ви вважаєте?

1. Чому кожна нова ера розвитку життя на Землі стає коротшою за попередню?
2. Чому четвертинний період ще називають антропогеном?

§ 46. СИСТЕМА ОРГАНІЧНОГО СВІТУ І ПРИНЦИПИ ЇЇ ПОБУДОВИ

Терміни і поняття: біологічна систематика; система органічного світу; штучна і природна системи; таксони; кодекси біологічної номенклатури.



Мал. 212. Арістотель.

Система органічного світу. Пізнання навколишнього світу неможливе без класифікації здобутої інформації. За відсутності системи упорядкування явищ і наукових фактів жоден найдужчий розум не зміг би розібратися навіть з кількома тисячами назв, тоді як сучасна наука оперує мільйонами їх (*пригадайте, скільки видів рослин і тварин відомо на нашій планеті й скільки органічних речовин синтезовано в лабораторіях*). Головним прийомом, який при цьому використовується, є групування явищ і фактів за їх подібністю й спорідненістю у супорядні категорії.

Питаннями класифікації організмів займається наука **біологічна систематика**. Її головне завдання — побудова **системи органічного світу** — сукупності видів організмів, які живуть або жили на Землі, класифікованої за певними принципами. Систематика, мабуть, — найбільш давня з біологічних наук. І це не випадково: систематику прийнято вважати початком будь-якої науки.

Системи органічного світу, побудовані у різні часи, істотно відрізняються. Найпершу класифікацію живих об'єктів розробив античний філософ **Арістотель** (384—322 рр. до н. д.). Його вважають родоначальником зоології. Незважаючи на те, що Арістотель класифікував лише 454 види тварин, розроблена ним схема не втрачала свого значення аж до часів К. Ліннея, який описав уже 4208 видів живих організмів.

Заслуга визначного шведського природодослідника **Карла Ліннея** (1707—1778) полягає у тому, що він не тільки розробив першу систему організмів, а й уперше сформулював поняття **вид** як «сукупність організмів, подібних між собою, як подібні діти одних батьків, і здатних давати плідне потомство». Учений запропонував позначати види бінарними (дво-

слівними) латинськими назвами: перше слово — назва роду, друге — назва виду. Таким чином за кожним видом закріплюється одна латинська назва, що складається з двох слів. Ця назва застосовується у будь-якій країні незалежно від місцевих назв. Наприклад, заєць білий був названий Ліннеєм *Lepus timidus*. Слово *Lepus* (заєць) — назва роду, а *timidus* (боязливий) — назва виду (мал. 214, а).

Інший видатний учений — німецький і російський натураліст, дійсний член і професор Петербурзької Імператорської академії наук *Петер Симон Паллас* (1741—1811) описав близький вид, який назвав *Lepus eugoraicus*, тобто заєць європейський (мал. 214, б). (Зверніть увагу: українською мовою за цим видом закріплено назву заєць сірий). Із назв цих ссавців випливає, що мова йде про два близьких види, які відносяться до одного роду.

Ще одне важливе нововведення Ліннея полягало у створенні ієрархічної системи чотирьох супідрядних категорій: вид, рід, ряд і клас. При цьому клас включав кілька рядів, ряд — родів, рід — видів. Таксони вищого за рід рівня відтоді прийнято іменувати одним латинським словом. У сучасній систематиці в кожному з царств налічується не менше 12 ієрархічно підпорядкованих таксонів (наприклад, представників типу Хордові класифікують ще й на підтипи, надкласи, підкласи, надряди, підряди і т. ін.). Така детальна ієрархія необхідна, щоб максимально точно відобразити спорідненість організмів.

На відміну від штучної системи Ліннея, що ґрунтувалася на подібності організмів за одиничними ознаками, нині у біології використовують природну систему, основу на філогенетичній спорідненості організмів. Застосовуючи її в сучасній



Мал. 213. К. Лінней.



Мал. 214. Близькі види ссавців: а — заєць білий; б — заєць сірий.



Мал. 215. Пам'ятник відкриттю структури молекули ДНК у Воронежі.

біології, подібність організмів доводять не лише за комплексом різноманітних ознак чи даних палеонтології, а й за допомогою досліджень мінливості молекулярних структур: білків і ДНК (мал. 215).

Принципи побудови системи органічного світу. Перший принцип — система органічного світу повинна бути філогенетичною, мати під собою генетичну основу (*Дарвін висловив цю ідею просто: «Будь-яка справжня класифікація є генеалогічною»*), з максимальною повнотою відображати еволюційні зв'язки між організмами. На відміну від штучних систем, яких може бути безліч, природна система органічного світу, що ґрунтується на спорідненні організмів, — лише одна.

Другий принцип — ієрархічності. Згідно з ним систематичні категорії (їх прийнято називати **таксонами** від лат. *takson* — оцінювати) нижчого порядку об'єднують у категорії вищого порядку. При цьому таксони низького порядку характеризуються особистими ознаками, а високого порядку — загальними, об'єднуючими. У систематиці тварин прийняті такі основні таксони: тип — клас — ряд — родина — рід — вид. У систематиці рослин, грибів і бактерій використовують як основні таксони: відділ — клас — порядок — родина — рід — вид.

Третій принцип — усі назви й описи таксонів мають подаватися за суворими правилами, чітко прописаними у спеціальних міжнародних кодексах **біологічної номенклатури** (мал. 216), які у біології мають силу закону. Недотримання їх призводить до того, що ті самі вид, рід, родина тощо організмів можуть називатися по-різному й учені просто перестануть розуміти, хто з яким об'єктом працює. Важливим є правило пріоритету, згідно з яким перша назва, дана з дотриманням правил Кодексу, є загальнозживаною, усі наступні — тільки синонімами. Принципи біологічної номенклатури єдині для всіх груп організмів: тварин, рослин, грибів, бактерій, навіть вірусів, хоча відрізняються багатьма деталями.

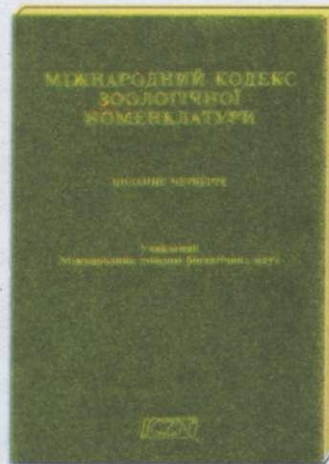
Сучасна система органічного світу. Незважаючи на досягнення у царині побудови природної системи органічного світу, її вдосконалювання є неперервним процесом. З кожним роком ученим стають відомі дедалі більше видів сучасних і викопних організмів. Це веде до появи не лише нових родів, родин, рядів, а й навіть класів і типів. Виявляється, що межі між царствами еукаріотів не такі й чіткі, що існує безліч різноманітних організмів, які водночас мають ключові ознаки рослин і тварин (*пригадайте евглену зелену*) або тварин і грибів. Не випадково за різними системами органічного світу виділяють від 4 до 26 царств, від 33 до 132 типів, від 100 до 200 класів, а загальну кількість видів

живих істот оцінюють у кілька мільйонів. Нині усі живі організми об'єднують в імперію **Клітинні**. Спільною особливістю їх будови є клітинна структура. Імперію поділяють на два надцарства: **Доядерні** (прокаріоти) і **Ядерні** (еукаріоти) (мал. 217). Основним критерієм, за яким організми поділяють на ці дві великі групи, є будова клітини. Для еукаріотичних організмів характерна наявність у цитоплазмі значної кількості органел, відсутніх у прокаріотів (*пригадайте, як в еукаріотів побудована цитоплазма*). А генетичний апарат у них сформований у вигляді ядра, в якому перебувають хромосоми. Крім того, еукаріотичним організмам властиве розмноження клітин шляхом непрямого поділу — мітозу, а деяким одноклітинним і всім без винятку багатоклітинним еукаріотам — статеве розмноження й редукційний поділ — мейоз.

Надцарство Доядерні зазвичай поділяють на дві групи: царство **Археї** (від грец. *археос*) і царство **Еубактерії** (від грец. *еус* — справжній). До першого відносять зовсім примітивно побудовані навіть для бактерій мікроскопічні одноклітинні істоти. За молекулярною будовою і хімічним складом клітин вони відрізняються від усіх інших живих істот. Можливо тому їх відносять до **екстремофілів** (від лат. *екстремум* — крайній і грец. *філео* — люблю), тобто організмів, для яких природним є існування в умовах, граничних для інших живих істот. Різні види архей не просто витримують, а спокійнісінько живуть у джерелах з температурою +45 — +113 °С, у кислотному середовищі (рН 1-5); у 25—30-відсоткових розчинах NaCl, в умовах мінімальної вологості й постійного дефіциту води. Крім того, серед представників цього царства є такі, що розмножуються за температури нижче нуля й витримують тиск у 700 атмосфер. Вважають, що археї дуже стародавні, виникли на Землі 3,5 млрд років тому. Більшість видів є автотрофами, в яких відбувається хемосинтез. Серед них практично немає паразитів і збудників хвороб. Деякі вчені вважають, що археї — наймасовіші організми, що колись існували на нашій планеті.

Царство Еубактерії часто поділяють на дві групи: **бактерії** та **ціанобактерії** (від грец. *ціано* — блакитний). Власне бактерії — гетеротрофні або хемотрофні організми, а ціанобактерії — прокаріотичні фотосинтетичні, у клітинах яких утримуються пігменти, гомологічні пігментам рослин, у тому числі й хлорофіл. Фотосинтез у них відбувається з виділенням кисню. Завдяки цій особливості їх ще називають **синьо-зеленими водоростями**. Вважають, що завдяки ціанобактеріям, що розмножилися, близько 2 млрд років тому на Землі виникла киснева атмосфера. Окремі клітини ціанобактерій мікроскопічного розміру — не більше 10 мкм, але вони здатні утворювати колонії в кілька метрів. Саме ціанобактерії формують синьо-зелену масу в товщі й щільну плівку на поверхні води під час «цвітіння» наших водойм у літню спеку.

Надцарство Ядерні поділяють на три царства (мал. 217, 218). Царство **Рослини** — нерухливі фотосинтезуючі організми, клітини яких мають



Мал. 216. Офіційне видання Кодексу зоологічної номенклатури українською мовою.



Мал. 217. Систематична ієрархія на рівні надцарств і царств живих істот.

щільні оболонки й постійну форму, а цитоплазма містить пластиди, зокрема зелені, — хлоропласти. Це царство зазвичай поділяють на два підцарства — *Нижчі* й *Вищі рослини*. Нижчими рослинами (їх ще називають *Нижчими споровими* рослинами) є водорості, утворені різними за походженням еволюційними групами тварин. (Пригадайте, як побудовані тіла і клітини зелених, червоних, діатомових і бурих водоростей.) Головна відмінність вищих рослин від водоростей полягає не в тому, що їх тіло побудоване не з однієї, як у багатьох водоростей, а з мільйонів і мільярдів клітин, а в тому, що у вищих рослин тіло поділене на органи, а клітини диференційовані на тканини. Тому, якою великою не була б водорість (пригадайте: *бурі водорості можуть досягати сотні метрів завдовжки*), її тіло побудоване з однакових клітин, у ньому відсутні провідна система й органи. Крім того, клітинні оболонки водоростей у ряді випадків формують не тільки клітковина, а у багатьох вона навіть відсутня (пригадайте, у панцир з яких сполук закуті клітини діатомових водоростей), а самі клітини можуть мати скорочувальні вакуолі й органи руху — джгутики.

Вищі рослини мають провідну систему й органи тіла, клітини в них збираються в тканини. Їх поділяють на два надвідділи. *Вищі спорові рослини*



Мал. 218. Ієрархія груп організмів найбільших царств — Рослини і Тварини.

Тема 2. Історичний розвиток і різноманітність органічного світу

(мохи, плауни, хвощі, папороті) розмножуються спорами й мають тривалу стадію гаметофіта. **Насінні рослини** (голонасінні й покритонасінні) розмножуються виключно насінням, а стадія гаметофіта в них редукована.

До царства **Тварини** входять рухливі гетеротрофні організми. Їх клітини позбавлені фотосинтетичного апарата й клітинних оболонок, тому вони можуть змінювати свою форму. Одноклітинні тварини розмножуються поділом клітини навпіл, багатоклітинні — за допомогою гамет. Поділяють це царство на два підцарства: **Одноклітинні**, або **Найпростіші**, й **Багатоклітинні**. Одноклітинні тварини за багатьма своїми ознаками не відрізняються від деяких груп водоростей, тому чимало вчених розглядають водорості, найпростіших і навіть деякі примітивні гриби як окреме царство **Протисти** (мал. 219). Тіло багатоклітинних тварин побудоване з тканин. Виняток становлять лише представники типу **Губки**, у яких немає тканин і органів, а клітини одного типу можуть перероджуватися у клітини іншого. Саме тому їх зазвичай відокремлюють від інших багатоклітинних тварин. Усім іншим багатоклітинним тваринам властива диференціація клітин, за якою клітини можна віднести до чотирьох типів тканин (*пригадайте, що це за тканини*). Зародки багатоклітинних тварин, починаючи з плоских червів, складаються з трьох зародкових шарів клітин. У всіх них з'являються внутрішні органи, з яких формуються системи органів.

Царство Гриби. Ці організми поєднують у собі особливості рослин і тварин. Через щільну клітинну оболонку вони нерухливі й відтак нагадують рослин. Проте хімічним складом своїх клітин, зокрема тим, що їх оболонки побудовані з хітину — складного полісахариду, з якого утворюється кутикула членистоногих, вони схожі на тварин. Відсутність фотосинтетичного апарата й гетеротрофний тип живлення також зближує їх із тваринами, але розмноження спорами — знову ж таки зі споровими рослинами. У грибів особлива клітинна будова. Їх тіло — гіф, по суті, є однією довгою клітиною, розбитою на секції, в яких зазвичай міститься по два рівноцінних ядра. Сплетіння гіфів утворюють плодові тіла їстівних грибів. Гриби у своїй більшості — багатоклітинні організми. Сучасні одноклітинні гриби — дріжджі — мають вторинне походження, тому що виникли від багатоклітинних грибів. (*Пригадайте, яким терміном називають еволюційний процес спрощення організації.*) Гриби поділяють на нижчі й вищі. Нижчі гриби так відрі-



Мал. 219. Представники групи протистів, яку останнім часом вважають окремим царством живих істот: *а* — амеба звичайна; *б* — колоніальна інфузорія перетрихій; *в* — зелені водорості; *г* — бурі водорості.

няються від вищих (аскоміцетів і базидіоміцетів), що деякі дослідники і грибами їх не вважають, відносячи до протистів.

Найважливішим завданням біологічної науки є створення системи органічного світу, яка являє собою всю різноманітність видів живих організмів, класифікованих за принципом філогенетичного споріднення.



Перевірте себе

1. Що слід розуміти під системою органічного світу?
2. Чим штучна система відрізняється від природної?
3. Яка наука займається питаннями побудови системи органічного світу?
4. Для чого необхідні кодекси біологічної номенклатури?
- 5*. На які великі таксони поділяють прокаріотів?
- 6*. Що це за організми — протисти?



Як ви вважаєте?

1. Зрозуміло, чому систематику вважають початком науки, але тоді чому багато хто з учених називають її одночасно початком і кінцем будь-якої науки?
2. Чому штучних систем можна створити скільки завгодно, а природна може бути лише однією?
- 3*. Чому більшість учених залишаються прихильниками традиційної системи еукаріотів, у якій виділено три царства, не підтримуючи виділення протистів?

§ 47.

ПЕРШІ КРОКИ ЕВОЛЮЦІЇ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ПРОКАРІОТІВ, РОСЛИН І ГРИБІВ

Терміни і поняття: спільний предок живих організмів; теорія симбіогенезу; риніофіти; коеволюція.

Спільний предок живих організмів і еволюція прокаріотів. Вважають, що вже від 3,8 до 3,6 млн років тому на завершальному етапі передбіологічної еволюції утворилися архебіонти — найперші організми, які й стали **спільними предками живих організмів**, які нині живуть на Землі. Населяли вони дно невеличких водойм або мілководні узбережжя. Живилися готовою органічною речовиною, раніше синтезованою у ході хімічної еволюції. Цілком імовірно, що ці найдавніші організми вже мали клітинну будову й розмножувалися поділом клітини навпіл. Є всі підстави припускати, що їх зовнішня клітинна мембрана була двошаровою й її оточувала щільна оболонка. Джерелом енергії слугував гліколіз, а універсальним переносником енергії — АТФ. Генетична інформація зберігалася в ДНК, побудованій з чотирьох нуклеотидів (А, Г, Т, Ц). Генетичний код архебіонтів становив 64 триплетти, у яких було закодвано 20 основних амінокислот. Генетична інформа-