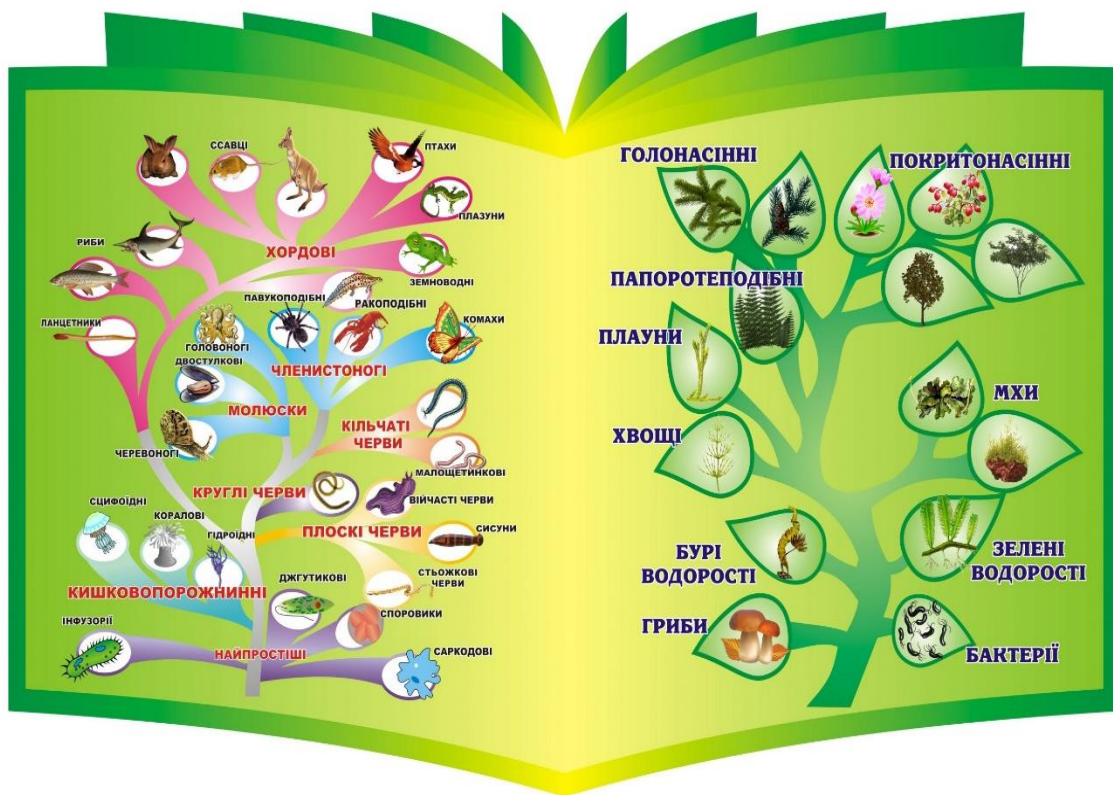


Л. П. КУЗЬМЕНКО

# ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ



Ніжинський державний університет  
імені Миколи Гоголя

**Л. П. КУЗЬМЕНКО**

# **ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ**

*Навчально-методичний посібник*

Ніжин – 2023

УДК 57.09(075.8)  
К89

Рекомендовано Вченою радою  
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя  
(НДУ ім. М. Гоголя)  
Протокол № 7 від 26.01.2023 р.

**Рецензенти:**

**Лобань Л. О.** – доцент кафедри біології Ніжинського державного університету ім. М. Гоголя, кандидат біологічних наук;

**Шовкун Т. М.** – доцент кафедри географії, туризму та спорту Ніжинського державного університету ім. М. Гоголя, кандидат географічних наук

**Кузьменко Л. П.**

К89 Історія розвитку органічного світу: навчально-методичний посіб. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2023. 60 с.

Навчально-методичний посібник призначено для студентів біологічних та географічних спеціальностей ННІ природничо-математичних, медико-біологічних наук та інформаційних технологій, а також може бути використаний учителями та учнями гімназій і ліцеїв із поглибленим вивченням біології.

**УДК 57.09(075.8)**

© Л. П. Кузьменко, 2023  
© НДУ ім. М. Гоголя, 2023

## ПЕРЕДМОВА

*Шановні студенти!*

*Сьогодні під час російсько-української війни ми з вами разом маємо дбати про нашу Україну, боронити її та пришвидшувати нашу Перемогу. Варто пам'ятати і про те, що відбудовувати і сприяти процвітанню нашої країни мають люди освічені, які прекрасно розуміються на подіях сьогодення та вміють критично аналізувати події минулих часів.*

*Даний посібник допоможе Вам краще розібратися у досить непростих питаннях біологічної науки, а саме в питаннях історії та розвитку органічного світу на Землі. Варто зазначити, що раніше більшість скептиків вважали, що відповіді на питання щодо походження життя, початкових етапів його розвитку та інших, дати науковцям не до снаги. Проте це не так. Сьогодні більшість запитань мають досить чіткі відповіді, підтверджені низкою беззаперечних наукових фактів.*

*У навчально-методичному посібнику розкриті питання і розглядаються під час вивчення навчальних дисциплін: «Еволюційна біологія», «Зоологія», «Ботаніка і мікологія», «Геологія» освітнього рівня бакалавр. Кожен біолог чи географ під час навчання часто почуває себе у ролі детектива, який повинен розібратися чому та як розвивалося життя на Землі. Цей шлях пізнання доволі тернистий і непростий. Даний посібник допоможе краще розібратися у подіях глибокої давнини.*

*Для зручності посібник структурований за окремими темами і підтемами, має низку ілюстрацій, для кращого сприйняття матеріалу. Після викладення кожної теми подано посилання на сайти, де можна детальніше прочитати чи переглянути матеріал в Інтернеті.*

*Усі зауваження та побажання щодо посібника прошу надсилати на електронну адресу: [kuzmenko.lp2017@gmail.com](mailto:kuzmenko.lp2017@gmail.com).*

## Походження життя на Землі *Історичний екскурс вивчення питання*

### *Гіпотеза креаціонізму*

Наука не в стані заперечити ідею божественного сотворіння Всесвіту. За цією гіпотезою, життя виникло в результаті надприродної події у минулому. *Віра визнає речі, які не мають наукових доказів.*

Процес божественного творіння світу розуміється як такий, що мав місце *один раз* і тому недоступний для спостереження. Цього досить щоб винести це за рамки наукового дослідження. Наука займається такими явищами, які підлягають спостереженню, а тому ця гіпотеза ніколи не зможе бути *ні доведена, ні спростована.*

### *Історія розвитку і формування гіпотези самозародження життя (абіогенезу)*

Наші давні пращури навіть не підозрювали, що питання про походження живого з неживого може бути серйозною проблемою для нащадків. Для них все довкола було живим: сонце і повітря, річки і гори, море і хмари. Вчені Античності та Середньовіччя не бачили принципової різниці між живим та неживим.

Гіпотеза про самозародження життя була поширена ще у давньому Китаї, Вавилоні, Єгипті в якості альтернативи креаціонізму.

Аристотель писав, що жаби і комахи з'являються з вологого ґрунту, інші автори (Демокрит, Емпедокл) стверджували, що у стоячих водоймах зароджуються черви і водорості, а у зіпсованому м'ясі – мухи, на підводному камінні та днищах кораблів – моллюски. Потужна «животворна сила» пронизує весь світ, вона і примушує неживу матерію породжувати живу. Це вчення – віталізм – не протирічило біблійній версії космогенезу.

У XVII ст. вчений **Ван Гельмонт** (1579-1644) описав експеримент у якому, на його думку, за три тижні він створив мишей (рис. 1). Для цього він використав брудну сорочку, темну шафу і пшеницю. Обов'язковим компонентом у процесі виникнення мишей Гельмонт вважав людський піт. На той час це був науковий експеримент, звісно ніхто не спостерігав і відповідно не бачив, як миші знайшли зручне місце для розмноження.

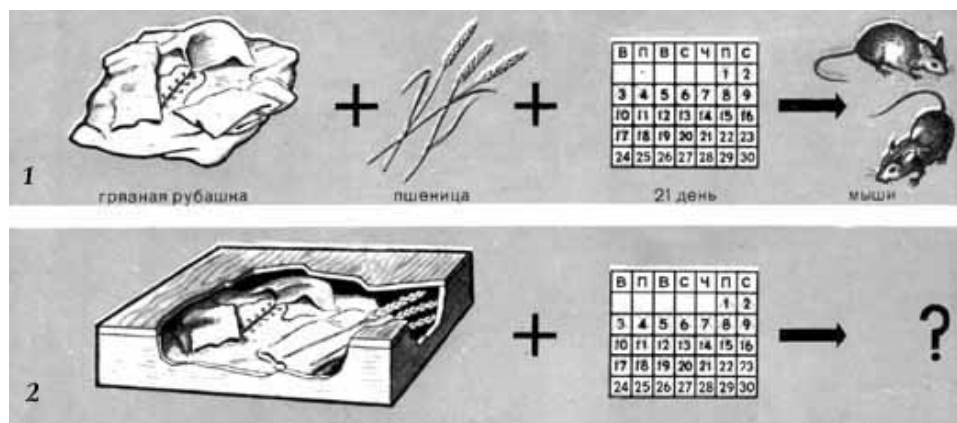


Рис. 1. Експеримент Ван Гельмонта

Першим у самозародженні живого засумнівався італієць **Франческо Реді**, стверджуючи що живий організм походить від іншого живого організму. У 1668 р. Ф. Реді провів геніально простий дослід, який заперечував самозародження життя. Він помістив у скляні банки мертвих змій (рис. 2), одні банки лишалися відкритими, а інші він закритив серпанком. Відповідно в одні банки мухи залітали, відкладали яйця і розвиток личинок відбувався за сприятливих умов. А у банках закритих серпанком, яйця мухи відклали на серпанок і відповідно ні личинки, ні мухи не з'явилися. Так просто, вперше, було екпериментально доведено, що мухи не самозароджуються, а розмножуються.

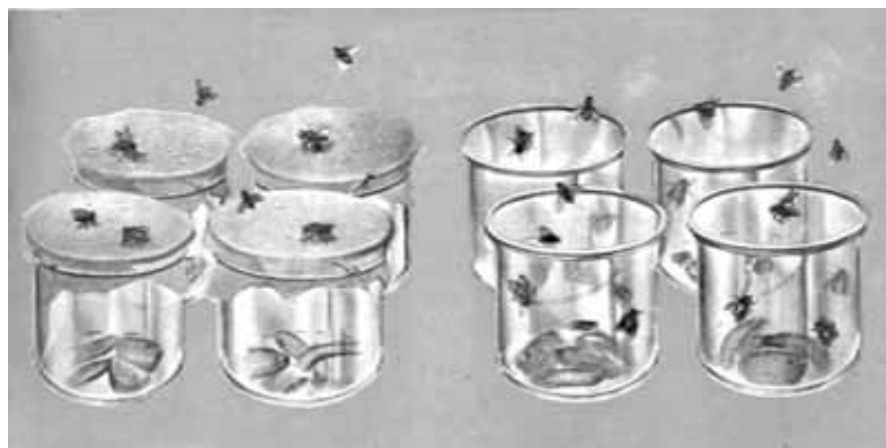


Рис. 2. Дослід Франческо Реді

У XVIII ст. теорію самозародження життя захищали віталісти: Г. Лейбніц, Ж. Бюффон, Дж. Нідхем. Допускали самозародження життя Е. Дарвін (дід Чарльза Дарвіна), Ж. Ламарк.

Винайдення мікроскопу відкрило мікросвіт. **Дж. Нідхем** (ірландський абат) прокип'ятив м'ясний бульйон у закритій посудині і через деякий час там були виявлені мікроорганізми, бульйон став мутним. Здавалося, самозародження бактерій було доведено.

Проте, італійський абат, математик та натураліст *Ладзаро Спалланцані* прокип'ятив м'ясний бульйон близько 1 години і запаяв витягнуте горло колби. У *запаяній колбі* мікроорганізми не виникали, бульйон не мутнів.

Віталісти висловили припущення, що тривале кип'ятіння вбиває «життєву силу», яка не може проникнути у запаяну колбу.

Наукова суперечка між абатами мала і практичну користь. Про досліди Спалланцані дізнався французький повар Ніколя Аппер. Він зовсім не розумівся на мікроорганізмах, походженні життя, віталізмі, проте він гарно розумівся на м'ясних підливах і бульйонах, які Спалланцані використовував у якості поживного середовища. Саме в цей час Наполеон був стурбований питанням постачання армії харчами. Військова кухня вимушена була вести за собою цілі стада тварин, грабувати населення, а це на думку воєначальника ненадійні та незручні способи. На прохання Наполеона була оголошена премія у 12 тис. франків (досить солідна на той час сума) тому, хто винайде спосіб тривалого зберігання продуктів харчування для військових. І Аппер вирішив її отримати. Повар використав ідею Спалланцані, приготував печеню, прокип'ятив і поклав у чисту банку та добре її закрити. *Так і були винайдені консерви, а їх винахідником вважається Ніколя Аппер.* А ми маємо пам'ятати, що люди з практичною кмітливістю з будь-якого теоретичного знання можуть мати зиск, коли звичайно, ці знання базуються на реальних законах природи.

Суперечки навколо гіпотези самозародження життя розгорілися з новою силою після виходу у світ роботи (1859 р.) французького вченого **Ф. Пуше**. Він повторив досліди своїх попередників і наполягав на тому, що самозародження мікроорганізмів можливе.

У цьому ж році французька академія наук призначила *премію* за спробу по новому висвітлити питання про походження життя. У 1862 р. цю премію отримав **Луї Пастер**. Пастер провів хитромудрий експеримент, який доводив, що ніякої життєвої сили немає, а мікроорганізми – просто розмножуються. Цей дослід (рис. 3), продемонстрований у паризькій Академії наук під час відомого диспуту з Пуше, увійшов у шкільні підручники усіх країн. Пастер запропонував не запаювати прокип'ячений бульйон, а сполучити колбу з тонкою S-подібно зігнутою трубкою з відкритим носиком. Якщо життєва сила є, то вузька трубка не завадить їй проникнути до бульйону. Якщо ж такої сили немає, то повітря з мікроорганізмами осідатиме на згині скляної тонкої трубки, і бульйон залишатиметься стерильним. Опонент Пастера Ф. Пуше стверджував, що мікроорганізми у бульйоні все одно з'являться.

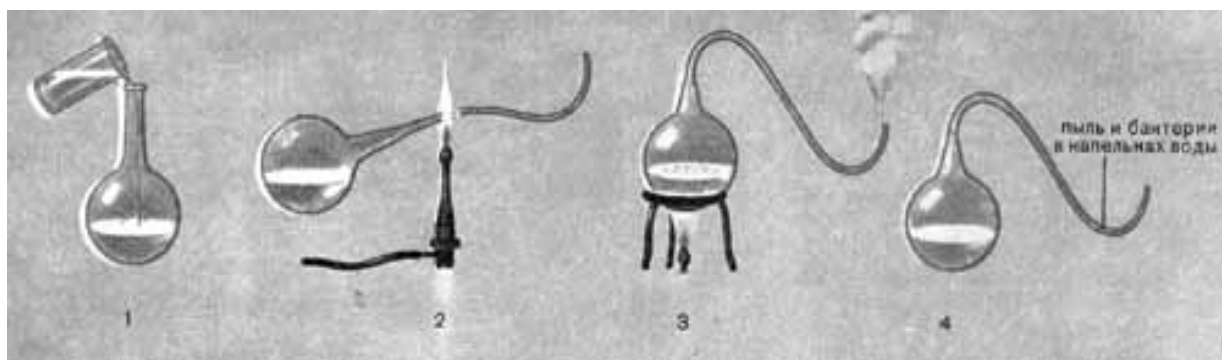


Рис. 3. Дослід Луї Пастера

Пуше на цей диспут не прийшов. І всі відповідно, переможцем визнали Л. Пастера. Отже, науковці переконалися, що тільки живе породжує живе.

Результат диспуту задовольнив усіх, крім ... самого Л. Пастера. Річ у тім, що у хитромудрих пастерівських колбах, як не кип'яти бульйон, якими тонкими не роби трубки, мікроорганізми все таки з'являлися. Не повинні були, проте з'являлися, і Пастер про це знав. Хоча поява мікроорганізмів суперечила здоровому глузду. Під час диспуту Пастер не зізнався у своїх сумнівах, і впродовж наступних 20 років намагався розгадати цю загадку. І розгадав. З'ясувалася що справа в мікроорганізмах, з якими працював Пуше. Це була сінна паличка, спори якої гинуть за температури 120 °С, кип'ятіння ці спори не знищує. І щоб собі довести власну перемогу, Пастеру довелося винайти *автоклав*, апарат для стерилізації з великим тиском і температурою. Отже, результатом історичного диспуту між Пуше і Пастером було не тільки доведення відсутності життєвої сили, а й винайдення автоклаву. Про користь першого можна сперечатися, а ось автоклавом люди активно користуються і сьогодні.

Невід'ємна властивість науки – створювати собі проблеми. З віталізмом було покінчено, проте усі дивіденди дісталися не науці, а церкві. Живе не може самозароджуватися. Прекрасно. То як же виникло життя? Одне з двох: або життя існувало вічно (цю точку зору поділяв згодом В.І. Вернадський), або створене Богом (так вважав і сам Л. Пастер). Уявити собі вічність важкувато, а ось ідея божественного творіння проста і зрозуміла кожному.

Нелегке завдання постало перед вченими: не можна не визнавати правоту Л. Пастера, проте і використовувати надприродні сили для пояснення природних процесів не хотілося. І тому, після спростування гіпотези самозародження, вченим довго і наполегливо довелося доводити можливість самозародження життя, не тут і не зараз, а дуже давно, і не впродовж години-другої, а за мільйони років на первісній Землі.



## ***Гіпотеза панспермії***

Єдиним виходом із ситуації була поява нової гіпотези, яка б пояснювала походження життя по-іншому. Саме такою і стала гіпотеза панспермії. Панспермія (з грецької «пан» – спільність, «сперма» – сім'я) – гіпотеза про вічність життя у Всесвіті.

Вперше гіпотезу панспермії висунув німецький хімік **Ю. Лібіх**, який штучно синтезував сечовину. За гіпотезою панспермії життя існує вічно у Всесвіті та переноситься з планети на планету. Прихильником цієї гіпотези був перший президент Академії наук України **В. Вернадський**.

Особливо активно розробляв гіпотезу панспермії шведський вчений хімік і фізик **С. Арреніус** (*лауреат Нобелівської премії у галузі хімії, 1903 р. за теорію електролітичної дисоціації*). Він вважав можливим перенесення спор мікроорганізмів світловим потоком.

Причина схильності хіміків до гіпотези панспермії у тому, що багато ферментів живих організмів містять речовину *молібден*, якого на землі мало, а у космосі є молібденові зірки.

У 1969 р. в Австралії поблизу міста Мурчисон впав метеорит. Американські та європейські дослідники вивчили і запевнили, що до складу цього метеориту входять урацил та ксантин, азотисті основи які є в РНК та ДНК живих організмів. Дослідники вважають, що ці речовини неземного походження.

Фахівці американського космічного агентства знайшли амінокислоту гліцин, яку організми використовують для синтезу білкових молекул, у пилу хвоста комети Вільда-2, що було зібрано в ході спеціальної місії *Nassa stardust*. Під час місії спеціальний космічний апарат займався збором космічного пилу. Місія *Stardust* була запущена в 1997 р., у 2004 р. космічний зонд *Stardust* зблизився з кометою Вільда-2, пролетівши через її хвіст. Під час польоту зонд зібрав часточки матерії в спеціальній контейнер, і повернувся на Землю в січні 2006 р.

Гіпотеза панспермії не дає відповіді на запитання як виникло життя. Вона просто переносить вирішення цього питання і воно лишається відкритим. Добре, життя на Землю було занесено з Космосу. А як воно виникло там? Відповіді немає.

## ***Історія розвитку і формування гіпотези самозародження життя (продовження)***

Результати блискучих дослідів Л. Пастера завдали поглядам про самозародження, здавалося б, смертельного удару, проте, у 20–30 р. ХХ ст. наука знову повернулася до ідеї самозародження з урахуванням критики абіогенезу у ХІХ ст.

*Самовільне зародження життя неможливе у сучасних умовах, проте воно могло відбутися у далекому минулому, коли умови на Землі були зовсім іншими.*

Радянський біохімік **Олександр Опарін** у 1924 р. опублікував роботу «Походження життя». Виходячи з теоретичних міркувань, академік О. Опарін виділив такі основні етапи абіогенного синтезу:

1 етап – утворення білків.

2 етап – утворення коацерватів, це ще не живі істоти, а їх попередники – пробіонти (лише ззовні схожі з живими істотами).

3 етап – еволюція надмолекулярних систем: утворення ферментів → утворення АДФ і АТФ → утворення мембран → розвиток координованих механізмів відтворення за матричним принципом (редуплікація).

Системи з вдало працюючою послідовністю нуклеотидів у нуклеїновій кислоті можна вважати живими. Отже, *виникнення здатних до самовідтворення білково-нуклеїново-ліпоїдних відкритих систем і стало межею переходу від неживого до живого, до якісно нової форми існування матерії, яку ми називаємо життям.*

На думку Опаріна, в океанах поступово накопичилися органічні речовини і утворився «первісний бульйон». У такому «бульйоні» могло виникнути життя.

Думки Опаріна у 1929 р. підхопив і розвинув англійський вчений **Дж. Холдейн**. Але його погляди, у той же час, суттєво відрізнялися від поглядів Опаріна. Холдейн допускав існування життя до виникнення перших живих клітин. Перші живі об'єкти – це великі молекули, які були синтезовані при дії сонячного світла і здатні до розмноження за сприятливих умов. За Холдейном життя, напевно, протягом багатьох мільйонів років знаходилося на вірусній стадії, перш ніж сформувалися перші клітини. Тобто, до виникнення живих клітин, життя існувало на доклітинному рівні. Ідея доклітинної форми життя підтримується низкою вчених.

Варто зазначити, що поява великої кількості робіт, присвячених питанню походженню життя на Землі, викликала інтерес у вчених різних спеціальностей, які з позицій накопичених у своїй галузі знань, піддали суворій критиці основні положення вище згаданих теорій і гіпотез. Це дало можливість виявити сильні і слабкі сторони хімічної еволюції органічних речовин, а також всебічно оцінити її роль у вирішенні проблеми походження життя на Землі.

У 1953 р. **Стенлі Міллер**, зайнявся експериментальною перевіркою гіпотези О. Опаріна. Він змоделивав умови, які могли бути на первісній землі, використавши для цього систему колб та трубок (рис. 4). Електроди генерували

електричні розряди, імітуючи блискавки, вода підігрівалася. Примітивна атмосфера, вважають фахівці, не містила вільного кисню, а складалася з різних газів: сполук нітрогену, метану, чадного газу, водяної пари. Через цю суміш газів і пропускалися електричні розряди.

В результаті експерименту були отримані прості жирні кислоти, сечовина, оцтова і мурашина кислота та декілька *амінокислот*, у тому числі – гліцин і аланін.

У досліді С. Міллера не було  $\text{CO}_2$ , без нього реакція йде краще, проте з  $\text{CO}_2$  вона теж відбувається. Важко абсолютно точно вказати склад первісної атмосфери Землі.

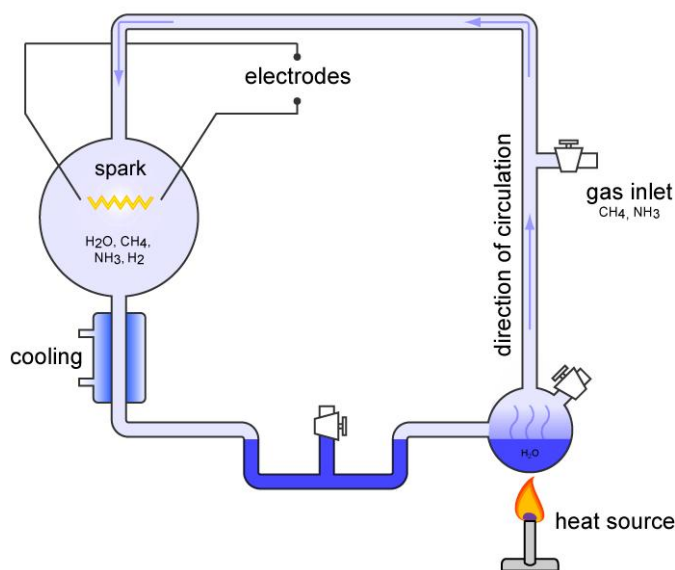


Рис. 4. Модель досліді Стенлі Міллера

Нові дослідження заперечують теорію «первісного бульйону» як джерела життя. У «первісному бульйоні» виникає термодинамічна проблема. Полімери у воді досить нестабільні, більш ймовірним є виникнення перших живих організмів у пересихаючих водоймах, або принаймні там де води небагато. Крім того, щоб з амінокислот отримати білки, краще щоб було менше води або і без неї.

Після відкриття структури ДНК і розвитку молекулярної біології стало зрозумілим, що життя це не тільки існування коацерватів. Живі клітини – дуже складні структури. А це означає, що шлях випадкового зародження живих клітин є досить мало ймовірним. Відомо, що всі природні білки складаються з «лівих» амінокислот, а ДНК і РНК – з «правих» цукрів, тобто є проявом хіральної чистоти. В результаті абіогенного синтезу утворюються порівно як «праві» так і «ліві» ізомери. Отже, океан не може бути місцем зародження життя на Землі.

У дослідженні, оприлюдненому в «*BioEssays*», стверджується, що початок раннього життя, дала хімічна енергія Землі з гідротермальних джерел на кшталт тих, які сьогодні активно вивчаються на дні океанів. Раніше їх аналоги могли бути і на поверхні Землі.

Ймовірніше за все, колискою життя і були гідротермальні джерела на поверхні Землі. Раніше вчені вважали, що напевно, зародження життя могло відбуватися у «чорних курцях». Цю гіпотезу так і називали гіпотезою «залізного світу». Річ у тім, що в «чорних курцях» виділяються сульфіди заліза, купрум, ніколу ( $\text{FeS}$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{NiS}$ ).

Після того, як були відкриті «білі курці» більш переконливою стала гіпотеза «цинкового світу». Вона активно розробляється з 2009 р. біохіміком Арменом Мулкіджаняном. Температура там нижча і виділяються сульфіди цинку та мангану ( $\text{ZnS}$ ,  $\text{MnS}$ ). Сульфід цинку здатен до абіогенного фотосинтезу, за умови наявності ультрафіолетового випромінювання.

Більшість рибозимів потребують сполук мангану, а не заліза. Найдревніші білки активно працюють за наявності сполук цинку, більш сучасні – сполук заліза. Ще одним доказом на користь «цинкового світу» є той факт, що співвідношення окремих іонів у цитоплазмі живих клітин відрізняється від їх вмісту у морській воді, а склад крові ближчий до морської води. Наприклад, калію та цинку багато в живих клітинах і мало у морській воді, а натрію, навпаки багато в морській воді і мало в цитоплазмі. Склад крові значно ближчий до морської води, що ймовірно є свідченням того, що кров з'явилася пізніше.

Ще одним важливим фактором є світло, а саме ультрафіолет. Життя не могло зародитися у темряві. Сьогодні загальноновизнаним є факт, що тільки такі азотисті основи А, Г, Т, Ц стійкі до світла, усі інші – ні. Саме тому рівень освітленості в процесі зародження життя був значним, це не могли бути значні водні глибини.

Геохіміки сьогодні з'ясували, що найбільш сприятливі умови для існування перших живих організмів на кшталт LUCA (останній загальний універсальний предок, він є предком, встановлено за допомогою геномного аналізу Архей і Бактерій) були у наземних геотермальних джерелах (А. Биков). А це свідчить про те, що дідусь Дарвін був правий, говорячи про виникнення життя у невеликих теплих ставках. У лютому 1871 р. Чарльз Дарвін писав другу Джозефу Гукеру, що життя могло зародитися «у теплому маленькому ставку», якщо б у воді був у достатній кількості аммоніак та органічні речовини.

Вже зараз можна сказати, що Дарвін дійсно випередив свій час. Єдине в чому його можна покритикувати, життя не просто виникло у «теплому ставку», а у декількох теплих ставках і в них були не тільки амоніак і органіка, а й бор. Отже, ми можемо Дарвіну поставити 97 із 100.

Сьогодні такі геотермальні джерела вченим відомі, до прикладу, долина гейзерів на Камчатці, вулканічні наземні геотермальні поля у Західній Австралії, район Пілбара. Проте, в сучасних термальних джерелах шалена кислотність, тобто умови для життя тут нестерпні. Але, ця висока кислотність обумовлена процесами окислення. А як ми знаємо, первісна атмосфера не містила кисню, отже умови були інші. Геохіміки роблять ще один цікавий висновок, що перші живі організми з'явилися разом з появою на Землі атмосфери і гідросфери!

Тому на зміну теорії «первинного бульйону» з'являється теорія «первинної піци». Вона говорить про те, що місцем виникнення життя були глини, щось на кшталт смектитів, бо саме там ланцюги амінокислот формуються значно краще ніж у воді. Вам відомі препарати смекти, які ми вживаємо при розладах роботи шлунково-кишкового тракту, а також вони використовуються у наповнювачах для котячих туалетів, бо мають здатність поглинати різні речовини.

Отже, наземні геотермальні поля, скоріше за все грязьові котли є найбільш ймовірною колискою життя на Землі.

### ***Теорія РНК - світу***

Загальноприйнятого визначення життя немає (у біології взагалі важко з визначеннями). Проте дві основні властивості життя загальновідомі:

- наявність спадкової інформації;
- активне виконання функцій, направлених на самопідтримку та розмноження, а також енергію, необхідну для виконання усієї цієї роботи.

Усе живе на Землі справляється з перерахованими вище завданнями за допомогою 3-х складних органічних сполук: ДНК, РНК і білків.

**ДНК** – зберігає спадкову інформацію;

**білки** – виконують активну роботу;

**РНК** – посередник між ДНК і білками.

На перший погляд РНК – третя зайва. Проте організмів без РНК у природі немає. Постає запитання, яка з трьох молекул з'явилася першою?

У 80-х роках ХХ ст. вчені відкрили **рибозими** – молекули РНК з каталітичними властивостями (функціями які виконують білки). З'ясувалося що РНК може виконувати обидві життєво важливі функції: збереження інформації, а також активну роботу. Стало зрозумілим, що можливим є живий організм без ДНК і білків, де усі функції виконуватиме РНК. Так з'явилася теорія РНК-світу, за якою перші живі істоти були РНК-організмами, без білків і ДНК.

Вперше ідея про можливість зародження життя не на основі білків, а на основі РНК була висловлена **Олександром Річем** у 1962 р., згодом підтримана

**Карлом Воезом** у 1967, але виразності набула лише у 1986 р. завдяки працям **Вальтера Гілберта**.

Основними положеннями цієї гіпотези є здатність РНК, так само як і ДНК, кодувати, зберігати та передавати генетичну інформацію. Згідно гіпотези світу РНК, коацервати захоплювали короткі ланцюги РНК, які накопичувалися всередині них, а також синтезувалися у навколишньому середовищі. Властивість РНК до спонтанного самовідтворення без участі білкових каталізаторів дає усі підстави вважати, що добіологічні «клітини» були концентратами РНК.

Проте, самі молекули РНК не є стабільними і піддаються розкладу навіть водою, тому природній добір ішов шляхом стабілізації РНК за допомогою амінокислот. Водночас, комплекси з амінокислотами та короткими ланцюгами білків – пептидів, надавали РНК вищих каталітичних властивостей. Спершу білки, по суті, «висіли» на молекулах РНК, але в ході еволюції відокремилися, виконуючи функцію структурних елементів та ферментів, – це був шлях розвитку білок-синтетичного апарату і переходу до «білкового життя».

У теорії багато проблем. Одна з них – рибозими малоефективні у порівнянні з білковими аналогами. У багатьох випадках це не принципово. Принциповою спочатку була нездатність рибозим каталізувати синтез власних копій. Проте сьогодні відомі рибозими які здатні до «саморозмноження». Вони здебільшого каталізують розмноження один одного, а далі інші рибозими мають здатність «зшивати» ці короткі фрагменти. Сьогодні відомі цілі угруповання працюючих рибозимів, що ще раз підтверджує неогоїстичність еволюції.

Далі РНК-організми навчилися синтезувати амінокислотні полімери, а потім білки, які стали універсальними помічниками. Звідки у РНК-організмів здатність синтезувати білки?

Для того щоб це зрозуміти, пригадаємо будову рибосом. Рибосоми у всіх живих істот – від бактерії до людини – мають схожу будову. Оскільки рибосоми відіграють важливу роль у синтезі білка, питання про походження синтезу білка зводиться до питання походження рибосом.

У 2009 р. канадські біохіміки розгадали і цю загадку. Вони вивчали головну частину рибосоми – 23 sr-РНК, яка є основою великої субоддиниці рибосоми (рис. 5).

Вчені видалили, не пошкоджуючи структуру окремих частин, спочатку сині блоки, потім червоні, жовті, зелені, рожеві, фіолетові і, нарешті, білі та сірі. В результаті залишився «нерозібраним» центр транспептидації (РТС), який складається з 2-х симетричних частин, показаних синіми і червоними лініями.

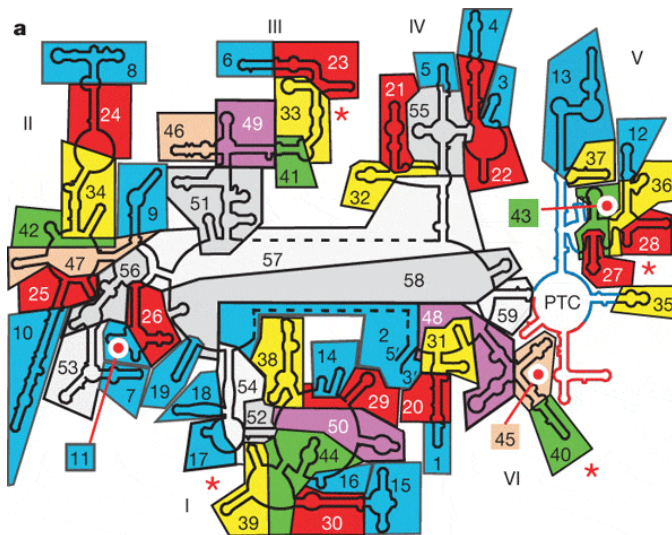


Рис. 5. Структура молекули 23s-рРНК, як трьохвимірної головоломки: схема зборки/розборки

Можливість послідовної розборки молекули без ушкодження основних частин – факт нетривіальний. Це свідчить, що 23S-рРНК, при здавалося б такій складній будові, влаштована на основі простого принципу. Її блочна структура говорить про те, що вона могла досить швидко розвиватися в ході еволюції з проторибосоми під дією мутацій і добору. Отже, висхідною функціональною молекулою «проторибосоною», з якої починалася еволюція рибосом міг бути каталітичний центр молекули 23S-рРНК.

Наступним важливим етапом вдосконалення РНК-організмів було виникнення ДНК. Молекули ДНК більш стійкі, ніж РНК, і тому є надійнішими у збереженні інформації. Платою за стабільність стала неможливість згортатися у складні трьохвимірні структури та виконувати будь-які активні дії.

Спочатку ДНК, скоріше за все, була на кшталт неактивної фази в життєвому циклі колонії РНК, і лише згодом вона стала основним носієм спадкової інформації.

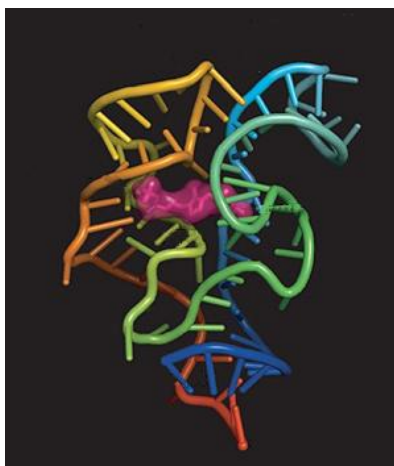
Взаємовигідне співробітництво РНК і білків, можливо, складалося поступово. Спочатку синтез білків був не строго специфічним, послідовність амінокислот могла відтворюватися не точно, а приблизно. Оскільки точність у даному випадку підвищувала життєздатність організмів, природній добір сприяв виробленню усе більш точних методів синтезу. Справа закінчилася виникненням універсальної системи точного синтезу будь-якого пептиду. Це і був генетичний код разом із рибосомами «сучасного» типу.

З'ясувалося, що РНК може виконувати обидві життєво важливі функції. Отже, можливим є живий організм без ДНК і білків, де усі функції виконуватиме РНК.

Ще 15-20 років тому, вважали РНК другорядною, сьогодні відомо що РНК є активним учасником багатьох життєвих процесів. Постійно відкриваються нові функціональні молекули РНК, та їх нові «ролі».

Одним із відголосків епохи РНК-світу є РНК-перемикачі, які вперше були відкриті у 2002 р. **Рональдом Брейкером** з колегами з Йельського університету.

Робота гена починається з транскрипції (створення молекули м-РНК на матриці ДНК). Транскрибується не тільки та частина ДНК яка кодує білок, а й ділянка перед нею (тут і розташовуються РНК-перемикачі). РНК-перемикач – це послідовність нуклеотидів, які після транскрипції згортаються у складні трьохвимірні структури (рис. 6). Головне – РНК-перемикач транскрибується першим. Він лишається активним і після закінчення транскрипції, це дозволяє їм перервати транскрипцію, фактично вимикати та вмикати гени. РНК-перемикачі поширені у всіх трьох надцарствах живої природи – у бактерій, архей та еукаріотів. Найрізноманітніші вони у бактерій.



*Рис.6. Трьохвимірна структура РНК-перемикача*

Вже першовідкривачам РНК-перемикачів було зрозуміло, що вони мають справу з чимось дуже древнім. РНК-перемикачі активно реагують на зміни навколишнього середовища. Людина з гарною уявою, може побачити у всіх фарбах – ген, який зчитується, починає ворухитися, сприймати сигнали навколишнього середовища, реагувати на них і втручатися у роботу процесу зчитування: не читай мене більше!

Отже, існування РНК-перемикачів є вагомим доказом на користь гіпотези РНК-світу. Недаремно більшість біологів вважають одним із найвагоміших досягнень у біології кінця ХХ ст. – теорію РНК-світу.

На більшість запитань щодо походження життя на Землі сьогодні відповіді у науковців є, хоча ще декілька десятків років, більшість вважали, що ніхто і ніколи цього не знатиме. На щастя – це не так.



*Більше дивіться і читайте в Інтернеті:*

1. Чи може наука пояснити походження життя

<https://www.youtube.com/watch?v=ol7QUDNzjU4>

2. Що таке хімічна еволюція <https://www.youtube.com/watch?v=WwOOQ5SU010>

3. У чому суть гіпотези світу РНК <https://www.youtube.com/watch?v=ww6ZsHJ4thU>

## Геохронологічна шкала Землі

Раніше геологічну історію Землі поділяли на 2 еони: *криптозой* (грецьке «криптос» – прихований, зое – життя) тривалість близько 3,4 млрд р. і *фанерозой* (грецьке «фанерос» – явний) тривалість 570 млн р., які в свою чергу включають ери, періоди, епохи, віки.

Сьогодні, в результаті більш досконалого вивчення, вчені виділяють 4 еони (по Gradstein et al., 2004): *катархейський, архейський, протерозойський, фанерозойський*. Сьогодні міжнародна геохронологічна шкала виглядає так:

Еон	Ера (період)
Фанерозойський	Кайнозойська ( <i>палеоген, неоген, антропоген</i> )
	Мезозойська ( <i>тріас, юра, крейда</i> )
	Палеозойська ( <i>кембрій, ордовік, силур, девон, карбон, перм</i> )
Протерозойський	Неопротерозойська
	Мезопротерозойська
	Палеопротерозойська
Архейський	Неоархейська
	Мезоархейська
	Палеоархейська
	Еоархейська
Катархейський (Гадей)	

Виділення цих підрозділів пов'язано з подіями які протікали на Землі і впливали на окреслення морів і материків, горотворчі процеси, зміни клімату тощо. Зміни умов навколишнього середовища позначилися на еволюції органічного світу на Землі. Існує низка способів визначення абсолютного віку верхніх шарів Землі. Найбільш розповсюдженим є метод датування за періодом радіоактивного розпаду урану, що перетворюється у свинець, запропонований П. Кюрі і Е. Резерфордом. Співвідношення урану і свинцю у

породі – визначає вік породи. За 100 млн років з 1кг урану лишається 985 г урану і утворюється 13 г свинцю і 2 г гелію. Точність цього методу складає декілька мільйонів років. Вік більш молодих порід визначають за вмістом радіоактивного вуглецю. З моменту смерті організму за кожні 5360 років його концентрація зменшується у 2 рази. Облік ізотопів кисню, що входять до складу  $\text{CaCO}_3$  (мушлі моллюсків) дозволяє визначити навіть температуру води у якій жив вимерлий вид і т. д. Є колагеновий метод для визначення віку решток людини, чим менше колагену тим більший вік решток.

Вивчаючи напрямки магнітних ліній пов'язаних із положенням магнітних поясів у момент застигання розплавлених порід, можна встановити розташування материків відносно полюсів у різні віки. Сучасні методи дослідження дозволяють більш точно відновити і вивчити історію Землі.

## **Характеристика основних етапів розвитку життя на Землі**

### **Гадей або Катархейський еон**

Сьогодні вважають, що близько 4,6 млрд р. тому виникла Земля. Гадей тривав близько 600 млн р. Земля була абіогенною. На думку геологів ландшафти в цей час були схожі на холодну пустелю з чорним небом, яскравими зорями і велетенським Місяцем, а також слабогріючим Сонцем. Рельєф нагадував поверхню сучасного Місяця з численними метеоритними кратерами. Високою була швидкість обертання Землі – один оберт за 6 год. Тривалість року відповідала сучасному, але кількість діб становила 1500. Вулканів не було. Були постійними руйнівні землетруси. До кінця гадею за рахунок віддалення Місяця від Землі енергія землетрусів істотно знизилася.

Термін «гадей» був уведений англійським геологом П. Клаудом у 1972 р. і названий на честь давньогрецького бога підземного царства (пекла) Гадеса, вказуючи на доволі пекельні умови в той час на Землі. Виділення гадею почалося після сенсаційної знахідки кристалів циркону віком 4,376 млрд р. на заході Австралії.

**Архейський еон** тривав близько 1,4 млрд р.

*Основні характеристики:*

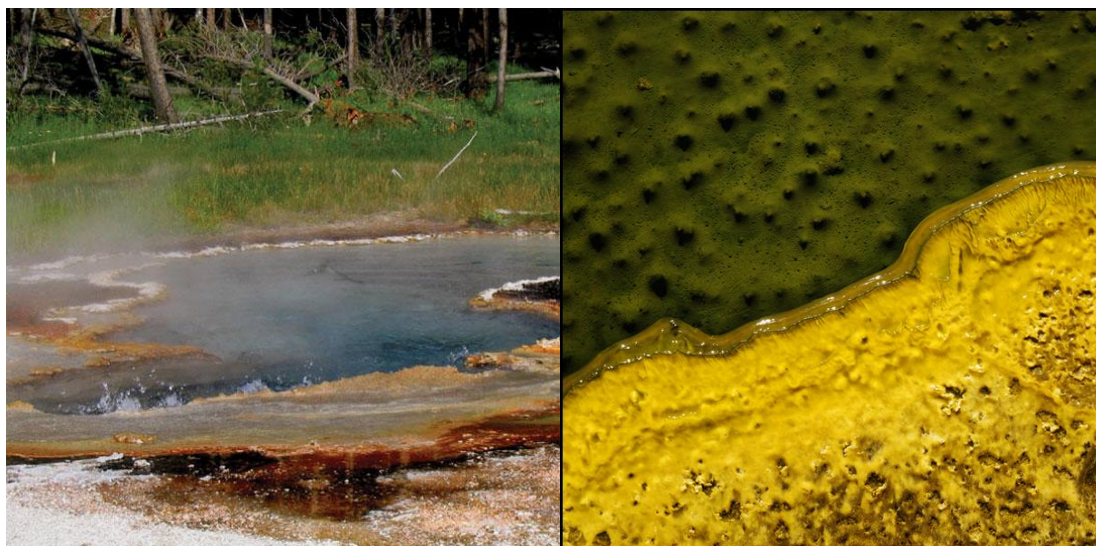
-  Зародження життя.
-  Поява прокариот.
-  Панування бактерій та ціанобактерій, поява зелених водоростей.

Сьогодні добре вивчені строматоліти – викопні скам'янілі рештки ціано-бактеріальних матів (рис. 7). Назва походить від грецьких слів «підстилка» та

«камінь», буквально: кам'яна підстилка, кам'яний прошарок. Існують ціано-бактеріальні мати і сьогодні на окремих територіях (рис. 8, 9).



*Рис.7. Строматоліт*



*Рис. 8. Жовтий бактеріальний мат з джерела  
Єллоустонського національного парку*



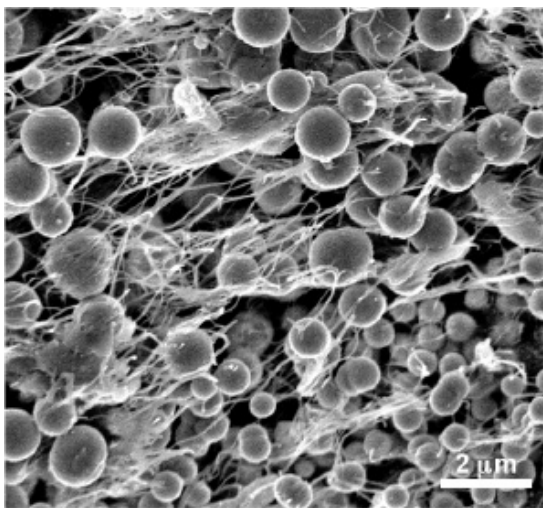
*Рис. 9. Озеро Thetis (Західна Австралія) одне з надзвичайних місць із високою солоністю, тут до цього часу живуть колонії ціанобактерій*

Впродовж тривалого проміжку часу єдиними живими організмами на Землі були прокаріоти – бактерії й археї. Вони вмонтовувалися в геохімічні цикли, отримуючи необхідну для життя енергію за рахунок окисно-відновних реакцій.

Одне з відкриттів у геології в останні десятиліття: практично в усіх геологічних процесах, які сформували осадові породи нашої планети, активно діяли і продовжують діяти сьогодні мікроорганізми. Доведено, що значна кількість родовищ не тільки залізних, а й золотих, марганцевих тощо – мають біологічне походження.

Група мікробіологів і водолазів, які розпочали в 1999 р. вивчення життя мікроорганізмів на закритій більше 30 років тому свинцево-цинковій шахті у США, зафіксували досить дивну картину. У покинутій шахті активно йшло життя: стіни тунелю були вкриті товстим шаром червоно-помаранчевого слизу та білих згустків, це різні анаеробні бактерії, які отримують енергію за рахунок окислення заліза і перетворення сірки.

Приблизно такі ж бактерії працювали на Землі в археї і продовжують працювати і сьогодні в глибинах океанів, ґрунтів, родовищ. Тепер, виявивши кульки сірчистого цинку в осадових породах, вчені з впевненістю говорять, що без участі бактерій тут не обійшлося (рис. 10). Отже, у результаті здавалося б спеціальних досліджень і пізнають минуле та майбутнє життя на Землі.



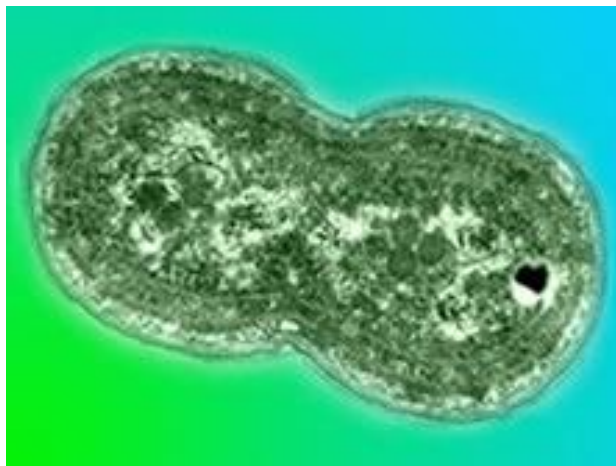
*Рис. 10. Родовища цинку виникли завдяки бактеріям*

Напевно, вже на ранніх етапах розвитку прокаріотичної біосфери мікроорганізмам доводилося співпрацювати між собою, розвивалася система хімічного «спілкування». Тоді ж зародився й альтруїзм – здатність жертвувати власними інтересами на користь угруповання.

Важливим моментом у розвитку життя було **виникнення фотосинтезу**. Ця подія відбулася близько 2,5-2,7 млрд р. тому. Винахідниками фотосинтезу були **ціанобактерії**.

Важливість зробленого ціанобактеріями «відкриття» важко переоцінити. Без них не було б рослин, усі рослини здатні до фотосинтезу завдяки наявності пластид, які є не що інше, як симбіотичні ціанобактерії. Не зовсім зрозумілим є те, хто ж головний.

Ціанобактерії не тільки створили біосферу сучасного типу, а й сьогодні продовжують її підтримувати. Ціанобактерії одні з небагатьох живих істот які здатні фіксувати атмосферний азот. У 2006 р. Артур Гроссман разом із колегами інституту Карнегі (США) з'ясували, що ціанобактерії *Synechococcus* можуть у одній клітині поєднувати процеси фотосинтезу і фіксації азоту, розподіляючи їх у часі. Вдень вони фотосинтезують, а вночі за відсутності світла переходять на азотфіксацію (рис. 11). Отже, вдалося з'ясувати звідки мікробні мати можуть отримувати азот.






*Рис. 11. Ціанобактерія в процесі поділу.  
Вдень вона фотосинтезує, вночі – фіксує атмосферний азот*

«Планета мікробів» жила та успішно розвивалася впродовж мільярда і більше років, і за цей час її мікроскопічні мешканці досягли значних результатів. Вищим досягненням цього етапу еволюції стали складні мікробні угруповання – бактеріальні мати. За рівнем цілісності бактеріальний мат наближається до справжнього організму, проте... Наступним важливим етапом в еволюції угруповань мікроорганізмів було виникнення еукаріотів.

## **Протерозойський еон**

*Основні події:*

-  Розвиток нижчих рослин.
-  Поява еукаріотів, багатоклітинних організмів.
-  Поява кишковопорожнинних, членистоногих, голкошкірих.

На початку протерозою відбувалася подія, що істотно змінила склад атмосфери, так звана Киснева катастрофа. За відносно короткий час кількість основних парникових газів, метану та діоксиду вуглецю, різко зменшилася, а молекулярний кисень почав стрімко накопичуватися в атмосфері. Вважається, що це відбулося завдяки ціанобактеріям, які почали виробляти кисень, і уся біосфера Землі внаслідок цього мусила перебудуватися. Організми або підлаштувалися під ці зміни, або вимерли, а газова оболонка Землі вже ніколи не поверталася до попереднього стану. Зрештою, такі умови призвели до появи складних аеробних організмів: тварин та рослин, що потребують кисень для підтримки процесів життєдіяльності.

Усі ці зміни сприяли охолодженню планети. Кисень призвів і до більш глобальних та незвичайних умов – Земля повністю вкрилася льодом на мільйони років.

Навколо гіпотези «Земля-сніжка» не вщухають дискусії науковців. Назва говорить сама за себе: існує припущення, що наша планета від полюсів до екватора була затягнута кригою. Тобто, тоді Земля буквально перетворилася на «сніжку»: і моря, і континенти були вкриті льодом. Навіть на екваторі середня температура становила близько  $-20^{\circ}\text{C}$ . Причому в такому стані планета опинялася щонайменше двічі під час періодів надзвичайного охолодження. Вони сталися на часовому проміжку між 2,4 млрд та 580 млн років тому, перший з цих періодів називається гуронським зледенінням. Ця найдавніша серія зледенінь тривала близько 200 млн років та була викликана зростанням атмосферного кисню. Слід зазначити, що на той час світність Сонця була значно нижчою ніж сьогодні, і щоб це компенсувати, мав бути ефективний парниковий газ. Впродовж архею цю роль виконував метан, але близько 2,4 млрд років тому його концентрація значно знизилася, основним парниковим газом став вуглекислий газ, що і стало причиною таких глобальних та масштабних змін.

Докази гіпотези вчені шукали у старих гірських породах. Навіть ті з них, які тоді, в минулому, знаходилися біля екватора, містять сліди льодовиків. Палеопротерозойські льодовикові відклади знаходили в Північній Америці, Західній Австралії, Південній Африці, Фінляндії тощо. Поклади, які лишають льодовики, дуже характерні, їх важко сплутати. Серед них, зокрема, виділяють друпстоуни – дещо округлені уламки породи, часто великих розмірів. Ці структури переміщувалися з льодовиковим шельфом з суші до океану, а потім вертикально падали та опинялися у відкладах на дні морів. Вони виглядають так, наче опинилися не на своєму місці, занурені у іншу розшаровану породу.

Завдяки вивченню окремих порід, дослідники змогли прослідкувати і закінчення цього глобального зледеніння. До прикладу, у пустелі Калахарі є шар марганцевої руди завтовшки 45 м, вік якого збігається з кінцем періоду «Землі-сніжки». Вважають, що такі відклади утворилися завдяки швидкому і масовому таненню льоду.

Після того, як скресла крига гуронського зледеніння, розпочався період, який називають «нудним мільярдом». Довгий час на Землі не відбувалося жодних глобальних та екстремальних подій: тектоніка плит залишалася стабільною, клімат врівноваженим, а біологічна еволюція спокійно продовжувалася.

Близько 720 млн років тому наступив кріогеній, а з ним і наступна низка глобальних зледенінь. Цьому сприяв, зокрема, розпад суперконтиненту Родінія. Це призводило до значної кількості континентальних опадів та вивітрювання гірських порід, які вбирали вуглекислий газ. А зменшення його в атмосфері призводить до похолодання клімату.

Гіпотеза «Землі-сніжки» ставить перед нами два запитання: як нашій планеті вдалося розморозитися та як життя могло пережити такі екстремальні умови? Танення криги могла стимулювати вулканічна активність, що супроводжується виділенням значної кількості вуглекислого газу, який посилив парниковий ефект. А порятунком для живих організмів під час періодів зледеніння могли бути теплі геотермальні джерела, або ж активні вулкани, що розтоплювали лід.

Щоправда, не всі погоджуються з цією гіпотезою. Існує, її пом'якшена версія – так звана теорія «розмоклої снігової кульки». Згідно з нею, окрім масивних крижаних покривів на континентах, інші частини планети (особливо океанічні райони поблизу екватора) могли бути вкриті лише тонким шаром льоду. За таким сценарієм вуглекислий газ накопичувався швидко, зледеніння було недовгим, а лід сходив поступово.

### ***Походження еукаріотів***

Виникнення еукаріотів – це наступний важливий етап після фотосинтезу (1,6-1,3 млрд р. тому).

*Відомі сьогодні концепції походження еукаріотів:*

1. ***Автогенна концепція*** передбачає поступову диференціацію прокариотичної клітини у ході якої розвинувся мембранний комплекс, згодом її локальні вп'ячування всередину клітини утворили внутрішньоклітинні мембрани. На основі диференціації мембранного комплексу сформувалися клітинні органоїди. Попередниками еукаріотів була одна група прокариотичних організмів, яка саме вказати зараз неможливо. Сьогодні дана концепція має



виключно історичний інтерес, хоча раніше була найлогічнішою. Річ у тім, що якби таким чином відбувалося формування еукаріотичних організмів, то усі структурні компоненти клітини мали б однакову ДНК. Проте, сьогодні ми знаємо, що ДНК ядра, мітохондрій, пластид – різні. Отже, таким шляхом формування еукаріотів не відбувалося.

2. **Симбіогенна концепція** отримала популярність у 1967–1971 р. р. після виходу у світ робіт біолога з Бостонського університету *Лінн Саган Маргуліс*, яка обґрунтувала утворення еукаріотів у результаті симбіозу різних прокаріотичних організмів.

Маргуліс запропонувала наступну модель симбіотичного виникнення еукаріотів: родоначальником усіх форм життя був невеликий гетеротрофний амебоїдний організм, ще не здатний дихати киснем. Ці гіпотетичні організми поглинули, не вбиваючи, дрібніші аеробні бактерії, які у тілі своїх господарів перетворилися у мітохондрії (*I етап симбіогенезу*).

Спірохетоподібні бактерії сприяли утворенню справжнього ядра, джгутикового та мітотичного апаратів – таким чином виникли найпростіші еукаріотичні організми, що дали початок царствам Тварини і Гриби (*II етап симбіогенезу*).

Останнім етапом еволюції еукаріотів був симбіоз із фотосинтетиками на кшталт примітивних ціаней, які перетворилися у фотосинтезуючі пластиди і відкрили своїм господарям шлях до автотрофного типу живлення (*III етап симбіогенезу*). Цей останній етап дав початок царству Рослини.

Отже, **всі еукаріоти, є щонайменше двохгеномними організмами.**

Сьогодні, коли теорія симбіогенезу набула статусу теорії і є загально визнаною. Вона підтверджена настільки, наскільки можна підтвердити теорію, що стосується великомасштабної еволюції. Проте, наукові концепції, на відміну від релігійних догм, ніколи не залишаються статичними. Природно, що загальна картина симбіогенезу виглядає для нас сьогодні не зовсім так, а місцями і зовсім не так, як вважала Л.С. Маргуліс 50 років тому. І це нормально, враховуючи шалену швидкість розвитку біології. Нові факти, які на той час були невідомі Маргуліс, внесли низку коректив.

Сучасне доповнення до теорії полягає в тому, що становлення еукаріотів не було загальною тенденцією і не охоплювало багато еволюційних гілок, як вважала Л. Маргуліс, а скоріше за все, було **унікальною подією**, а саме злиттям клітин архей і протеобактерії. В результаті утворилася складна клітина з мітохондріями, яка і стала першою еукаріотичною клітиною. Подальші симбіотичні події, до прикладу, захоплення ціанобактерій, дійсно відбувалися багато разів.

Л. Маргуліс наполягала на симбіотичному походженні не лише мітохондрій і хлоропластів, а й джгутиків. Вона вважала, що предками джгутиків були спіральні закручені бактерії, схожі на сучасних спірохет. Проте, ця гіпотеза не отримала молекулярно-біологічних підтверджень, і сьогодні її ніхто не підтримує.

Л. Маргуліс вважала, що раз мітохондрії – нащадки бактерій, то рано чи пізно біологи навчаться культивувати їх у поживному середовищі поза еукаріотичною клітиною, як мікроорганізми. Якби таке вдалося, це було б ідеальним доказом теорії симбіогенезу. Проте, насправді сучасні мітохондрії принципово не здатні до самостійного виживання, тому що більша частина їх генів у ході еволюції мігрували у клітинне ядро і вбудувалися там у геном еукаріотичного «господаря». Тепер білкові продукти цих генів синтезуються за межами мітохондрій, а потім надходять до них за допомогою особливих транспортних систем, що є в еукаріотичній клітині. Гени, які лишилися в мітохондрії, малочисельні, їх не вистачає для життєзабезпечення. Просто раніше цього ніхто не знав.

Дані порівняльної геноміки дозволяють припустити, що пороговою подією, що призвела до виникнення еукаріотів, було об'єднання двох клітин – архейної (скоріше за все з локіархеот) і бактеріальної (протеобактерії). Дійсно, мітохондрії – нащадки протеобактерій, і вони точно проникли в якості симбіонтів у клітину археї, бо примітивні еукаріоти не дуже далеко відійшли від архей. Правда, як саме це відбулося, сьогодні до кінця невідомо.

Попередниками мітохондрій були **альфа-протеобактерії!** Еукаріотів без мітохондрій немає, завжди є сліди мітохондрій.

Господарем були якісь археї. У 2015 р. відкрили **локіархеї** – некультивована група архей, які живуть у гідротермальних джерелах Атлантичного океану. У 2020 р. японські вчені опублікували статтю про культивування архей – прометеумархей. Вони розмножуються кожні 2 тижні, до прикладу, кишкова паличка розмножується кожні пів години, витримка вчених просто вражає.

Клітини архейних предків сформували потужні вирости для збільшення поверхні (рис. 12). Між цими виростами і поселилися альфа-протеобактерії – предки мітохондрій. Потім вирости злилися і утворили систему замкнених порожнин, сформувавши ендоплазматичну сітку.

У 2019 р. відомий американський біолог У. Мартін з колегою Ю. Брюкнер точно підрахували який відсоток в еукаріотів білок-кодуєчих генів архейного та бактеріального походження. Вони порівняли, використовуючи сучасні бази даних, повні геноми 5443 видів бактерій, 212 видів архей і 150 видів еукаріотів. Нерівномірність виборок була врахована при статистичній обробці. В цілому

було опрацьовано генні послідовності, що кодують 19 млн бактеріальних і архейних білків і 3,4 млн еукаріотичних білків. Висновок: 44 % білок-кодуєчих генів еукаріотів мають архейне походження, а 56 % – бактеріальне. Бактеріальних генів на 12 % більше. Проте це співвідношення не є однаковим для всіх груп еукаріотів.

Щодо походження ядра, то однозначної відповіді на сьогодні вчені не мають. Скоріше за все, утворення ядра є результатом симбіозу з вірусом!

Варто підкреслити, що все це лише припущення. Загадка походження мітохондрій, не говорячи вже про походження ядра, до цього часу до кінця не розгадана.

У чому, без сумніву Л. Маргуліс права, так це в тому, що еукаріоти в цілому схильні до захоплення ендосимбіонтів.

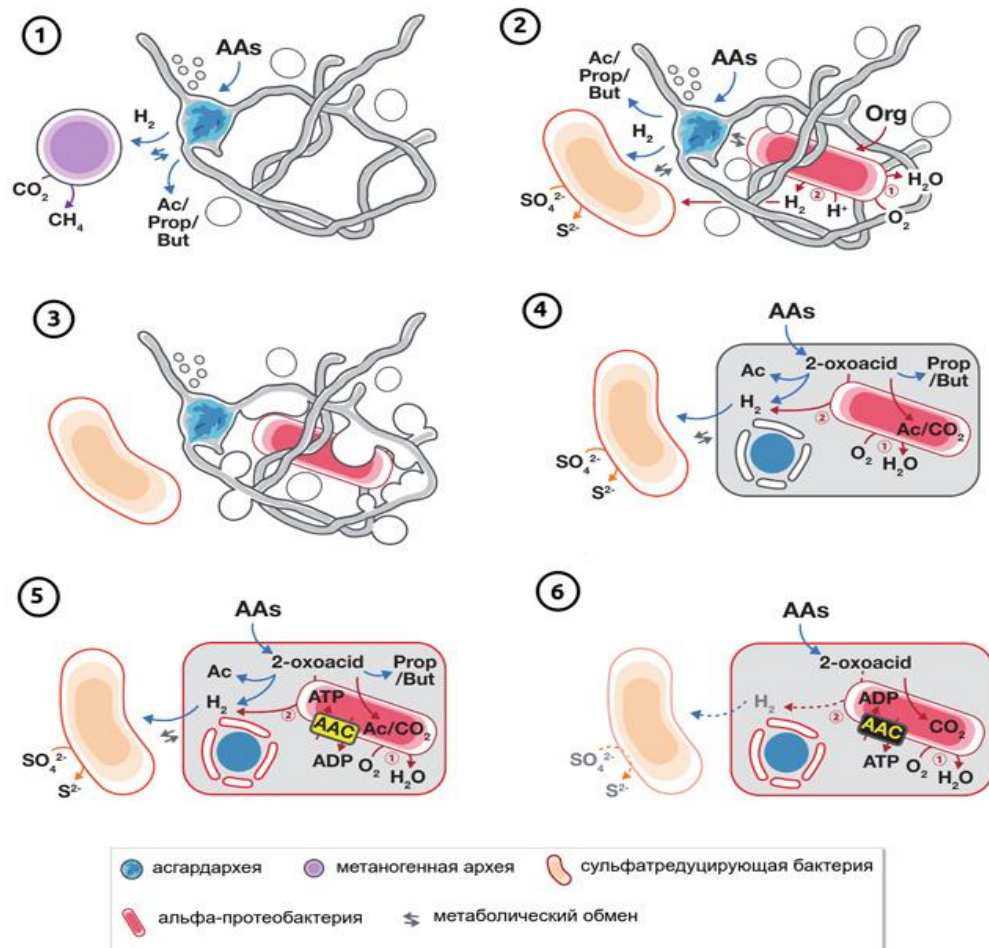


Рис. 12. Сучасна схема симбіогенезу

Сьогодні відомо багато прикладів симбіотичних взаємовідносин у рослин і тварин: бактерії-ризобії живуть на корінні сої, фіксуючи атмосферний азот, отримуючи в свою чергу комфортні умови життя та всі необхідні поживні речовини. Ці приклади є беззаперечними доказами на користь симбіогенної теорії.

Не так давно палеонтологи з'ясували, що вихід рослин на сушу був би неможливий без симбіозу їх з грибами, у них була справжня мікориза. Скоріше за все, без симбіотичних взаємин рослини не змогли б вийти на сушу.

Кальмар *Euprymna scolopes* використовує здатних до свічення симбіотичних бактерій для відлякування хижаків. Кальмар здатен регулювати силу свічення.

Японські дослідники з'ясували (2006 р.), що більшість родин клопів не можуть жити без симбіотичних бактерій у кишківнику. Самки клопів, відкладаючи яйця, у кожен кладку поміщають певну кількість, так званих, «симбіотичних капсул» – це вкриті оболонкою кульки з бактерій-симбіонтів. Личинки, з'явившись на світ, одразу поїдають ці «пігулки», і бактерії потрапляють у задній відділ середньої кишки. Після цього відбуваються дивні речі: середня кишка перетискається посередині, і передня частина кишківника перетворюється у сліпий мішок, без виходу. Їже перестає надходити в ту частину кишківника, де знаходяться бактерії. Харчуються клопи, в основному соком рослин. Вчені з'ясували, що без симбіонтів ці тварини нормально не живуть. Дорослі клопи *Megacopta*, що виростили без симбіонтів, відрізняються дрібними розмірами, блідим забарвленням і не здатні розмножуватися (рис. 13).



Рис. 13. Клопи роду *Megacopta*

Фантастичний випадок потрійного симбіозу описали американські біологи у 2007 р., працюючи в Йеллоустонському парку. Рослина *Dichanthelium lanuginosum*, близька родичка проса, прекрасно росте на ґрунті, нагрітому до + 65°C, проте гине (справа) в тих же умовах, якщо її позбавити симбіотичного гриба *Curvularia protuberata* (рис. 14). Детально вивчивши симбіотичну систему, вчені виявили і третій обов'язків компонент системи – РНК-вмісний вірус, що живе у клітинах гриба. Згодом з'ясувалося, що коли гриб «вилікувати» від вірусу, рослина втрачає термостійкість. Таким чином, для термостійкості необхідні усі три компоненти: рослина, гриб і вірус.



Рис. 14. Термостійка трава та віруси, необхідні для термостійкості симбіотичного комплексу під електронним мікроскопом

Ще більш фантастичний випадок симбіозу описали у 2006 р. дослідники з Германії та США. Вчені з'ясували, що у виду *Olavis algarvensis* представника кільчастих червів відсутня не тільки травна, а й видільна система (рис. 15)! У тілі черва є чотири види симбіотичних мікроорганізмів, два з яких відносяться до групи гамма-протеобактерій, а два інших – до дельта-протеобактерій. Перші синтезують органіку з CO<sub>2</sub>, другі – відновлюють сульфат до сульфіда. Таким чином, відходи перших є їжею для других і навпаки.



Рис. 15. Унікальний морський черв *Olavis algarvensis*

Бактеріальні симбіонти живуть під зовнішньою оболонкою (кутикулою) черва. Можливо, основна вигода, яку бактерії отримують від черва, в тому, що він рухливий, і може пересуватися туди, де умови середовища найбільш сприятливі для усієї компанії. Отже, п'ять організмів утворили єдиний «суперорганізм», здатен жити у найрізноманітніших умовах.

Без співпраці, кооперації, симбіозу не може існувати жодна жива система. Навіть для найжорстокіших людських колективів (ізолюваних, карцерних) притаманні певні союзи, альянси, угруповання. В біології необхідність кооперації і симбіозу є очевидною. Тому еволюція – це постійний пошук компромісів.

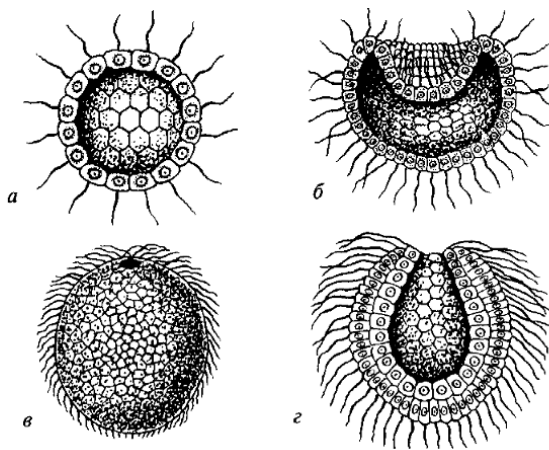
## ***Походження багатоклітинних організмів***

Напевно, 700-900 млн р. тому на Землі з'явилися перші багатоклітинні організми. У рослин виникнення багатоклітинності, скоріше за все, йшло на основі диференціації стрічкоподібних колоній. У тварин, активний спосіб життя вимагав більш досконалої та складної диференціації організму.

Теорії походження багатоклітинних:

### ***1. Теорія гастрії***

Автором теорії гастрії є **Ернст Геккель** (1872 р.). Базується вона на біогенетичному законі Геккеля-Мюллера. Згідно з його поглядами, гастрія нагадувала одну зі стадій зародкового розвитку багатоклітинних організмів – гастралу і мала вигляд видовженого мішкоподібного тіла з двошаровою стінкою та центральною порожниною, яка відкривалася назовні бластопором (первинним ротом) (рис. 16). Гастрія виникла з бластії (одношаровий кулястий організм) шляхом інвагінації. Так відбувається процес гастрюляції у деяких сучасних кишковопорожнинних. Ця теорія недоказова, оскільки не існує сьогодні достатніх підстав вважати інвагінацію первинним способом гастрюляції.



*Рис. 16. Ранні стадії онтогенезу коралового поліпа Мопохенія  
а – бластула, б – гастрюляція, в-г – гастрала (зовнішній вигляд і поздовжній розріз)*

### ***2. Теорія фагоцителі***

У 1886 р. **Ілля Мечников** звернув увагу на те, що у примітивних кишковопорожнинних гастрюляція йде не шляхом інвагінації (як у високоорганізованих), а шляхом міграції деяких клітин із одношарової стінки тіла всередину. Такий спосіб є простішим (рис. 17).

Клітини одношарової стінки, захопивши їжу, мігрували для її перетравлення всередину, в порожнину колонії. Ці клітини утворили внутрішнє скупчення – фагоцитобласт, функція якого забезпечення організму їжею. Ця гіпотетична стадія еволюції була названа – фагоцителою, що відповідає будові личинок деяких кишковопорожнинних.

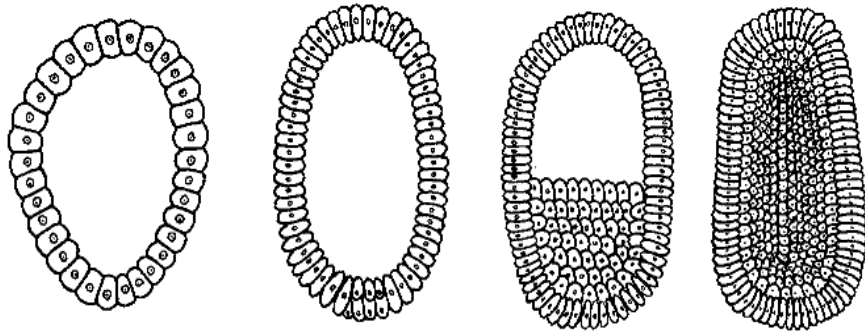


Рис. 17. Гастрюляція зародка гідроїдного поліпа

Важливі дані для розуміння раних етапів еволюції *Metazoa* були отримані при вивченні вкрай примітивного багатоклітинного – трихоплекса, знайденому у Червоному морі Ф. Шульце ще у 1883 р., але детально вивченого у 70-х роках ХХ ст. К. Греллом та О. Івановим. За даними Іванова, *трихоплекс* є живою моделлю фагоцителли, що зміцнює позиції Мечникова (рис. 18).

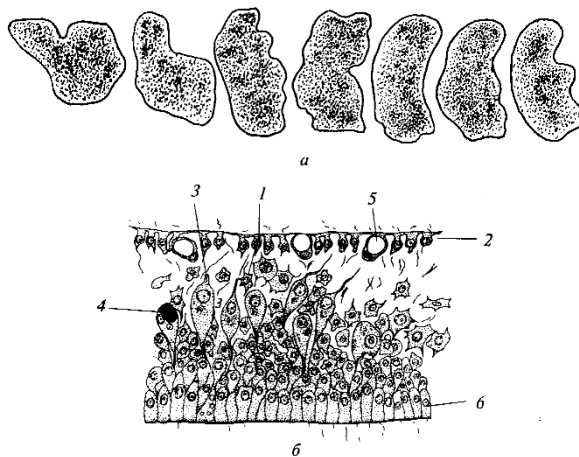


Рис. 18. Трихоплекс: а – зміни форми тіла однієї особини, б – розріз

### 3. Нова гіпотеза

Схожою до вибуху бомби стала публікація групи американських біологів (Alegado et al., 2012), які відкрили фактор виникнення багатоклітинності у тварин. Їх дослідження було сконцентроване на одноклітинних комірцевих джгутиконосцях – сальпінгеці розетковій, яка є одним із найближчих родичів тварин (рис. 19).

Вчені виявили, що сальпінгека може перебувати у двох життєвих формах: одно- та багатоклітинній. Фактором, що спонукає цього джгутиконосця утворювати багатоклітинні агрегації є сульфоліпіди, що виробляються дрібними бактеріями альгоріфагусами махіпонгійськими.

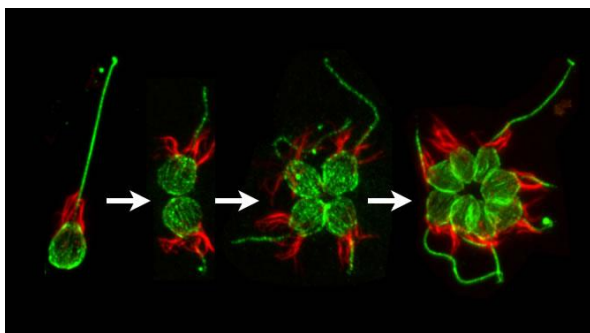


Рис. 19. Сальпінгека розеткова

Вчені висунули та обґрунтували гіпотезу про те, що виникнення багатоклітинності, у далекому минулому, могло бути спричинене взаємодією одноклітинних організмів із бактеріями. Проте, дана гіпотеза потребує подальшого вивчення.

Схоже, що перші спроби еукаріотів перейти до багатоклітинності почалися в середині протерозою. В околицях озера Верхнього (Північна Америка) у відкладах 1,9–1,4 млрд р. тому знайдені спіралеподібні стрічки, які отримали назву *Grypania* (рис. 20). Вчені вважають, що це залишки примітивних багатоклітинних еукаріотичних водоростей.

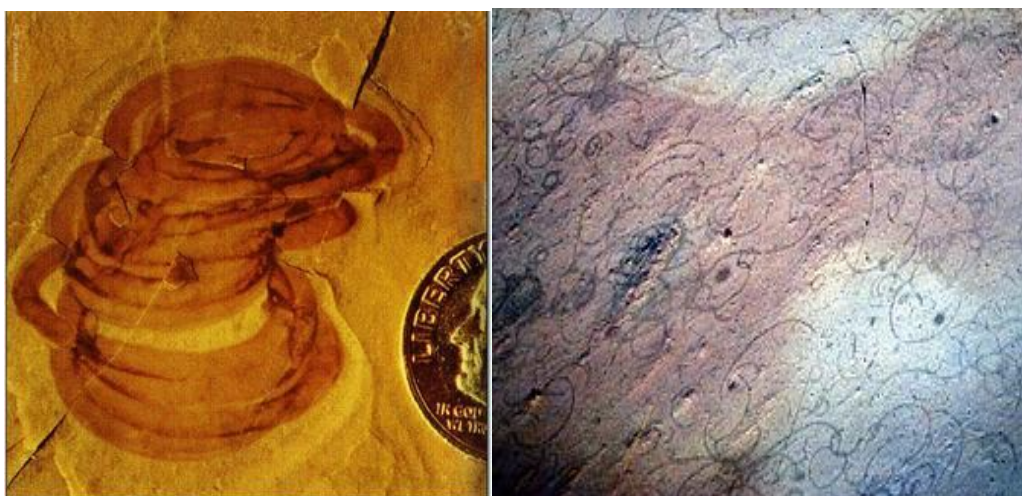


Рис. 20. Гріпанія

Кандидатом на почесне звання найдревнішої тварини є *Horodyskia*, датується 1,44 млрд р. тому (Північна Америка, Австралія). Напевно, це була колоніальна багатоклітинна тварина, дещо схожа на сучасних гідроїдних поліпів. Колонія мала спільний стовбур, занурений у ґрунт, на якому через рівні проміжки розташовувалися зоїди (рис. 21).



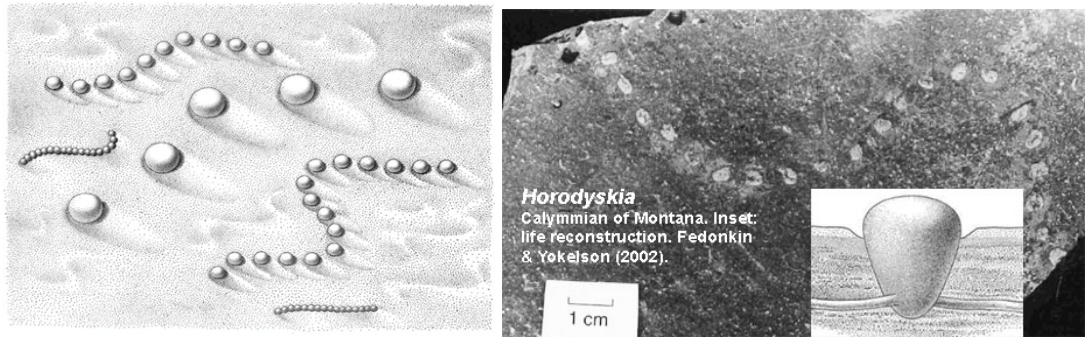


Рис. 21. Городіскія

До найдревніших тварин відносять і *Parmia* – червоподібну істоту, відбитки якої знайдені у відкладах близько 1 млрд р. тому в Китаї (рис. 22). Проте деякі експерти вважають, що це відбитки водоростей.



Рис. 22. Пармія

Викопні рештки *Terpania* віком 1,43 млрд р. з Австралії, напевно є найдревнішим багатоклітинним грибом, а *Bangiomorpha* віком 1,2 млрд р. з Північної Канади, практично без сумніву є представником багатоклітинних червоних водоростей (рис. 23).



Рис. 23. Бангіоморфа

Порівняльне вивчення нуклеотидних послідовностей ДНК сучасних організмів показує, що еволюційні шляхи царств рослини, гриби і тварини розійшлися близько 1,6 млрд р. тому, і це узгоджується з новими палеонтологічними даними.

Найбільш багата пізньопротерозойська фауна виявлена в Центральній Австралії в районі Едіакари, вивчав її М. Глесснер (рис. 24). Він вважає, що ця фауна містить декілька десятків різноманітних багатоклітинних, які відносяться до різних типів (кишковопорожнинні, залишки плоских і кільчастих червів, можливі предки членистоногих, голкошкірих), а також викопних організмів невідомої таксономічної належності. *Усі представники едіакарської (вендської) фауни позбавлені твердого скелету.*

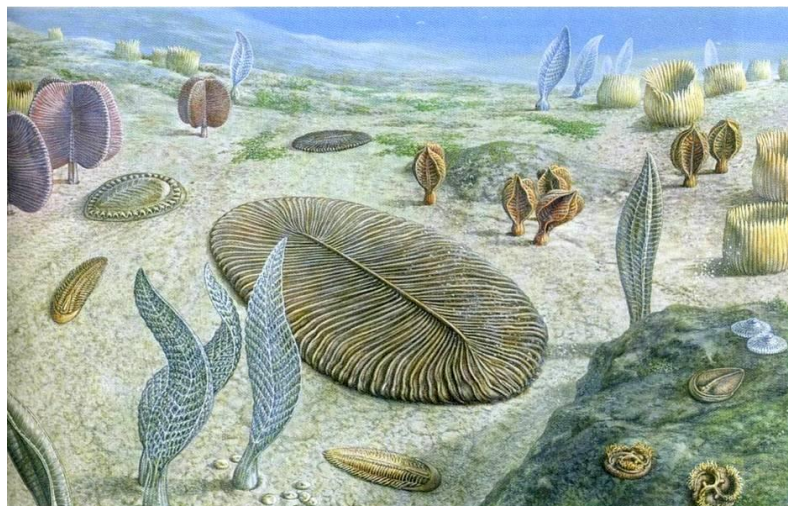


Рис. 24. Едіакарський період (реконструкція)

**Лагерштетт** – особливий тип поховання скам'янілостей, як правило, у великій кількості, з унікальною збереженістю організмів, навіть м'якотілих. Це є результатом поховання у безкисневому середовищі з мінімальною

кількістю бактерій, що істотно сповільнює процеси розкладання. Лагерштетти відомі починаючи з протерозою і до сьогодні. Відомі лагерштетти – Зольнхофенський вапняк у Німеччині, Монте-Болька в Італії, сланці Берджес у Канаді. Перші знахідки були зроблені близько 100 років тому (рис. 25). Саме лагерштетти дозволяють пролити світло на події які відбувалися у давні часи.



Рис. 25. Сланці Берджес у Канаді

*Більше дивіться і читайте в Інтернеті:*

1. Земля-сніжка. <https://nauka.ua/article/koli-zemlya-bula-snizhkoyu-yaku-rol-vidigrav-snig-u-geologichnij-istoriyi-planeti>
2. Едіакарський період. Геологічні екскурсії Володимира Гриценка. <https://www.youtube.com/watch?v=8M2ggQezfX4>
3. Палеонтологічні місцезнаходження Подніпров'я. Експедиція 2020. [https://www.youtube.com/watch?v=GL\\_ujZRCw0c](https://www.youtube.com/watch?v=GL_ujZRCw0c)

## **Фанерозойський еон**

### **Палеозойська ера**

#### **1. Кембрій.**

Сьогодні відома низка гіпотез, які пояснюють **причини кембрійського видоутворення**.

🚧 **Гідрохімічна гіпотеза.** Вчені припускають, що причиною появи великої кількості викопних решток була зміна гідрохімічного режиму водойм. Це сприяло утворенню скелету, зокрема, посилене відкладання фосфоритів у морських осадах раннього кембрію. Проте, таке припущення не узгоджується з тим, як збільшення вмісту фосфору могло сприяти утворенню кремнієвої мушлі чи хітинового покриву (складається з азотовмісних полісахаридів).

Отже, навряд чи, таке видоутворення можна пов'язати лише з процесом скелетинізації організмів.

✚ *Мутаційна гіпотеза.* На початку 1980-х років було виявлено у середньокембрійських сланцях Берджест (Канада) представників близько 120 родів, серед яких м'якотілі, напівхордові і хордові, а також загадкові організми, до прикладу, хижак довжиною до 2 м із дивним зовнішнім виглядом (рис. 26, 27, 28). І до сьогодні не всіх представників вчені можуть класифікувати, бо більшість з них зовсім не схожі на сучасні та викопні види. У 1994 р. залишки викопної фауни, близької за складом до попередньої, були знайдені у нижньокембрійських відкладах Південного Китаю.



Рис. 26. Реконструкція хижака *Anomalocaris*

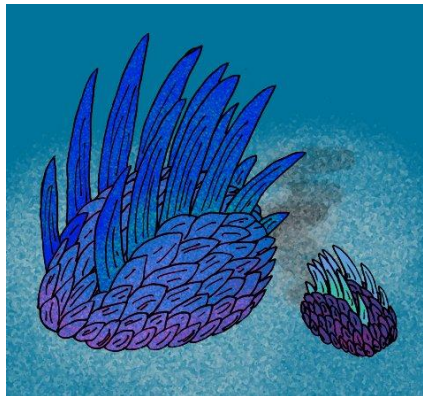


Рис. 27. *Wiwaxia*, молюск чи кільчастий черв?



Рис. 28. *Marrella* – вид, що не відноситься до жодної з відомих сьогодні груп членистоногих

Для пояснення цих змін деякі вчені, зокрема Отто Шиндевольф, намагалися використати «вибух мутацій», викликаний якимись катастрофічними змінами довкілля. Причину «мутаційного вибуху» О. Шиндевольф бачив у підвищенні рівня жорсткої космічної радіації в результаті вибуху наднової зірки на досить близькій відстані від Сонця. При цьому виникали великі мутації які й призводили до виникнення нових організмів.

✚ *Киснева гіпотеза.* Автори Л. Беркнер і Л. Маршалл. Суть гіпотези полягає у зміні складу атмосфери, а саме вмісту кисню. У сучасній атмосфері кисень складає 21 %, парціальний тиск 159 мм рт. ст. Коли вміст O<sub>2</sub> досяг 0,01 від сучасного вмісту, була досягнута так звана точка Пастера, яка відповідає парціальному тиску 1,59 мм рт. ст., так в організмів вперше з'явилася можливість використовувати для задоволення власних енергетичних потреб саме аеробну дисиміляцію. Отже, після досягнення точки Пастера, стало можливим кисневе дихання, яке у 14 разів ефективніше за бродіння. Це був важливий і переломний момент у розвитку життя на Землі.

✚ *Фільтраційна гіпотеза.* Дрібні ракоподібні (фільтратори) очищали воду, навчившись «пакувати» свої відходи у так звані «пілети». До того часу вода була мутною, після активної роботи фільтраторів вода стала значно чистішою, прозорішою, що і дозволило збільшити глибину проживання фотосинтезуючих організмів. Вперше така ідея з'явилася у науковців, які вивчали океанічні течії з використанням різних барвників. Розпорошивши барвник на воді за допомогою літаків, вчені з подивом констатували, що барвник дуже швидко «упаковувався» дрібними ракоподібними і опускався на дно.

Варто зазначити, що найбільш визнаною сьогодні є киснева гіпотеза. Проте, вкотре хочу наголосити, що скоріше за все діяв комплекс різних причин, що і обумовив кембрійське видоутворення.

Раніше «кембрійський вибух» виглядав як несподівана поява багатьох різноманітних скелетних організмів. Згодом з'ясувалося, що вибух не був таким вже і вибухоподібним. Сьогодні відомо, що предки багатьох кембрійських тварин жили і раніше, проте не мали скелета.

Для того щоб мати карбонатний скелет недостатньо лише одних сприятливих умов навколишнього середовища. *Мали бути спеціальні гени і ферменти*, за допомогою яких тварини могли б контролювати утворення кристалів карбонату кальцію в потрібних місцях і в належній кількості.

Важливу роль у формуванні скелету відіграють ферменти *карбоангідрази*, які приблизно у мільйон разів прискорюють реакцію перетворення у воді CO<sub>2</sub> в гідрокарбонат:  $CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3 + H$ .

Карбоангідази мають значне поширення, зокрема й у прокаріот. Окрім біомінералізації вони виконують низку функцій. Біологи з Німеччини та Австралії (2007 р.) детально вивчили дію скелетоутворюючих ферментів у примітивної архаїчної губки астроклери. Це справжній «живий викопний організм», представники роду існують вже більше 200 млн р. (рис. 29).

Вчені виділили зі скелету губки органічну фракцію, а з неї – всі білки. Більшість білків виявилися карбоангідазами. Вчені визначили їх амінокислотну послідовність → геном → відповідні гени. Це дозволило, порівнюючи між собою нуклеотидні послідовності генів карбоангідаз примітивної губки і вищих тварин, чий геноми вже прочитані, реконструювати еволюцію цих білків у тварин.



Рис. 29. Примітивна архаїчна губка Астроклери

Вчені дійшли висновку, що багаточисельні й різноманітні карбоангідази тварин походять від одного предкового білка, який був у давнього спільного предка тварин. У різних еволюційних лініях, ген висхідної карбоангідази, зазнавав низку дуплікацій, так виникли нові різні варіанти карбоангідаз.

«Спільний давній предок тварин» жив задовго до кембрійських подій. Отже, тварини були добре підготовані (*преадаптовані*) до розвитку мінерального скелету. У них із самого початку були ферменти, здатні значно прискорювати утворення карбонату кальцію. Докембрійськими тваринами вони, напевно, використовувалися з іншою метою. Проте, коли умови змінилися – вони почали виконувати інші функції.

Зовсім нещодавно було з'ясовано, що у губок є частина комплексу, так званих, постсинаптичних білків, які у високоорганізованих тварин беруть участь у «прийомі сигналу». У губок немає нервових клітин. Навіщо їм ці білки?

Скоріше за все, вони беруть участь у обміні сигналів між клітинами. У тварин може бути відсутня нервова система, але інформація між клітинами якимось чином поширюється. Це ще один приклад того, що більшість еволюційних змін виникають не на порожньому місці, а збираються з

«підручного матеріалу», причому часто для радикальної зміни функції якогось білка, достатньо невеликих генетичних змін.

Кембрій характеризується помірним кліматом, материки без гір, на суходолі панують бактерії, ціанеї, у морях – зелені, бурі, діатомові, золотисті та евгленові водорості. Майже вся Європа була морським дном. Виникло багато типів тварин. Спостерігався розквіт скелетних безхребетних: трилобітів, археоціат, губок, коралів, молюсків, голкошкірих. У кінці кембрію з'являються перші хордові тварини на кшталт сучасного ланцетника.

2. **Ордовік.** На межі кембрію й ордовіку відбувається Каледонське горотворення. Утворилися гірські системи Гренландії, Алтаю, Скандинавії, Забайкалля, Монголії. Відбувається найбільша в історії Землі трансгресія моря, що призводить до розвитку водної біоти. Спостерігається розквіт трилобітів, з'являються гігантські ракоскорпіони (рис. 30).

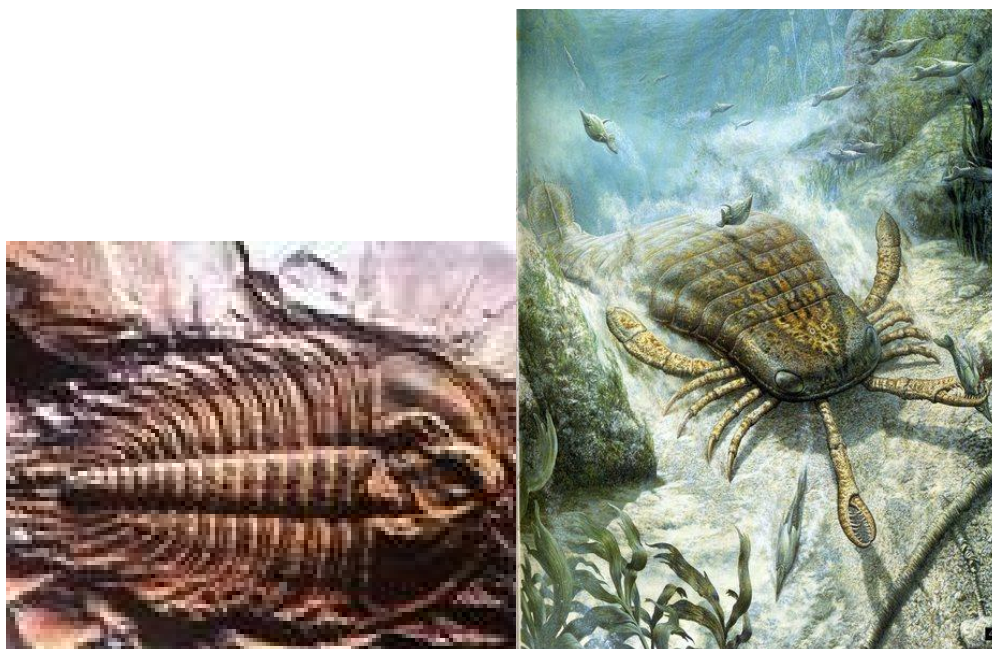


Рис. 30. Відбитки давніх трилобітів та реконструкція гігантського ракоскорпіона

З'являються псилофіти на кшталт *Rhynia*, *Asteroxylon* (рис. 31).

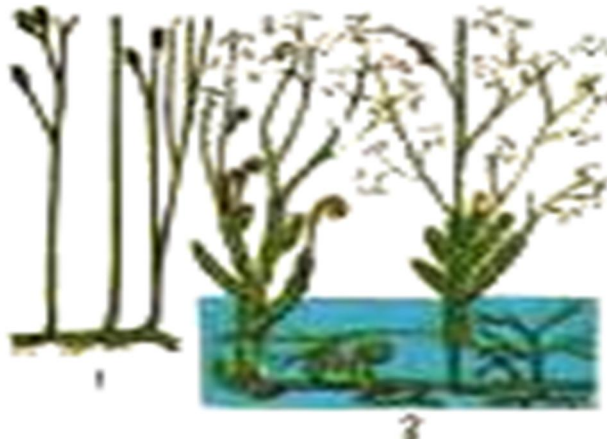


Рис. 31. Реконструкція *Rhynia*, *Asteroxylon*

Як стверджують палеонтологи, за останні 500 млн років на Землі відбулося **5 великих вимирань**. Це були суто природні вимирання – в силу обставин, які склалися на Землі чи у Сонячній системі. На початку 80-х років ХХ ст. Джек Сепковскі і Девід М. Роуп опублікували наукову роботу з статистичним аналізом палеонтологічного літопису морських безхребетних. У ній описувалася закономірність повторюваних масових вимирань, яка мала важливі наслідки для еволюційної історії життя на Землі (рис. 32).

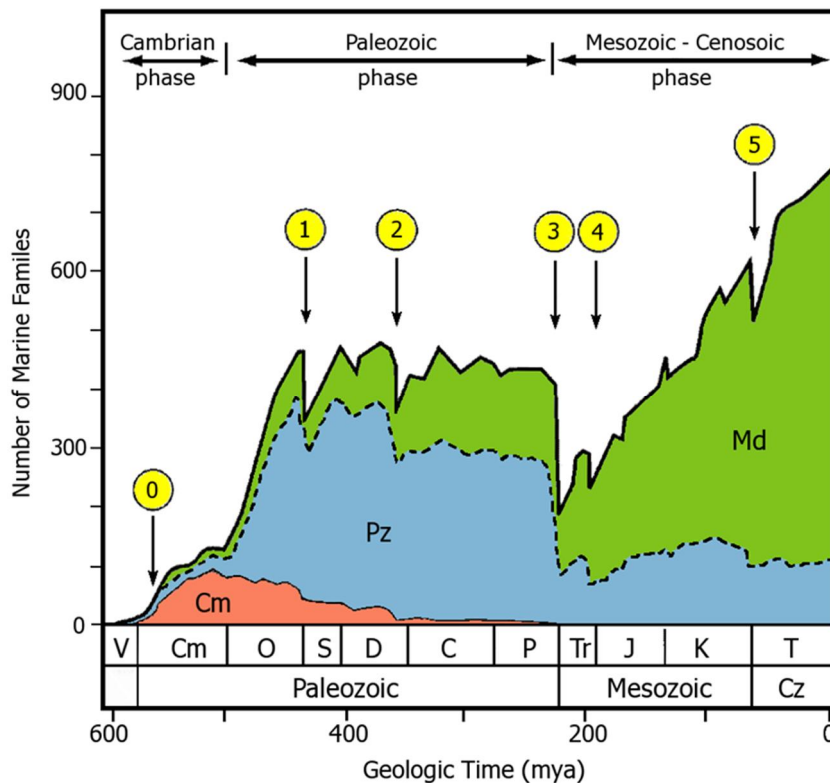


Рис. 32. П'ять великих вимирань в історії Землі (з роботи Д. Сепковскі та Д. Роупа)



### ***Ордовицько-силурійське вимирання (450-443 млн р. тому)***

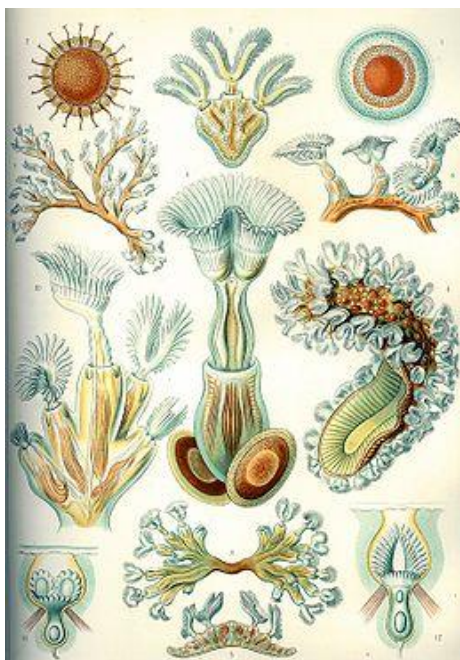
Це ***перше вимирання*** з великої п'ятірки масових вимирань в історії Землі, відомих на сьогодні. Загибло близько 60 % морських безхребетних, включаючи 2/3 усіх родин брахіопод та мохуваток (рис. 33, 34, 35). Особливо постраждали *брахіоподи, двостулкові молюски, голкошкірі, мохуватки, корали*.

Однією з причин міг бути рух Гондвани в напрямку південного полюсу. Це призвело до глобального похолодання, зледеніння та наступного падіння рівня Світового океану. Відступ межі океану зруйнував чи пошкодив місця проживання вздовж континентального узбережжя.

Дані про зледеніння були знайдені у відкладах пустелі Сахара. Чергування низького рівня світового океану, похолодання та утворення льодовиків, ймовірно, і було однією з причин цього вимирання.



*Рис. 33. Брахіоподи*



*Рис. 34. Мохуватки*



Рис. 35. Скам'янілості вимерлих організмів

3. **Силур.** Одна з найвизначніших подій силуру – **вихід рослин на сушу**. Цьому сприяла концентрація вільного кисню – до 10 % від сучасного стану, а також симбіоз рослин із грибами. Важливою подією була поява риб. З'являються двостулкові моллюски, перші павукоподібні, які мають трахейне дихання. У той же час зменшується кількість трилобітів, головоногих моллюсків, що свідчить про похолодання.

*Ароморфози силуру:*

- ✓ виникнення судинної системи у рослин;
- ✓ розчленування тіла на корінь, стебло, листки.

Впродовж багатьох років *Rhynia major* вважали першою наземною рослиною. Однак уже понад десятиліття відомо, що їй бракувало важливої ознаки наземної судинної рослини, а саме провідної тканини з типових трахеїдів. Вона має унікальну провідну тканину схожу на таку у мохів.

4. **Девон.** Характерною ознакою цього періоду є поява земноводних. Йде інтенсивне підняття суші, це період теплого та вологого клімату. Серед рослинних організмів у кінці девону з'являються перші плауни, хвощі, папороті, які утворювали перші ліси.

*Ароморфози девону:*

- ✓ виникнення легень;
- ✓ формування типової п'ятипалої кінцівки важільного типу.

**Девонське вимирання (372 млн р. тому)**

У кінці девону впродовж 500 тис чи 15 млн років тривало різке скорочення біорізноманіття на Землі (**друге велике вимирання біоти**). Вимерли: *рифоутворюючі організми* (коралові рифи відродилися лише з розвитком сучасних каралів у мезозої), *брахіоподи, трилобіти, усі панцирні риби* (рис. 36).



Рис. 36. Вимерлі організми у кінці девону (брахіоподи, трилобіти, панцирні риби)

Одну вагому причину великого вимирання на сьогодні вчені не вказують, скоріше за все діяв комплекс причин. Геологічні та палеонтологічні дані вказують, що причиною вимирання могла бути зміна рівня води Світового океану, а також зменшення вмісту кисню у воді (аноксія). В цей же час спостерігалася на деяких територіях – похолодання клімату. Крім того, в цей час спостерігалася висока океанічна активність вулканів, а також у якості пускових механізмів даного процесу низка вчених розглядають космічні чинники.

5. **Карбон.** Продовжується підняття суші, як результат Герцинського текторогенезу. Утворюються герциніди, це більша частина гір Західної Європи, Центральної Азії, Австралії, Атлаські гори, Апалачі, Тянь-Шань, гори Уралу. Формується океан Тетіс, материки – Гондвана і Лавразія. Вимирає значна кількість водної біоти.

Основні події: поява плазунів, наземних комах, перших голонасінних рослин.

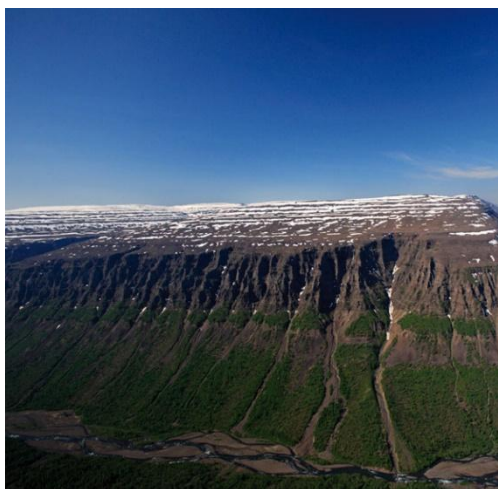
Ароморфози карбону:

- ✓ поява амніотичного яйця;
- ✓ кератинізація шкіри;
- ✓ поява метанефросу,
- ✓ формування насіння у рослин.

6. **Перм.** Це період регресії моря і **третього великого вимирання біоти** в історії Землі. *Це найбільше вимирання біоти в історії Землі.* Повністю вимерли

*трилобіти, стегоцефали, брахіоподи, гігантські спорові рослини, майже повністю наутіліди.* Також це період інтенсивної еволюції наземних комах та синапсидних форм рептилій.

Сьогодні, причиною пермського вимирання, більшість вчених вважають – виверження Сибірських трапів (рис. 37). Близько 251 млн р. тому почалося це виверження і тривало майже мільйон років. Це було справжнє пекло, найбільше за останні пів мільярда років. Найбільше за часів існування людини виверження вулкану Кракатау (1883 р.) призвело до загибелі 36 тис. чоловік. За масштабами вилив Сибірських трапів прирівнюється до 150 тис. вулканів Кракатау, стверджують фахівці. Це була найбільша катастрофа за час існування життя на Землі.



*Рис. 37. Плато Путорана на Таймирі утворене базальтовою лавиною, частина Сибірської трапової провінції, яка сформувалася близько 250 млн р. тому*

Раніше більшість фахівців вважали, що у кінці перму вимерло близько 95 % усієї флори та фауни, сьогодні китайські вчені припускають, що лише 60–70 %.

Дослідження вчених (січень 2012 р.) з Нанкінського інституту геології і палеонтології (Китай) говорять про те, що в цей час тварини вимирали через збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері, внаслідок потужної вулканічної діяльності.

Як наслідок надходження в атмосферу великої кількості вуглекислого газу та метану, спостерігалася глобальне потепління клімату (високі температури повітря +50–60°C і води + 40°C). Крім того, випадали на землю, вважають фахівці, потужні кислотні дощі.

У кінці перму склалися сприятливі умови для розвитку ще одного смертоносного вбивці – сіркобактерій, які виділяють сірководень. Вони активні у безкисневому середовищі. Саме такі умови, виходячи з детального аналізу

осадових порід, були в той час на Землі. Повітря і вода були згубними для більшості живих організмів.

*Більше дивіться і читайте в Інтернеті:*

1. Кембрійський період. Геологічні екскурсії Володимира Гриценка. <https://www.youtube.com/watch?v=nbvef4bt8ze>
2. Що відбувалось у силурійському періоді? <https://www.youtube.com/watch?v=C7U66adWgnk>
3. Чому девон називають періодом риб? <https://irp.te.ua/devonskyj-period-i-ternopilshhyna>
4. Чому карбонівий період називають кам'яновугільним. <http://terra.chnu.edu.ua/chomu-karbonovyj-period-nazyvayut-kamyanovugilnym>
5. Чому пермський період катастрофічний? <http://terra.chnu.edu.ua/chomu-permskyj-period-katastrofichnyj>
6. Скільки було масових вимирань <https://www.youtube.com/watch?v=Rd0mDMsO1AQ>
7. Як утворюються скам'янілості <https://www.youtube.com/watch?v=AqzzfhMdeRc&t=2855s>

### **Мезозойська ера**

Характерною ознакою є розквіт і вимирання низки груп плазунів та поява птахів та ссавців.

1. **Тріас.** З'являються вторинноводні групи рептилій на кшталт іхтіозаврів, плезіозаврів, а також крокодили і черепахи.

Ароморфоз: поява гомойотермії.

У 1991 р. Шанкр Чаттерджі описав викопну форму птаха, рештки якої були знайдені у верхньотріасових відкладах Техасу в США. На думку Чаттерджі, **протоавіс** мав низку пташиних ознак: будова окремих кісток черепа, хребців, кісток кінцівок та їх поясів, пропорції та значні розміри головного мозку, був здатен, скорше за все, до пасивного польоту.

**Тріасово-юрське вимирання (208-200 млн р. тому), четверте вимирання з п'ятірки найбільших.**

Вимерли: *конодонти* (ззовні нагадували сучасних міног, проте це скорше за все конвергентна схожість), *низка звірозубих ящерів* та значна кількість тогочасних *земноводних тварин*, майже 50 % видів (рис. 38).

Вимирання тривало близько 10 тис. років і відбувалося безпосередньо перед розпадом Пангеї. Ця подія звільнила екологічні ніші та сприяла в подальшому інтенсивному розвитку плазунів, зокрема і динозаврів.

#### **Причини вимирання:**

- Зміни клімату і флуктуації рівня океану.
- Падіння астероїда.
- Вулканічна активність.

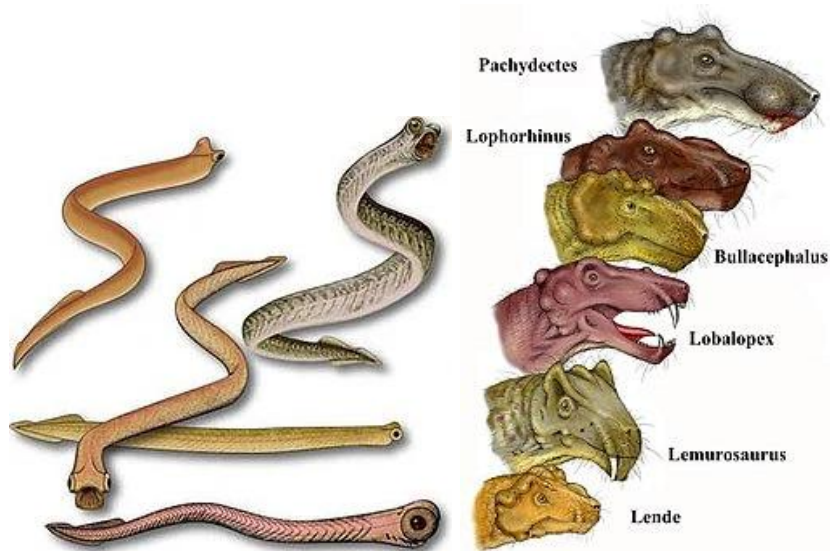


Рис. 38. Вимерлі організми (конодонти та звірозубі ящери)

2. **Юра.** Це період домінування гігантських форм рептилій. Великі розміри мають низку фізіологічних переваг, більші розміри вигідніші в енергетичному плані. Травоїдні форми – диплодоки, бронтозаври, масою до 100 т, довжиною до 30 м. Серед інших груп тварин інтенсивно розвивалися амоніти, черевоногі молюски, голкошкірі. З'явилися перші сумчасті. Відбувається подальший розвиток голонасінних рослин.

***Динозаври були пойкилотермними чи гомойотермними?***

Вже майже півстоліття точаться суперечки щодо того чи були динозаври повільними пойкилотермними рептиліями, чи жвавими гомойотермними, на кшталт птахів. Якщо у середині XIX ст., з легкої руки **Річарда Оуена**, динозаври вважались холоднокровними рептиліями, то наприкінці 1960-х знаний американський палеонтолог **Роберт Т. Бейкер** поставив під сумнів це твердження. З того часу дискусія лише розгоралася, однак, схоже, що ідея Бейкера нині таки перемогла.

Структура скелету динозаврів нетипова для пойкилотермних рептилій, а нагадує гомойотермних птахів. Дослідження будови скам'янілих каналів кровоносних судин у кістках динозаврів співставні з такими ж у гомойотермних тварин.

Крім того, знахідки полярних динозаврів у Австралії (у ті часи цей материк був частиною Антарктиди), коли там півроку панувала полярна ніч, а температура була набагато нижче нуля, не давала права на життя пойкилотермним динозаврам, як і сьогоднішнім плазунам у Заполяр'ї. До прикладу, теплокровність брахіозаврів сьогодні є доведеним фактом.

Проте, вчені абсолютно не категоричні щодо теплокровності динозаврів, вважаючи, що ця постійна температура тіла могла виникнути через велетенські розміри тварин.

Так, камарозаври сягали від 15 до 23 м та важили до 50 т, а брахіозаври – 25 м та вагою 38 т. Це були, воістину, величезні тварини!

Велика маса м'язів під час руху могла спричинювати самонагрівання тіла, і тоді виникала інша проблема – не збереження тепла, а охолодження тіла. Вчені припускають, що довгі шия і хвіст, власне, й виконували функції тих радіаторів, які охолоджували тіло (як великі вуха у слонів, що мають те ж призначення). Ця гіпотеза отримала навіть свою особливу назву – *велетотермія* (гігантотермія), що пов'язує не тільки постійну температуру тіла динозаврів, а й їхній метаболізм.

Наразі, дискусія про теплокровність динозаврів перейшла у русло визнання їх частково теплокровними або чогось, на кшталт, перехідної ланки між пойкилотермними та гоміотермними тваринами. Тож попереду нас ще очікує дуже цікава розв'язка цієї історії.

Схоже, що філософська дилема про первинність курки чи яйця вирішилася на користь останнього. Адже поведінка насиджувати яйця так, як то роблять птахи, з'явилася задовго до виникнення цих пернатих тварин. І, власне, «авторами» цього стали динозаври.

У 1924 р. Генрі Озборн описав скелет динозавра, знайденого у пустелі Гобі (Монголія). Залишки древньої тварини лежали на кладці яєць, як тоді вважали, динозавра безрога *Ендрюса*. Озборн був впевненим, що динозавр був злодієм-розорювачем чужих гнізд, живлячись яйцями, відповідно, він і назвав його *яйцекрад*, більш відомого як овіраптор (рис. 39).



Рис. 39. Кістяк та яйця самки дрібного динозавра *Цитіпаті*, яка загинула під час насиджування на гнізді

Знадобилося цілих 70 років, щоб довести, що яйцекрад зовсім не крав яєць, а був турботливою матір'ю, яка насиджувала власне потомство. Згодом, палеонтологи віднайшли гнізда інших дрібних динозаврів, які насиджували яйця.

Склалася ситуація, що відомості про насиджування яєць дрібними динозаврами-тероподами широко відомі й не викликають сумнівів, то стосовно велетенських динозаврів, на кшталт, тиранозавра, питання залишалося відкритим до останнього часу.

Уявіть собі, ця тварина важила 6,5-7 т. Тобто, сідаючи на кладку яєць, вона б її просто роздушила своєю масою. Тому вчені припускали, що велетенські тероподи будували гнізда із ґрунту і рослинних решток, як це роблять крокодили, або ж просто закопували їх у ґрунт, як черепахи. У таких гніздах яйця інкубувалися.

Вчені вивчили пористість шкаралупи і порівняли її з птахами та крокодилами. Як з'ясувалося, у велетенських динозаврів пористість шкаралупи яєць дуже близька до такої у птахів. Висновок напрашується такий – гнізда цих тварин були відкритого типу, і очевидно, яйця насиджувалися.

Але ж як такі важкі тварини здійснювали насиджування?

Відповідь на це запитання дає форма скам'янілих гнізд і особливості кладки яєць. Виявляється, яйця дрібних тероподів лежали у гнізді як у більшості сучасних птахів – невеликою купою. У велетенських динозаврів яйця у гніздах були викладені у великі кільця з вільним простором у центрі, достатнім, щоб самка могла спокійно сісти, не розчавивши майбутніх нащадків (рис. 40).

Така поведінка свідчить не лише про наявність у динозаврів турботи про нащадків, а й опосередковано про їх гомойотермність.



Рис. 40. Гніздо велетенського тероподового динозавра, ймовірно гігантозавра



Сенс вигрівати яйця є тоді, коли температура тіла вища за температуру навколишнього середовища. Окрім того, насиджування яєць, розкладених у велике кільце довкола самки є доцільним лише у випадку пір'яного покриву тіла великих динозаврів. Адже прикриті пір'ям, гарним теплоізолятором, яйця б рівномірно зігрівалися, тоді як голий, хоча й гомойотермний динозавр, нагрівав би їх лише з одного боку.

3. *Крейда.* Інтенсивно проявляється Альпійське горотворення. Формуються Середземне, Чорне, Каспійське моря, гірські системи Альп, Піренеїв, Апеннін, Карпат, Кримські гори, Кавказькі, Памір.

Територія України була затоплена водою, внаслідок чого інтенсивно розвивалися планктонні форамініфери, які разом із золотавими водоростями утворили потужні поклади вапняків.

Ароморфози:

- ✓ поява квіткових рослин (поява квітки, подвійного запліднення), їх розвиток був тісно пов'язаний з еволюцією комах;
- ✓ поява плацентарних ссавців (утворення плаценти, живородіння).

Серед птахів з'явилися справжні неорнісові птахи, а саме: гесперорніси та іхтіорніси (зубаті птахи).

22 липня 1879 року, у листі до свого друга ботаніка Джозефа Гукера, – саме того, який довів хижацтво непентесів, – Чарльз Дарвін написав про свою «жахливу таємницю». Навіть більш, ніж через століття, сучасні вчені продовжують дискусію про «жахливу таємницю» Дарвіна. Він так назвав не подію з власного життя, а **походження квіткових рослин**.

Поява скам'янілих відбитків квіткових рослин у геологічному літописі Землі є раптовою. Вчені не можуть віднайти проміжних форм, які могли б зв'язати покритонасінних з їх гіпотетичними предками: або насінними папоротями, або голонасінними...

*Коли з'явилися квіткові рослини?*

Найбільш ранні, з відомих скам'янілих знахідок, які палеоботаніки впевнено відносять до покритонасінних, є кілька видів роду Древньоплідник (рис. 41). Нині відомо кілька видів цих дивовижних викопних рослин із території Китаю, які датуються пізнім юрським і раннім крейдовим періодами (приблизно 140-120 млн р. тому). Цікаво, що поруч зі знахідками древньоплідників на відбитках часто є скам'янілі скелети риб – це дало підстави реконструювати ці рослини як жителів водойм.



Рис. 41. Скам'янілий відбиток древньоплідника китайського

За палеонтологічними знахідками з північного сходу Китаю, покритонасінні уже існували на початку юрського періоду (170-160 млн р. тому). Палеоботаніки віднайшли скам'янілі суцвіття шмейснерії дрібноколоскової, яку раніше вважали представницею голонасінних (гінкгові).

Однак, вченим вдалося виявити у неї макростробіл (рослинні жіночі органи розмноження) закриті маточки, що є типовим для покритонасінних. У світлі цього відкриття, біологи припускають, що покритонасінні з'явилися у пізньому тріасі (230-220 млн р. тому).

Цікаві відомості дають хімічні дослідження скам'янілих решток гігантоптерид – насінних папоротей, які існували у пізньому перму. Виявилося, що вони містять вторинні метаболіти – *олеанани*, які продукуються виключно покритонасінними для відлякування шкідників.

Зрештою, гігантоптериди мали багато морфологічних ознак подібності з квітковими, однак, якихось доказів, що квіти були наявні у них самих, наразі, немає.

Сучасні генетичні дослідження свідчать, що перші квіткові рослини з'явилися не пізніше 215 млн р. тому – на межі тріасу та юри.

#### *Живі викопні рослини*

Найдревніша із відомих сучасних квіткових рослин – *амбробела волосоніжка* – зростає на невеликому південно тихоокеанському острові Нова Каледонія, який, разом із Новою Зеландією, є залишком древнього материка Зеландії (рис. 42). Як у Новій Зеландії, так і на Новій Каледонії – у цілковитій ізоляції, збереглися реліктові екосистеми, які майже не змінилися з часів динозаврів.



*Рис. 42. Амбробела волосоніжка*

За багатьма ознаками амбробела є унікальною квітковою рослиною, оскільки має низку анатомічних особливостей, котрі притаманні голонасінним. Зокрема будова ксилеми та квітів. Генетичні дослідження свідчать, що амбробела є надзвичайно древньою рослиною, яка з'явилася на Землі наприкінці юри (понад 135 млн р. тому).

Звичне усім латаття біле є дуже древньою рослиною. Скам'янілі відбитки латаття відомі із нижньої крейди (близько 130 млн р. тому).

У лісах австралійського штату Квінсленд зростає два реліктово-ендемічні види ліан роду Австробайлея (рис. 43). Вони поєднують у собі цілу низку архаїчних ознак, поруч із проявами особливостей високої спеціалізації.

У *саркандри голої*, що зростає у Японії, провідна система взагалі відсутня (рис. 44).



*Рис. 43. Ліана роду Австробайлея*



Рис. 44. Саркандра гола

### *Острівний ефект чи брак нітрогену?*

Пояснити чому квіткові рослини так несподівано з'явилися на юрсько-крейдовій межі, означало б розкрити «жахливу таємницю» Дарвіна. Вчені висунули низку гіпотез, однак, жодна з них не дає вичерпної і ґрунтовної відповіді.

Одна з них – *гіпотеза острівного ефекту*. Відсутність проміжних форм між голонасінними та квітковими, а також їх експансія понад 100 млн р. тому, може пояснюватись їх виникненням і розвитком на ізольованому острові чи архіпелазі. Не маючи зв'язку з материковим світом, рослини острова чи островів еволюціонували своїм особливим шляхом, і дали початок покритонасінним.

Аналогічні процеси спостерігаються і сьогодні, до прикладу, на островах Фіджі. Екстремальні острівні умови відкритого океану вимагали від рослин розвитку радикальних та принципово нових способів розмноження і пристосувань для підвищення виживання нащадків.

Ця гіпотеза є цікавою та привабливою, однак, її важко довести – потрібно знайти «ті самі острови». Одним із претендентів на роль центру виникнення покритонасінних є Китай, на місці якого, впродовж більшої частини мезозою, був ізольований архіпелаг.

Проте, ця гіпотеза не здатна пояснити знахідки *санмітвелії Левіса* та ще кількох інших видів, орієнтовно, квіткових рослин у самісінькому центрі колишнього суперматерика Пангеї.

На противагу острівній, існує *екологічна гіпотеза*, яка припускає, що квіткові рослини розвивалися поступово і одночасно в усіх частинах древнього світу, однак перебували під пресом з боку голонасінних і папоротей, які не утворювали потужних шарів ґрунту з достатньою кількістю доступного нітрогену.

Покритонасінні є швидкорослими рослинами, які потребують великої кількості поживних речовин для свого розвитку.

Саме розвиток симбіотичних взаємин із азотфіксуючими бактеріями визначив швидку експансію покритонасінних на юрсько-крейдовій межі. Свідченням цього є дослідження життєвих форм та стратегій древніх квіткових, вони були однорічні або дворічні рослини з типовою для бур'янів реактивною стратегією.

Квіткові надзвичайно швидко заселяли території, які зазнавали дії дестабілізуючих чинників, наприклад, пожеж, повеней, селевих потоків, зсувів тощо, загалом, займаючи маргінальні екологічні ніші у наземних палеоекосистемах. І тільки згодом еволюціонували у чагарникові та деревні форми, такі як магнолії.

Зрештою «жахлива таємниця» Чарльза Дарвіна і надалі залишається не розкритою, хоча з кожним днем наближається час, коли і з неї буде зірвано завісу невідомого.

У кінці крейди починається *п'яте велике вимирання біоти* (за одними даними – дуже швидко впродовж 10-12 тис. р., за іншими – впродовж декількох млн р.), це найвідоміше вимирання. Варто зазначити, що це вимирання, як і вимирання перму не було «світовою катастрофою», у тропічному поясі суттєвих змін не було. Вимерли: *головноногі молюски, амоніти* з різнокольоровими закрученими раковинами і схожі на кальмарів *белемніти*, а також *динозаври, плезіозаври, мезозаври, птерозаври*, багато *дрібних водоростей*.

#### ***Гіпотези щодо вимирання динозаврів:***

- *Вулканічна гіпотеза* вперше висловлена Жоржем Кюв'є. Проте вулканічна діяльність була високою впродовж усього фанерозою. Відомий кліматолог М. Будико стверджує, що вулканічна діяльність призводить до зменшення сонячної активності на 50 %, а середньої температури повітря на 5 – 10°C. Проте чому вимерли тропічні види, якщо там змін клімату не було? Проте, наприклад, крокодили вижили. На такі запитання ця гіпотеза відповіді не дає.
- *Імпактна гіпотеза* запропонована Луїсом Альваресом. Причина – зіткнення з одним або декількома астероїдами або кометою (з англ. *impact* – поштовх, удар). Як доказ – збільшення у 30 разів вмісту іридію, якому приписують астероїдне походження. Проте, при падінні астероїдів повинні лишатися кратери великі за розмірами. На сьогодні таких кратерів не виявлено. Прихильники гіпотези вважають що кратер знаходиться у водах Світового океану.

Одним із доказів прихильники гіпотези вважають ударний кратер діаметром 180 км<sup>2</sup> на півострові Юкатан, утворений падінням Чіксулубського метеориту (з мови майя «демон кліщів»).

Сьогодні активно вивчаються Деканські трапи – потужні лавові відклади віком 65,5-66,5 млн р., поширені на території Західної і Центральної Індії. Радіоактивне датування підтверджує зв'язок між падінням Чіксулубського метеориту та посиленням трапового вулканізму. Ще одна з гіпотез вимирання динозаврів: *гіпотеза метеоритного дощу* (рис. 45).

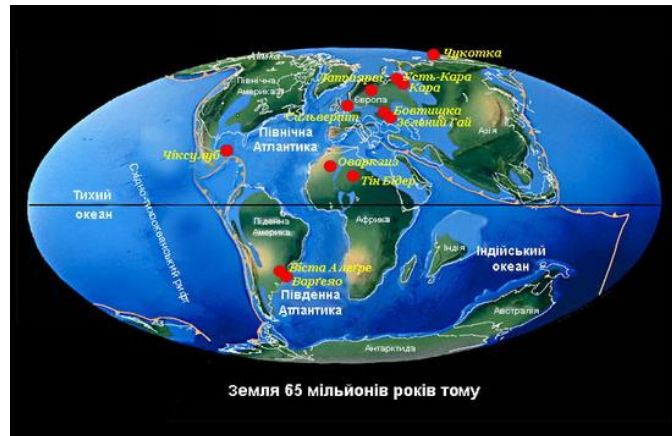


Рис. 45. Розміщення метеоритних кратерів, що впали на Землю приблизно 65 млн р. тому

Заперечення гіпотези: джерелом іридію є також мантія Землі; є чимало великих кратерів на Таймирі, поблизу берегів Канади, проте, в інші періоди коли істотних змін у складі живої матерії Землі не відбувалося.

- *Мутаційна гіпотеза.* У 1968 р. на території Франції були знайдені яйця динозаврів. Вони мали дуже товсту шкаралупу, що складалася з декількох шарів, це, так зване, явище «яйця в яйці». Така оболонка перешкоджає надходженню до зародка кисню і він гине. Вважають що причиною цього патологічного явища було різке збільшення мутацій, викликаних дією космічних причин, що й призвело до гормональних дефектів у рептилій та порушення репродукції.
- *Гіпотеза про вплив покритонасінних рослин.* Вважають, що експансія покритонасінних призвела до вимирання динозаврів. Проте, покритонасінні, як запевняють ботаніки, з'явилися за 45 млн р. до вимирання цих тварин. Ще один варіант – можливо у динозаврів була алергія на пилок квіткових рослин.
- *Кліматична гіпотеза.* У травні 2005 р. в журналі «У світі науки» була опублікована стаття вчених Д. Краузе і Р. Роджера «Детектив крейдяного періоду». У статті, яка написана на основі проведених розкопок на Мадагаскарі, мова йде про те, що динозаврів цього острова вбила засуха. Про засухи на інших територіях мова не йде.
- *Ентомологічна гіпотеза.* Причиною вимирання, вважають фахівці, стали епізоотії. У динозаврів був відсутній імунітет до інфекції яка поширювалася кліщами, нематодами, жалючими комахами. Динозаври почали хворіти, а згодом вимерли.

- *Гіпотеза про періодичність вимирань у світі.* Ця гіпотеза базується на статистичній обробці палеонтологічного матеріалу. На початку 80-х років ХХ ст. старі уявлення про спалахи наднових зірок отримали несподіваний розвиток. Американські та англійські астрономи Д. Уайтмор, Р. Меллер, А. Джексон висунули гіпотезу, за якою періодичні масові вимирання могли бути викликані, ще не відкритою зіркою Немезидою. Кожні 26 млн років Немезида наближається до Землі, рухаючись еліптичною орбітою. Це призводить до падіння на Землю значної кількості астероїдів, відповідно підвищується рівень радіоактивного опромінення.
- Ще одна екстравагантна гіпотеза була висунута вченими. Стосується вона лише тиранозаврів. *Тиранозаври, припускають фахівці, масово гинули від запалення горла.* Вчені встановили, що смертоносні *Tyrannosaurus rex* страждали від трихомонозу – захворювання, характерного для багатьох сучасних птахів. Стаття вчених з'явилась у журналі *Plos one*. У рамках дослідження палеонтологи вивчили рештки 65 тиранозаврів. Зокрема, вчених цікавили сліди на щелепах, які раніше пояснювалися сутичками між динозаврами. В результаті, вчені виявили у більшості тварин отвори з дуже рівними краями, що зовсім не характерно для слідів боротьби. Ці сліди, напевно, є результатом хвороби. Найбільш ймовірною є аналог трихомонозу – хвороби, що викликається одноклітинним паразитом *Trichomonas gallinae*.

**Кайнозойська ера** характеризується розквітом ссавців, птахів, комах, голонасінних і покритонасінних.

**1. Палеоген** (палеоцен, еоцен, олігоцен). У палеогені відмічена тенденція до аридизації. В середині палеоцену різноманітність ссавців значно збільшилася. До кінця еоцену сформувалися всі основні ряди ссавців. Архаїчними копитними були кондилартри (Південна Америка). Більше спеціалізовані форми копитних – уїнтатерії, диноцерати (найбільші копитні того часу) вимерли у кінці еоцену, не витримавши конкуренції з прогресивнішими групами копитних. Згодом парнокопитні були витіснені непарнокопитними, гризунами, зайцеподібними.

**2. Неоген.** Впродовж неогену відбулося значне підвищення материків, що супроводжувалося морською регресією, поступовою посушливістю клімату і прогресуючим розвитком відкритих ландшафтів. Одночасно відбувалося поступове зниження середніх температур на поверхні землі. Почали переважати наземні тварини, пристосовані до життя у відкритих і відносно сухих місцях (лісостепів, степів і саван).

У середині неогену широко розповсюдилися примати, зокрема й антропоморфні (перші примати з'явилися ще в кінці мезозойської ери). *У неогені антропоморфні примати досягли найвищого розквіту.*

**3. Антропоген (плейстоцен, голоцен).** На межі плейстоцену і голоцену (10 тис р. тому) відбулися суттєві зміни клімату – зледеніння на всій території, які призвели до кардинальних змін в історії фауни, що характеризує ще одне вимирання біоти в історії Землі (до п'ятірки великих воно не входить). Вимерли представники мамутової фауни: мамути, печерні ведмеді, гігантські лінивці, гіллясторогі олені, шерстисті носороги тощо.

*Ймовірні причини вимирання мамутової фауни:*

- антропогенний вплив;
- кліматичні зміни, що вплинули на зміну флори (корму);
- скорочення популяцій виду;
- туберкульоз кісток;
- дія «загадкового вірусу».

Мамути заселяли усі континенти окрім Австралії. Вчені з'ясували причину вимирання мамутів на о. Врангеля (300-1000 особин). Основна причина – ізоляція, що в подальшому призвела до імбридингу, а згодом до виникнення низки мутацій.

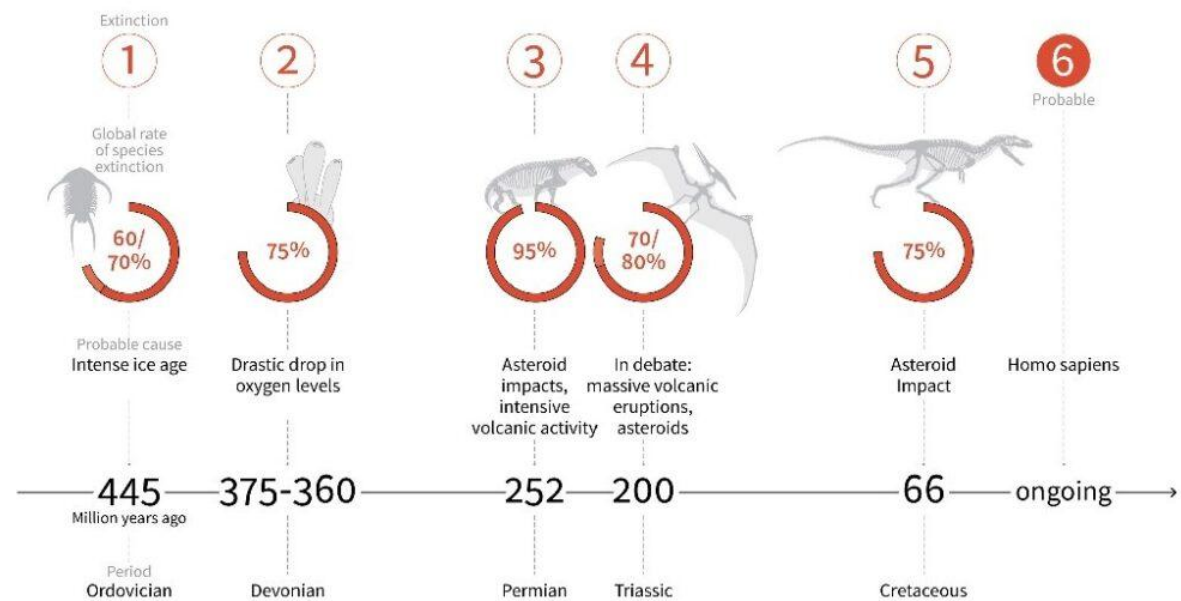
У порівнянні із 40-тисячолітніми зразками сибірських мамутів, у врангелівських виявлено численні делеції (випадіння окремих основ у послідовностях ДНК), нонсенс-мутації (мутації, що зупиняють синтез білка) та ретрогени (обернено переписані гени з РНК на ДНК), які, хоча й не були смертельними, проте однозначно знижували шанси популяції на виживання. Цікаво, що більшість делецій у мамутових геномах приурочені до генів, що відповідають за метаболізм. Тобто, врангелівські мамути значно відрізнялися за обмінними процесами від вимерлих раніше сибірських популяцій.

Вчені вважають, що сьогодні людство стоїть на порозі шостого великого вимирання біоти (рис. 45). Проте, вчені Гавайського університету Маноа опублікували дослідження, в якому стверджують, що шосте масове вимирання живих істот на планеті вже триває. Про це свідчить серйозне скорочення біорізноманіття на Землі.



## Earth's "mass extinctions"

During the last 500 million years, Earth has experienced five periods when at least half the living creatures were wiped out



Sources: National Geographic, Encyclopedia Britannica, scientific studies

AFP

Рис. 45. Графік масових вимирань на Землі за останні 500 млн років

Часто, оцінюючи темпи вимирання на Землі, основну увагу приділяють зникненню ссавців і птахів, і це ніби є відображенням вимирання всього біорізноманіття. Починаючи з 1500 року нашої ери на Землі вимерли 1,5% відомих видів ссавців і птахів. І це звичайна швидкість зникнення видів, фонове вимирання між подіями масового вимирання, згідно зі звітами МСОП.

Але якщо поглянути на кількість безхребетних, котрі вимерли, то ситуація виглядає набагато гірше. Учені стверджують, що МСОП не враховує більшу частину біорізноманіття в оцінці загрози вимирання. До прикладу, безхребетні становлять переважну більшість видів тварин на планеті. Дехто навіть вважає, що це 97%. Якщо зважити на показники вимирання безхребетних, то з 1500 року нашої ери вимерли від 7,5 до 13% усіх відомих видів тварин і рослин, кажуть учені в новому дослідженні.

Поточні показники вимирання набагато вищі, ніж темпи фонового вимирання. Вчені стверджують, що врятувати всі види земного біорізноманіття не вдасться, але якщо враховувати все багатство біорізноманіття і зосередити свою увагу на більшості видів, котрі зникають, то можливо їх вдасться зберегти для майбутніх поколінь. Оскільки події масового вимирання можуть тривати мільйони років, можливо, ми є свідками шостого глобального вимирання.

*Більше дивіться і читайте в Інтернеті:*

1. *П'ять найбільших масових вимирань* <https://extinctworld.in.ua/5-najbilshyh-masovyh-vuturan/>
2. *Все, що ви хотіли дізнатися про динозаврів. Ч.1.*  
<https://www.youtube.com/watch?v=p3b32ekezvi>
3. *Тиранозавр з пір'ям? Колір вимерлих істот. Все, що ви хотіли дізнатися про динозаврів. Ч. 2.* <https://www.youtube.com/watch?v=0moupj9exqs>
4. *Дарунок мецената (Мезозавр)* <https://www.youtube.com/watch?v=yMn2VxI8K34>
5. *Шаблезубі «коти»* [https://www.youtube.com/watch?v=7FjD\\_AMayfo](https://www.youtube.com/watch?v=7FjD_AMayfo)
6. *Доісторичні тварини, які жили на території України*  
[https://www.youtube.com/watch?v=2MwO-Ta\\_tSY](https://www.youtube.com/watch?v=2MwO-Ta_tSY)
7. *Еласмотерій* <https://www.youtube.com/watch?v=71dtR7QJ86s>
8. *ТОП -10 гігантів минулого серед птахів*  
[https://www.youtube.com/watch?v=DbLI9Fy\\_kFw](https://www.youtube.com/watch?v=DbLI9Fy_kFw)
9. *Парацетерій* <https://www.youtube.com/watch?v=kl8f0tAWi0o>
10. *Волохатий носоріг* <https://www.youtube.com/watch?v=Y4GTMot6HQk>
11. *Втрачений світ динозаврів* <https://www.youtube.com/watch?v=BJmfCxfbF8k&t=195s>
12. *Втрачений світ динозаврів-2* <https://www.youtube.com/watch?v=jeKJJAAREFs>
13. *Наука та вигадки «Доісторичної планети»*  
<https://www.youtube.com/watch?v=QEhfkRHHHKA>
14. *20 найцікавіших рептилок динозаврів 2021 року*  
<https://www.youtube.com/watch?v=6CFceZhsXiY&t=46s>

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Докинз Р. Самое грандиозное шоу на Земле : доказательства эволюции. М. : Астрель : CORPUS, 2012. 496 с.
2. Елізабет Колберт. Шосте вимірання : неприродна історія. Київ : Наш формат, 2016. 280 с.
3. Кузьменко Л.П., Власенко Р.П., Марисова І.В. Зоологія (анатомо-фізіологічні особливості та еволюційна історія хордових). Навчально-методичний посібник. Ніжин : Редакційно-видавничий відділ, 2019. 300 с.
4. Кузьменко Л.П. Еволюційна біологія : конспект лекцій. Ніжин : НДУ ім. Миколи Гоголя, 2020. 138 с.
5. Марков А. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня: неожиданные открытия и новые вопросы. м : Астрель : CORPUS, 2010. 527 с.

# ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
Походження життя на Землі.....	4
Гіпотеза креаціонізму .....	4
Історія розвитку і формування гіпотези самозародження життя (абіогенезу) .....	4
Гіпотеза панспермії .....	8
Історія розвитку і формування гіпотези самозародження життя (продовження).....	8
Теорія РНК - світу .....	12
Геохронологічна шкала Землі .....	17
Характеристика основних етапів розвитку життя на Землі .....	18
Гадей або Катархейський еон.....	18
Архейський еон.....	18
Протерозойський еон .....	21
Походження еукаріотів.....	23
Походження багатоклітинних організмів .....	29
Фанерозойський еон.....	34
Палеозойська ера .....	34
Кембрій .....	34
Ордовік .....	34
Ордовицько-силурійське вимирання.....	40
Силур .....	41
Девон .....	41
Девонське вимирання .....	41
Карбон .....	42
Перм .....	42
Пермське вимирання .....	42
Мезозойська ера .....	44

Тріас.....	44
Тріасово-юрське вимирання .....	44
Юра.....	45
Динозаври були пойкилотермними чи гомойотермними ...	45
Крейда .....	48
Походження квіткових .....	48
Вимирання в кінці крейди .....	52
Кайнозойська ера .....	54
Палеоген.....	54
Неоген .....	54
Антропоген .....	55
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	57

Навчальне видання

**КУЗЬМЕНКО Л. П.**

**ІСТОРІЯ  
РОЗВИТКУ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ**

*Навчально-методичний посібник*

Технічний редактор – І. П. Борис

*Книга друкується з оригінал-макету замовника.*

---

Підписано до друку 20.02.23 р.	Формат 60x84/16	Папір офсетний
Гарнітура Times	Обл.-вид. арк. 2,33	Електронне вид-ня
Замовлення № 717	Ум. друк. арк. 3,48	

---



Ніжинський державний університет  
імені Миколи Гоголя.  
м. Ніжин, вул. Воздвиженська, 3<sup>А</sup>  
(04631) 7–19–72  
E-mail: [vidavn\\_ndu@ukr.net](mailto:vidavn_ndu@ukr.net)  
[www.ndu.edu.ua](http://www.ndu.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 2137 від 29.03.05 р.