**Тема 4. Походження життя НА ЗЕМЛІ**

***План:***

1. Наукові теорії про причини виникнення життя на Землі.
2. Сучасний стан проблеми походження життя. Поява життя на Землі.
3. Етапи формування і розвитку біосфери.
4. Поява царств рослин і тварин.

1. Наукові теорії про причини виникнення життя на Землі. Біосфера Землі.

Протягом століть змінювалися погляди на цю проблему і було висловлено велику кількість самих різноманітних гіпотез і концепцій. Деякі з них отримали широке поширення і домінували в ті чи інші періоди розвитку природознавства. До такого роду концепцій походження життя відносять:

1) **креаціонізм**, який стверджує, що життя створене надприродною істотою в результаті акту творення;

2) концепцію **стаціонарного стану**, відповідно до якої життя існувало завжди;

3) концепцію **самовільного зародження життя**, що ґрунтується на ідеї багаторазового виникнення життя з неживої речовини;

4) концепцію **панспермії**, яка стверджує, що життя занесене на Землю з космосу;

5) концепцію **випадкового одноразового** походження життя;

6) концепцію закономірного походження життя **шляхом біохімічної еволюції**.

Така різноманітність поглядів викликана тією обставиною, що точно відтворити або експериментально підтвердити процес зародження життя сьогодні неможливо. Зазначені теорії переважно спираються на умоглядні уявлення як дослідників природничо-наукового напрямку, так і дослідників, які дотримуються теологічних (релігійних) поглядів.

1) **Концепція креаціонізму** має найдовшу історію, оскільки практично у всіх релігіях виникнення життя розглядається як акт Божественного творіння, свідченням чого є наявність у живих організмах особливої сили, яка управляє всіма біологічними процесами. Процес божественного створення світу і живого недоступний для спостереження, і божественний задум недоступний людському розумінню.

Цікаво в креаціонізм було вирішено питання про тривалість акту творення світу. У Біблії сказано, що Бог створив світ за шість днів. Деякі християнські теологи вірять, що це були звичайні дні по 24 години. Інші богослови ставилися до біблійних текстів як до алегорій і вважали, що кожен день творіння займав тисячу років. Але у всіх випадках міркування про походження життя базуються лише на вірі в біблійні одкровення, сумніватися в яких не можна. Наукові ж істини, відповідно до принципу фальсифікації, завжди ставляться під сумнів.

Таким чином, концепція креаціонізму, по суті, наукової не є, адже вона виникла в рамках релігійного світогляду. Вона стверджує, що життя таке, яким воно є, тому що таким його створив Бог. Тим самим практично знімається питання про наукове вирішенні проблеми походження життя, оскільки всі релігії вимагають приймати це положення на віру, без доказів. Проте, концепція креаціонізму продовжувала і продовжує користуватися досить великою популярністю.

2) **Концепція стаціонарного стану.** Прихильники теорії вічного існування життя вважають, що Земля ніколи не виникала, а існувала вічно, і разом з нею завжди існували різні види живого. При цьому якісь з видів при зміні умов навколишнього середовища вимерли, якісь перемістилися в нові біологічні ніші, а якісь різко поміняли чисельність. Велика частина аргументів на користь цієї теорії заснована на дослідженнях палеонтологів, що виявили зникнення деяких видів тварин у процесі еволюції, відсутність слідів перехідних ланок між різними видами живого і все більш високими оцінками віку Землі. Саме тому прихильники теорії стаціонарного стану заявляють, що життя на Землі ніколи не виникало, а існувало завжди. В різні геологічні епохи змінювалися лише форми життя. Також вони вважають, що і види тварин ніколи не виникали, а також існували завжди, що у кожного виду є лише дві можливості існування: зміна чисельності або вимирання. Строго кажучи, цю теорію не можна відносити до концепцій походження життя, оскільки питання про походження життя в ній принципово не стоїть: життя розглядається як вічно існуюче.

3) Дана концепція (**самовільного зародження життя)** також зародилася давно і довгий час була єдиною альтернативної креаціонізму. Ідея про самовільне зародження життя з’явилася в результаті повсякденних спостережень за тим, як в сміттєвих купах, гниючих рештках постійно з’являються личинки, черв’яки, мухи. Оскільки про існування мікроорганізмів в ті далекі часи не було нічого відомо, то вважалося, що всі нижчі організми з’являються шляхом самозародження. Вчені Середньовіччя, наприклад, допускали, що риби могли зародитися з мулу, миші – з бруду, мухи – з м’яса і т.ін. Подібних поглядів дотримувалися багато відомих учених (Аристотель, Парацельс, Коперник, Галілей, Декарт та ін.), завдяки авторитету яких концепція самовільного зародження життя змогла існувати так довго.

Однак, починаючи з XVII ст., стали накопичуватися дані, що суперечили такому розумінню походження життя. У 1668 р. італійський натураліст і лікар Ф. Реді провів серію дослідів, якими довів, що білі черви в гниючому м’ясі є не що інше, як личинки мух. Його досліди були простими і переконливими. У кілька посудин він поклав шматочки м’яса. Частина цих посудин він залишив відкритими, а частину прикрив матерією, що пропускала повітря. Незабаром у перших посудинах з’явилися личинки мух, а в прикритих судинах їх не було. Тим самим він довів неможливість самозародження черв’яків з гниючого м’яса за відсутності мух. В результаті проведених дослідів Ф. Реді сформулював свій знаменитий принцип: «Все живе – від живого». Тому Ф. Реді став основоположником *концепції біогенезу*, яка стверджувала, що життя виникає тільки з попереднього життя.

Незважаючи на переконливість дослідів Ф. Реді, суперечки навколо цієї теорії тривали аж до середини XIX ст., коли знаменитий французький вчений Луї Пастер своїми простими і оригінальними дослідами остаточно довів неможливість самозародження найпростіших організмів. Досліди Л. Пастера продемонстрували, що мікроорганізми з’являються в органічних розчинах в силу того, що туди були раніше занесені їх зародки. Якщо ж посудину з живильним середовищем захистити від занесення в нього мікробів, провівши стерилізацію (пастеризацію), то ніякого самозародження не відбудеться. Досліди Л. Пастера підтвердили принцип Ф. Реді і показали наукову неспроможність концепції спонтанного самозародження організмів. Але, спростувавши цю концепцію, Л. Пастер, на жаль, не запропонував жодної іншої ідеї. Тому в середині XIX ст. наука не могла нічого сказати про те, як виникло життя на Землі. Концепція самозародження життя, незважаючи на свою помилковість, зіграла позитивну роль у розвитку природознавства, оскільки досліди, покликані підтвердити її, допомогли отримати багатий емпіричний матеріал для біологічної науки, що розвивалася.

4) **Концепція панспермії.** Практично одночасно з дослідами Л. Пастера німецьким вченим Г. Ріхтером була висловлена ​​гіпотеза про занесення живих істот на Землю з космосу, що отримала пізніше назву концепції панспермії (від грец. *pan* – весь, *sperma* – насіння). Відповідно до цієї гіпотези, життя у вигляді «насіння» широко поширене в космосі, звідки зародки простих організмів могли потрапити в земні умови разом з метеоритами і космічної пилом і дати початок еволюції всього живого, породивши таким чином все різноманіття земного життя. Тобто дана теорія допускала можливість виникнення життя в різний час в різних частинах Галактики і перенесення її на Землю тим або іншим способом.

Основну ідею концепції панспермії поділяли найвизначніші вчені кінця XIX ст.: У. Томсон (барон Кельвін), Г. Гельмгольц, В. І. Вернадський і ін.

У 1908 р. шведський хімік С. Арреніус висунув подібну гіпотезу походження життя з космосу. Він висловив думку, що зародки життя вічно існують у Всесвіті, рухаються в космічному просторі під впливом світлових променів і, осідаючи на поверхні планет, дають початок життя на них. Життя на нашій Землі почало свій розвиток тоді, коли на неї з Космосу потрапили зародки життя.

Концепція панспермії була підтримана багатьма відомими вченими, що сприяло її широкому розповсюдженню. Досить велике число прихильників має ця концепція і в наші дні. Так, американські астрономи, вивчаючи газову туманність, що відстоїть від Землі на 25 тис. світлових років, знайшли в її спектрі сліди амінокислот і інших органічних речовин. На початку 1980-х рр. американські дослідники виявили в Антарктиді осколок породи, вибитої колись з поверхні Марса метеоритом. За допомогою електронного мікроскопа в цьому камені були виявлені скам’янілі рештки мікроорганізмів, схожі на земні бактерії. Це говорить про те, що в минулому на Марсі існувала примітивна життя, може бути, вона є там і зараз. Проте, серйозних аргументів на користь концепції панспермії немає. При цьому існують серйозні аргументи проти неї. Справа в тому, що, хоча спектр можливих умов для існування живих організмів досить широкий, все ж вважається, що вони повинні загинути в космосі під дією ультрафіолетових і космічних променів.

Були спроби спростувати це положення. Так, голландський вчений М. Грінберг вважав, що на нашу планету життя було занесене кометами. На його думку, живі клітини зародилися в газових хвостах комет. Тому він спробував відтворити в лабораторних умовах кометне середовище. Для цього М. Грінберг охолодив суміш метану, окису вуглецю і води до температури -269 ​​°С і піддав ультрафіолетовому опроміненню. В результаті він отримав складні органічні сполуки. Однак досліди М. Грінберга не змінили думки більшості вчених.

Космічна гіпотеза виникнення життя отримала продовження в наш час у дослідженнях Ф. Хойла, який припустив, що мікроорганізми утворюються в космічному просторі, захоплюються кометами і розсіюються у просторі планет, повз яких вони пролітають. Але ймовірність такого виникнення життя надзвичайно мала, а одна тільки можливість – це не найголовніша умова для зародження живого в Космосі або на Землі.

Деяка частина вчених схиляється до версії про «спрямовану» панспермії. Вона досить непогано викладена в творах деяких письменників-фантастів. Суть її – у визнанні існування якоїсь галактичної надцивілізації сіячів, які створюють і поширюють насіння життя на різними планетами. Серед її прихильників – англійський професор Ф. Крік, один з першовідкривачів структури гена, який запропонував свою гіпотезу ще в 1971 р. На жаль, при всій своїй привабливості ця версія не витримує суворої наукової критики, у нас немає жодного аргументу на її користь.

Крім того, всі існуючі варіанти концепції панспермії в кінцевому рахунку не вирішують проблеми походження життя. Вони лише виносять її за межі Землі, проте залишають відкритим питання: якщо життя була занесена на Землю з космосу, то де і як вона виникла там?

5) Концепція **випадкового одноразового** походження життя. Нездатність розглянутих теорій і концепцій дати переконливе і аргументоване пояснення походження життя привели на початку XX ст. до подальших пошуків вирішення даної проблеми. У контексті цих пошуків американський генетик Г. Меллер висунув гіпотезу про випадкове виникнення первинної молекули живої речовини. Суть гіпотези полягає в припущенні, що жива молекула, яка здатна розмножуватися, могла виникнути випадково в результаті взаємодії найпростіших речовин. Він вважає, що елементарна одиниця спадковості − ген − є основою життя. І життя у формі гена, на його думку, виникло шляхом випадкового поєднання атомних угруповань і молекул, що існували у водах первинного океану. Гіпотеза випадкової одноразової появи життя отримала особливо широке поширення серед генетиків після відкриття ролі ДНК в явищах спадковості. Проте, ідея випадкового виникнення ДНК досі широко поширена в науковій літературі, хоча ймовірність такої події дуже мала. При всій своїй зовнішній наукоподібності ця концепція за ступенем доказовості НЕ відрізняється від концепції креаціонізму, тому в наш дні у неї практично не залишилося прихильників.

6) Концепція закономірного походження життя **шляхом біохімічної еволюції.** Теорія О.І. Опаріна.

Однією з головних перешкод, що стояли на початку XX ст. на увирішення проблеми виникнення життя, було пануюче в науці і засноване на повсякденному досвіді переконання, що між органічними і неорганічними сполуками не існує ніякого взаємозв’язку. До середини XX ст. багато вчених вважали, що органічні сполуки можуть виникати тільки в живому організмі, біогенно. Саме тому їх назвали органічними сполуками на противагу речовинам неживої природи − мінералам, які отримали назву неорганічних сполук. Вважалося, що природа неорганічних речовин зовсім інша, а тому виникнення навіть найпростіших організмів з неорганічних речовин принципово неможливе. Однак після того, як зі звичайних хімічних елементів була синтезована перша органічна сполука, уявлення про дві різні сутності органічних і неорганічних речовин виявилося неспроможним. У результаті цього відкриття виникли органічна хімія і біохімія, що вивчають хімічні процеси в живих організмах. Крім того, дане наукове відкриття дозволило створити концепцію біохімічної еволюції, згідно з якою життя на Землі виникло в результаті фізичних і хімічних процесів.

Вихідну основу цієї гіпотези склали дані про подібність речовин, що входять до складу рослин і тварин, а також про можливість у лабораторних умовах синтезувати органічні речовини, що входять до складу білка.

Ці відкриття лягли в основу концепції О. І. Опаріна, опублікованої у 1924 р. в книзі «Походження життя», де була викладена принципово нова гіпотеза походження життя. Він виступив з твердженням, що принцип Ф. Реді, що вводить монополію біотичного синтезу органічних речовин,справедливий лише для сучасної епохи існування нашої планети. На початку ж свого існування, коли Земля була без життя, на ній відбувалися абіотичні синтези вуглецевих сполук і їх подальша перед біологічна еволюція. Появу життя він розглядав як єдиний природний процес, що складався з первісної хімічної еволюції, яка протікала в умовах ранньої Землі, та перейшла поступово на якісно новий рівень – біохімічну еволюцію. Суть гіпотези зводилася до наступного: зародження життя на Землі – тривалий еволюційний процес становлення живої матерії у надрах неживої. І сталося це шляхом хімічної еволюції, внаслідок якої найпростіші органічні речовини утворилися з неорганічних під впливом сильнодіючих фізико-хімічних факторів.

Розглядаючи проблему виникнення життя шляхом біохімічної еволюції, О. І Опарін виділяє три етапи переходу від неживої матерії до живої:

1) етап синтезу вихідних органічних сполук із неорганічних речовин за умов первинної атмосфери ранньої Землі;

2) етап формування в первинних водоймах Землі з накопичених органічних сполук біополімерів, ліпідів, вуглеводнів;

3) етап самоорганізації складних органічних сполук, виникнення на їх основі та еволюційне вдосконалення процесів обміну речовин і відтворення органічних структур, що завершується утворенням найпростішої клітини.

На *першому етапі*, близько 4 млрд. років тому, коли Земля була без життя, на ній відбувалися абіотичний синтез вуглецевих сполук і їх подальша перед біологічна еволюція. Для цього періоду еволюції Землі були характерні численні вулканічні виверження з викидом величезної кількості розпеченої лави. У міру остигання планети водяні пари, які перебували в атмосфері, конденсувалися і обрушувалися на Землю зливами, утворюючи величезні водні простори. Оскільки поверхня Землі залишалася все-таки гарячою, вода випаровувалася, а потім, охолоджуючись у верхніх шарах атмосфери, знову випадала на поверхню планети. Ці процеси тривали не один мільйон років. Таким чином у водах первинного океану були розчинені різні солі. Крім того, в нього потрапляли і органічні сполуки: цукри, амінокислоти, азотисті основи, органічні кислоти і т.ін., що безперервно утворювалися в атмосфері під дією ультрафіолетового випромінювання, високої температури і активної вулканічної діяльності. Первинний океан, ймовірно, містив у розчиненому вигляді різні органічні і неорганічні молекули, що потрапили в нього з атмосфери і поверхневих шарів Землі. Концентрація органічних сполук постійно збільшувалася, і врешті-решт води океану стали «бульйоном» з білковоподібних речовин – пептидів.

На *другому етапі*, у міру пом’якшення умов на Землі, під впливом на хімічні суміші первинного океану електричних розрядів, теплової енергії і ультрафіолетових променів, стало можливим утворення складних органічних сполук – біополімерів і нуклеотидів, які, поступово об’єднуючись і ускладнюючись, перетворювалися на протобіонтів (доклітинні предки живих організмів). Підсумком еволюції складних органічних речовин стала поява коацерватів, або коацерватних крапель. Коацервати ­– це комплекси колоїдних часток, розчин яких поділяється на два шари: шар, багатий колоїдними частинками, і рідина, майже вільна від них. Коацервати мали здатність поглинати різні речовини, розчинені у водах первинного океану. В результаті внутрішня будова коацерватів змінювалася, а це призводило або до їх розпаду, або до накопичення речовин, тобто до росту і зміни хімічного складу, що підвищувало їх стійкість у мінливих умовах. Теорія біохімічної еволюції розглядає коацервати як передбіологічні системи, що представляють собою групи молекул, оточені водною оболонкою. Коацервати виявилися здатними поглинати із зовнішнього середовища різні органічні речовини, що забезпечило можливість первинного обміну речовин із середовищем.

На *третьому етапі*, як припускав О. І. Опарін, почав діяти природний відбір. У масі коацерватних крапель відбувався відбір коацерватів, найбільш стійких до даних умов середовища. Процес відбору йшов протягом багатьох мільйонів років, в результаті чого збереглася тільки мала частина коацерватів. Однак збережені коацерватні краплі мали здатність до первинному метаболізму. А обмін речовин – найперша властивість життя. Разом з тим, досягнувши певних розмірів, материнська крапля могла розпадатися на дочірні, які зберігали особливості материнської структури. Таким чином, можна говорити про придбання коацерватами властивості самовідтворення – однієї з найважливіших ознак життя. По суті, на цій стадії коацервати перетворилися на найпростіші живі організми.

Подальша еволюція цих передбіологічних структур була можлива тільки при ускладненні обмінних і енергетичних процесів усередині коацервату. Надійнішу ізоляцію внутрішнього середовища від зовнішніх впливів могла забезпечити тільки мембрана. Навколо коацерватов, багатих на органічні сполуки, виникли шари ліпідів, які відокремили коацерват від навколишнього водного середовища. В процесі еволюції ліпіди трансформувалися у зовнішню мембрану, що значно підвищило життєздатність і стійкість організмів. Поява мембрани визначила напрямок подальшої хімічної еволюції по шляху все більш досконалої саморегуляції аж до виникнення перших клітин.

Популярність концепції О. І. Опаріна в науковому світі дуже велика. Однак більша частина експериментів, які розвинули ідеї вченого, була проведена тільки в 1950–1960-і рр. Так, у 1953 р С.Міллер у ряді експериментів змоделював умови, що існували на ранньому етапі еволюції Землі. У створеній ним установці були синтезовані багато амінокислот, аденін, прості цукри та інші речовини, що мають важливе біологічне значення. Після цього Л. Орджел у подібному експерименті синтезував прості нуклеїнові кислоти. Але незважаючи на експериментальну обґрунтованість і теоретичну переконливість, концепція О.І. Опаріна має як сильні, так і слабкі сторони.

*Сильною стороною* концепції є досить точне експериментальне обґрунтування хімічної еволюції, згідно з якою зародження життя є закономірним результатом добіологічної еволюції матерії. Переконливим аргументом на користь цієї концепції є також можливість експериментальної перевірки її основних положень. Це стосується не тільки лабораторного відтворення передбачуваних фізико-хімічних умов первинної Землі, але і коацерватів, імітують доклітинних предків і їх функціональні особливості.

*Слабкою стороною* концепції є неможливість пояснення самого моменту стрибка від складних органічних сполук до живих організмів, адже у жодному з поставлених експериментів отримати життя так і не вдалося. Крім того, О. І. Опарін допускав можливість самовідтворення коацерватів у відсутності молекулярних систем із функціями генетичного коду. Іншими словами, без реконструкції еволюції механізму спадковості пояснити процес стрибка від неживого до живого не вдається. Тому сьогодні вважається, що вирішити цю складну проблему біології без залучення концепції відкритих каталітичних систем, молекулярної біології, а також кібернетики не вийде.

2. Сучасний стан проблеми походження життя.

В даний час центральною проблемою в питанні про походження життя на Землі є опис еволюції механізму спадковості. Вчені переконані, що життя виникло тільки тоді, коли почав діяти механізм реплікації. Будь-яка, навіть дуже складна комбінація амінокислот та інших органічних сполук – це ще не життя. Разом з тим, поява праДНК замість коацерватної краплі теж не може вважатися початком життя на Землі, бо сучасна ДНК може функціонувати тільки при наявності білкових ферментів. Таким чином, вчені-біологи, що займаються сьогодні вирішенням питання про походження життя, зводять його до характеристики доклітинного предка – протобіонта, його структурних і функціональних особливостей.

**Концепції голобіозу і генобіозу**. Складність вирішення цього питання пояснюється добре відомим фактом: для саморепродукції нуклеїнових кислот – основи генетичного коду – необхідні ферментні білки, а для синтезу білків – нуклеїнові кислоти. Дана ситуація аналогічна тій, що відбувається при будівництві будинку, для якого одночасно потрібні як матеріали, так і креслення і плани.

Звичайно, найпростіше було б припустити, що нуклеїнові кислоти і білки-ферменти з’явилися одночасно, об’єдналися в єдину систему в межах протобіонтів, після чого почалася їх коеволюція – одночасна і взаємопов’язана еволюція. На жаль, цей компромісний варіант не отримав визнання вчених. Справа в тому, що білкові і нуклеїнові макромолекули структурно і функціонально глибоко різні. Через це вони не могли з’явитися одночасно, в результаті одного стрибка в ході хімічної еволюції. Таким чином, неможливе і їх співіснування в протобіологчній системі (протобіонті).

В результаті протягом більшої частини XX ст. вчені вели дискусію про те, що було первинним – білки або нуклеїнові кислоти, а також про те, як і на якому етапі відбулося їх об’єднання в єдину систему, здатну до передачі генетичної інформації та регуляції біосинтезу білків, тобто що є живим організмом. Залежно від відповіді на питання, що є первинним – білки або нуклеїнові кислоти, всі існуючі гіпотези і концепції можна розділити на дві великі групи – голобіозу і генобіозу.

Розглянута вище концепція О.І.Опаріна належить до групи концепцій **голобіозу** – методологічного підходу, який стверджує первинність структур, здатних до елементарного обміну речовин за участю ферментних білків. Поява нуклеїнових кислот у цій концепції вважається завершеним еволюції, підсумком конкуренції протобіонтів. Цю точку зору можна назвати *субстратною*.

Прихильники **генобіозу** виходять з переконання в первинності молекулярної системи з властивостями первинного генетичного коду. Цю групу гіпотез і концепцій можна назвати *інформаційною*. Прикладом цієї точки зору може служити концепція американського генетика Дж. Холдейна, висунута ним в 1929 р. Згідно з концепцією, Дж. Холдейна, первинною була не структура, яка здатна до обміну речовин з навколишнім середовищем, а макромолекулярна система, подібна до гену і здатна до саморепродукції (і тому названа ним «голим геном»).

Аж до 1980-х рр. мало місце чітко виражене протистояння гіпотез голобіозу і генобіозу, після чого чаша ваг стала схилятися на користь концепції генобіозу. Багато в чому це сталося завдяки новому тлумачення відкритого ще Л.Пастером властивості молекулярної хіральності (*хіральність* – властивість молекули не суміщатися у просторі зі своїм дзеркальним відображенням) живих організмів, яке вважається початковою і фундаментальною ознакою живої матерії. Вважається, що властивість молекулярної хіральності зародилося настільки ж рано, як і здатність до генетичної саморепродукції. Причому це кодування відбувається за допомогою молекул ДНК або РНК.

Але залишалося невирішеним питання про те, яка з цих інформаційних молекул з’явилася першою і зіграла роль матриці для первинної компліментарної полімеризації. Крім того, як і раніше стояло питання, як могла функціонувати протобіотична система за відсутності ферментних білків, якщо ми допускаємо, що вони з’явилися пізніше?

Відповідь на ці питання було отримано наприкінці 1980-х рр. Вона свідчила, що первинною була молекула РНК, а не ДНК. Визнання цього факту було пов’язане з відкриттям у РНК унікальних властивостей. Виявилося, що вона наділена такою самою генетичною пам’яттю, як і молекула ДНК. Далі була встановлена ​​справжня повсюдність РНК – стало ясно, що немає організмів, в яких була відсутня б РНК, хоча є безліч вірусів, геном яких не містить ДНК. Також, всупереч існуючій догмі, яка стверджувала, що перенесення генетичної інформації йде в напрямку від ДНК до РНК і білку, виявився можливим перенесення інформації від РНК до ДНК за участю ферменту, відкритого на початку 1970-х рр.

На початку 1980-х рр. була встановлена ​​здатність РНК до саморепродукції за відсутності білкових ферментів, тобто відкрита її автокаталітична функція. Це пояснювало всі нерозв’язані раніше питання.

Таким чином, сьогодні вважається, що протобіонт представляв собою молекулу РНК. Давня РНК була транспортною та поєднувала в собі риси як фенотипу, так і генотипу. Іншими словами, вона могла піддаватися як генетичним перетворенням, так і природному відбору. Вже очевидно, що процес еволюції йшов від РНК до білка, а потім до утворення молекули ДНК, у якій С-Н зв’язки міцніші, ніж С-ОН зв’язки РНК.

Очевидно, що виникнення хіральності, а також первинних молекул РНК не могло статися в ході плавного еволюційного розвитку. Судячи з усього, мав місце стрибок з усіма характерними рисами самоорганізації речовини, про особливості якої говорилося вище.

У 1990-і рр. з’явився ще ряд версій, відповідно до яких життя могло з’явитися в геотермальних джерелах, на морському дні, в тонких плівках органічної речовини, яка адсорбована на поверхні кристалів піриту або апатитів. Їх поява викликана деякими недоліками концепції генобіозу, але вони ще не отримали достатнього обґрунтування і розвитку.

**Утворення найдавнішої клітини.** Наступним етапом у процесі появи життя стало народження справжньої живої клітини. Сьогодні про первинну клітину (*археклітину*) відомо набагато більше, ніж раніше. Археклітина стала першим живим організмом. Очевидно, вона була відокремлена від зовнішнього середовища двошаровою оболонкою (мембраною), була здатна всмоктувати через неї протони, йони і маленькі молекули, а її метаболізм ґрунтувався на низькомолекулярних вуглецевих сполуках. Для будови археклітини характерна наявність клітинного скелета, що відповідав за цілісність клітини, а також забезпечував можливість її поділу. Життєдіяльність клітини здійснювалася за рахунок АТФ (аденозинтрифосфорної кислоти). Можливо, археклітини були схожі з недавно відкритими архебактеріями і представляли собою протоевкаріотні системи, подальша еволюція яких йшла як по лінії набуття нових властивостей евкаріотами, так і по шляху їх втрати прокаріотами. Даний процес зайняв кілька мільярдів років. Вважається що перші прокаріоти з’явилися понад 4 млрд. років тому. Це були бактерії і синьо-зелені водорості – практично безсмертні організми, які жили в дуже складних умовах. Евкаріоти з’явилися близько 2,6 млрд. років тому, вони вже не були безсмертними, і з їх появою процес еволюції життя почав прискорюватися.

**Поява життя на Землі.** Наші знання про організми, які жили раніше, невеликі. Адже мільярди особин, які представляли найрізноманітніші види, зникли, або не залишили після себе жодних слідів. За оцінками деяких палеонтологів, у викопному стані до нас дійшли рештки тільки 0,01 % усіх видів живих організмів, що населяли Землю. Серед них – тільки ті організми, які могли зберегти структуру своїх форм шляхом заміщення або в результаті збереження відбитків. Всі інші види до нас просто не дійшли, і про них ми не зможемо дізнатися нічого і ніколи.

Довгий час вважалося, що вік найдавніших відбитків живих організмів, до яких відносяться трилобіти та інші високоорганізовані водні організми, становить 570 млн. років. Пізніше були знайдені сліди набагато більш древніх організмів – мінералізованих нитчастих і округлих мікроорганізмів близько десятка різних видів, що нагадують найпростіших бактерій і мікроводоростей. Вік цих останків, знайдених у кременистих пластах Західної Австралії, був оцінений у 3,2–3,5 млрд. років. Ці організми, мабуть, мали складну внутрішню структуру, в них були присутні хімічні елементи, сполуки яких були здатні брати участь у процесі фотосинтезу. Дані організми набагато складніші порівняно з найскладнішою з відомих органічних сполук абіогенного походження. Немає сумнівів, що це не найперші форми життя і що існували їх давніші попередники. Таким чином, витоки життя на Землі йдуть у той «темний» перший мільярд років існування нашої планети, який не залишив сліду в її геологічному літописі. Цю точку зору підтверджує і той факт, що відомий біогеохімічний цикл вуглецю, пов’язаний із фотосинтезом, у біосфері стабілізувався понад 3,8 млрд. років тому. Це дозволяє вважати, що фотоавтотрофна біосфера існувала на нашій планеті не менше 4 млрд. років назад.

Однак за даними цитології та молекулярної біології, фотоавтотрофні організми були вторинними в процесі еволюції живої речовини. Автотрофнму способу живлення живих організмів повинен був передувати гетеротрофний спосіб як простіший. Автотрофні організми, що будують своє тіло за рахунок неорганічних мінеральних речовин, мають більш пізнє походження. Про це свідчать наступні факти:

• всі сучасні організми володіють системами, пристосованими до використання готових органічних речовин як вихідного будівельного матеріалу для процесів біосинтезу;

• переважна кількість видів організмів у сучасній біосфері Землі може існувати тільки при постійному постачанні готовими органічними речовинами;

• у гетеротрофних організмів не зустрічається жодних ознак або рудиментарних залишків тих специфічних ферментних комплексів і біохімічних реакцій, які характерні для автотрофного способу живлення.

Таким чином, можна зробити висновок про первинність гетеротрофного способу живлення. Найдавніше життя, ймовірно, існувало в якості гетеротрофних бактерій, які отримували їжу і енергію за рахунок органічного матеріалу абіогенного походження, що утворився ще раніше, на космічній стадії еволюції Землі. Говорячи про найдавніших організмів на Землі, також слід відзначити, що за типом своєї будови вони були прокаріотами, що виникли незабаром після появи археклітини. На відміну від евкаріот, вони не мали оформленого ядра, і ДНК розташовувалася у клітині вільно, не відділяючись від цитоплазми ядерною мембраною. Представники прокаріотів живуть і нині – це бактерії і синьо-зелені водорості.

Вчені також не сумніваються, що найдавніші організми, які населяли Землю, були анаеробами, які отримували необхідну їм енергію за рахунок дріжджового бродіння. Велика частина сучасних організмів є аеробними і використовують кисневе дихання (окисні процеси) як спосіб отримання енергії. Тому рацію В. І. Вернадський мав рацію, коли висловив припущення, що життя відразу виникла у вигляді примітивної біосфери. Адже життя є наймогутнішою геологічною силою, яку цілком можна порівняти за енергетичним витратами та зовнішніми ефектами з такими геологічними процесами, як горотворення, виверження вулканів, землетруси і т. ін. Життя не просто існує у навколишньому середовищі, але й активно це середовище формує, перетворюючи його «під себе». Не слід забувати, що весь лик сучасної Землі, всі її ландшафти, осадові і метаморфічні породи (граніти, гнейси, що утворилися з осадових порід), запаси корисних копалин, сучасна атмосфера є результатом дії живої речовини.

Тобто первинна біосфера була представлена різноманіттям видів (біоценозами) одноклітинних організмів.

І, нарешті, слід сказати, що первинні організми і біосфера могли існувати тільки у воді. Всі організми нашої планети найтіснішим чином пов’язані з водою. Саме зв’язана вода, що не втрачає своїх основних властивостей, є їх найважливішим складовим компонентом і становить 60–99,7 % ваги. Саме у водах первинного океану утворився «первинний бульйон ». Адже морська вода сама по собі представляє природний розчин, що містить всі відомі хімічні елементи. У ній утворилися спочатку прості, а потім і складні органічні сполуки, серед яких були амінокислоти і нуклеотиди. В цьому «первинному бульйоні» і відбувся стрибок, який започаткував життя на Землі. Важливе значення для появи і подальшого розвитку життя мала радіоактивність води, яка тоді була в 20–30 разів більшою, ніж зараз. Хоча первинні організми були набагато стійкішими до радіації, ніж сучасні, мутації в ті часи відбувалися набагато частіше, тому природний відбір йшов інтенсивніше, ніж зараз.

Отже, первинні організми, що виникли на Землі більше 4 млрд. років тому, мали такі властивості:

• вони були гетеротрофними організмами, тобто живилися готовими органічними сполуками, накопиченими на етапі космічної еволюції Землі;

• вони були прокаріотами – організмами, позбавленими оформленого ядра;

• вони були анаеробними організмами, які використовують в якості джерела енергії дріжджове бродіння;

• вони з’явилися у вигляді первинної біосфери, що складалася з біоценозів, що включали різні види одноклітинних організмів;

• вони з’явилися і довгий час існували тільки у водах первинного океану.

1. Етапи формування і розвитку біосфери.

Розвиток біосфери Землі можна розглядати як послідовну зміну трьох етапів: відновного, слабкоокисного і окисного.

**Відновний етап** розвитку біосфери почався ще в космічних умовах і завершився появою на Землі гетеротрофної біосфери. На цьому етапі розвитку біосфери з’явилися малі сферичні анаероби і прокаріоти. Фізіологічні процеси цих організмів спиралися не на кисневе окиснення, а на дріжджове бродіння. Спочатку в атмосфері Землі були присутні лише сліди вільного кисню. Продукування вільного кисню почали перші організми. Але кількість кисню була незначною і приводила лише до окисних процесів на земній поверхні і в океані.

Оскільки перші організми були гетеротрофами, вони потребували живлення. Їжею для них стали раніше накопичені органічні сполуки, розчинені у водах первинного океану, оскільки первинна біосфера обмежувалася водним середовищем. Але життя потребувала додаткових джерел енергії. Тому на ранніх стадіях еволюції живі організми активно використовували різного роду радіацію. На думку А. І. Перельмана, особливо важливу роль грав радіоактивний калій, який поглинався першими організмами. Потреба в калії згодом закріпилася генетично, хоча для більш високоорганізованих форм радіоактивність перестала служити джерелом енергії.

Тривалість існування первинної відновної біосфери в геологічних масштабах була невелика. Причина цього полягала в тому, що первинні гетеротрофні організми швидко розмножувалися і, природно, досить швидко вичерпали свою поживну базу. Тому, досягнувши максимальної біомаси, вони повинні були або вимерти з голоду, або перейти до автотрофного способу живлення.

**Слабкоокисний етап** розвитку біосфери пов’язаний з появою близько 4 млрд. років тому процесу фотосинтезу. Але первинна поверхня Землі, позбавлена ​​вільного кисню, опромінювалася ультрафіолетовою радіацією Сонця. Тому, можливо, перші фотохімічні організми використали радіацію ультрафіолетової частини спектра. Тільки після виникнення озонового екрану (в зв’язку з появою вільного кисню як побічного продукту того ж фотосинтезу) автотрофні фотосинтезуючі організми почали використовувати випромінювання у видимій частині сонячного спектра.

Новий спосіб живлення сприяв швидкому розселенню організмів нового типу біля поверхні первинних водойм. Ставши більш пристосованими, вони витіснили первинні гетеротрофні організми. Важливим фактором цій боротьбі стало те, що автотрофи як відходи своєї життєдіяльності виділяли вільний кисень, який став смертельною отрутою для первинних гетеротрофів.

Першими автотрофними організмами, очевидно, були ціанеї, а потім зелені водорості. Їх рештки знаходять у породах архейського віку (близько 3 млрд. років тому). У той час, очевидно, існувало безліч видів водоростей, як вільно плаваючих у воді, так і прикріплених до дна. Хоча вільний кисень і був отрутою для первинних анаеробів, не всі вони загинули. Деякі залишилися жити в болотах, де не було вільного кисню. Там, живлячись, вони виділяли метан. Деякі ж первинні організми змогли пристосуватися до кисневої атмосфері. Паралельно з цим йшов процес формування евкаріотів.

Прокаріоти володіли високою варіабельністю, здатністю до швидкого розмноженню, легко пристосовувалися до мінливих умов середовища, які існували в перші періоди історії Землі. Але із формуванням кисневої атмосфери умови стабілізувалися, і в цих нових умовах потрібні були організми нового типу, пристосовані до них. Потрібна була не генетична гнучкість, а генетична стабільність. Евкаріоти з’явилися наприкінці другого етапу розвитку біосфери Землі. Він тривав до завершення накопичення опадів посмугованих залізистих формацій докембрію приблизно 1,8 млрд. років тому.

Справа в тому, що хоча вільний кисень і з’являвся в значних кількостях, але він витрачався не на утворення атмосфери, а на окиснення заліза, сірчистих сполук і інших полівалентних металів. При цьому оксиди заліза осаджувалися, утворюючи посмуговані формації. Тільки після звільнення океану від заліза та інших металів концентрація кисню в атмосфері стала різко зростати.

У природознавстві існує поняття «точки Пастера» – такої концентрації вільного кисню, при якій кисневе дихання стає більш ефективним (приблизно в 50 разів) способом використання зовнішньої енергії Сонця, ніж анаеробне бродіння. Цей критичний рівень приблизно дорівнює 0,01 від сучасної величини вмісту кисню в атмосфері. Після переходу через точку Пастера перевага в природному відборі отримують організми, які здатні до кисневого дихання. З цього моменту починається третій етап в еволюції біосфери Землі.

**Окисний етап** в еволюції біосфери пов’язаний з розвитком фотоавтотрофної біосфери Землі. З цього моменту кількість кисню в атмосфері почала різко підвищуватися. Ще в протерозої (2,6 млрд.–570 млн. років тому) евкаріоти розділилися на рослинні і тварини клітини. Більша частина рослинних клітин використовувала фотосинтез. Завдяки цьому концентрація кисню в атмосфері зростала, і його вже стало вистачати для процесів дихання. Тоді ж в океані з’явилися перші багатоклітинні організми. Близько 400 млн. років тому (кінець ордовика – початок силуру), коли концентрація вільного кисню в атмосфері досягла 10 %, виник озоновий екран, що оберігає живу речовину від жорсткого випромінювання, і життя вийшло з моря на сушу. Як тільки це сталося, різко зросла інтенсивність реакцій фотосинтезу, а отже, і надходження кисню в атмосферу. Лише за 100 млн. років концентрація кисню досягла сучасного значення в 21%. Після цього склад атмосфери практично не змінювався до наших днів.

Вихід життя на суходіл зумовив різке збільшення маси живої речовини (за розрахунками вчених, маса живої речовини суші в 800 разів більша за біомасу океану). Одночасно життя проникало все глибше в океан, освоюючи всі більшіі глибини. Наземні рослини, відмираючи, поклали початок утворенню вугілля, нафти, газу, горючих сланців. Став змінюватися біогеохімічний круговорот елементів. При цьому знижувалася роль основних порід, і в земній корі замість магнію, кальцію, заліза велику роль стали грати кремній, натрій, алюміній, калій. Також завдяки діяльності живих організмів різко зріс круговорот кисню і вуглекислого газу.

Ці процеси, а також поступове зниження рівня радіації стимулювали і прискорювали ускладнення живої речовини, вели до появи нових, більш високоорганізованих видів.

Так, на суші з’явилися папороті, хвощі, насінні папороті. Розвиток наземної рослинності і утворення ґрунтів створили передумови для виходу на поверхню континенту тварин. В результаті еволюції рослинного світу в мезозойську еру (близько 200 млн. років тому) виникли ліси хвойних і покритонасінних рослин.

Формування і розвиток біосфери постає як чергування етапів еволюції, що перериваються стрибкоподібними переходами в якісно нові стани, в результаті чого утворювалися все складніші і впорядкованіші форми живої речовини. В історії біосфери бували тимчасові зупинки прогресивного розвитку, але вони ніколи не переходили в стадію деградації, повороту розвитку назад. Щоб переконатися в цьому, досить подивитися на основні віхи в історії розвитку біосфери:

• поява найпростіших клітин-прокаріотів;

• поява значно більш організованих клітин евкаріотів;

• об’єднання клітин-евкаріотів з утворенням багатоклітинних організмів, функціональна диференціація клітин в організмі;

• поява організмів з твердими скелетами і формування вищих тварин;

• виникнення у вищих тварин розвиненої нервової системи і формування мозку як органу збору систематизації, зберігання інформації і управління на її основі поведінкою організмів;

• формування розуму як вищої форми діяльності мозку;

• утворення соціальної спільноти людей - носіїв розуму.

Вершиною спрямованого розвитку біосфери стала поява в ній людини. В ході еволюції Землі на зміну геолого-біологічної еволюції прийшов період соціальної еволюції, який приніс найбільші зміни в біосфері Землі, у всій зовнішності нашої планети.

1. Поява царств рослин і тварин.

У процесі формування біосфери евкаріоти ще в протерозої розділилися на рослинні і тваринні клітини. Як вважає більшість біологів, їх слід розрізняти: 1) за структурою клітин і їх здатністю до росту; 2) способом живлення; 3) здатністю до руху. При цьому віднесення живої істоти до того чи іншого царства слід проводити за сукупністю всіх трьох ознак, оскільки між рослинами і тваринами існують перехідні типи, які мають властивості як рослин, так і тварин. Так, наприклад, корали, молюски, річкові губки все життя залишаються нерухомими, як рослини, але за двома іншими ознаками їх відносять до тварин. Існують комахоїдні рослини, які за способом живлення відносяться до тварин. Є також живі організми, які харчуються, як рослини, а рухаються – як тварини. В даний час на Землі існує 500 тис. видів рослин і 1,5 млн. видів тварин, у тому числі хребетних – 70 тис., птахів – 16 тис., ссавців – 12 540 видів.

**Поява і розвиток рослин**. Рослинні клітини вкриті жорсткою целюлозною оболонкою, яка, з одного боку, захищає їх від несприятливих впливів навколишнього середовища, але з іншого боку, не дає їм вільно переміщатися в пошуках їжі.

Еволюція рослинних клітин була пов'язана з удосконаленням процесу фотосинтезу, який давав їм всі необхідні поживні речовини. Проте, серед рослин існували не тільки автотрофи, але і гетеротрофи, які взаємно доповнювали один одного.

Найпершими рослинами на планеті були одноклітинні водорості різних типів. Вони прийшли на зміну безроздільно пануючим прокаріотам: синьо-зеленим водоростям і бактеріям. На водоростях природа вперше випробувала статевий процес розмноження, тобто злиття ДНК двох індивідів з подальшим перерозподілом генетичного матеріалу, внаслідок чого потомство виходить схожим на своїх батьків, але не ідентичним їм. Ця подія відбулася близько 900 млн. років тому.

Потім, 700-800 млн. років тому, з'явилися перші багатоклітинні організми, що також відносяться до водоростей - великої групи нижчих водних рослин, що містять хлорофіл і виробляють органічні речовини шляхом фотосинтезу. Саме на ці водорості припадає найбільш тривалий етап у розвитку зелених рослин. Вони ж зіграли роль гігантського генератора вільного кисню в атмосфері Землі.

Подією величезного значення став вихід рослин на сушу, виконаний в силурі, близько 400 млн. років тому. Цей факт став, у свою чергу, передумовою для виходу на сушу тварин.

Вважається, що ще до масового виходу рослин на сушу в окремих місцях з'являлися локальні ділянки життя. Такими «острівцями» життя могли стати узбережжя мілководних заток і лагун, місця, де вода періодично відступала, залишаючи рослини.

Саме так з'явилися рослини, нижня частина яких перебувала в воді, а верхня - в повітрі, під прямими променями Сонця. Потім рослини змогли розвинути кореневу систему, яка дозволяла їм використовувати ґрунтові води. У нових умовах фотосинтез ставав більш досконалим, оскільки сонячна енергія не поглиналася водою. Щоб захиститися від висихання, рослинам довелося сформувати воскову водонепроникну оболонку. Крім того, відбулася перебудова організмів, в них з'явилися нові органи і тканини, змінилися способи розмноження, поширення і т.ін. Таким чином, у рослинних організмів з'явилися корінь, стебло,листок, провідні системи, покривні тканини.

Першими на сушу вийшли псилофіти - спорові рослини, схожі на плауни. У них ще не було коренів і майже не було листя. Псилофіти складалися з довгих розгалужених зелених стебел і покривали вологий грунт суші справжніми зеленими килимами.

З появою мохів і папоротей кількість кисню в атмосфері значно збільшилася. Крім того, в період свого розквіту мохи і папороті створили велику кількість поживних речовин, необхідних для виникнення і розвитку сухопутних хребетних тварин. В цей же час (девон, карбон і пермський періоди - 400-230 млн. років тому) накопичується величезна кількість кам'яного вугілля, з'являються голонасінні рослини. З цього моменту поверхня материків стала набувати сучасного вигляду.

У мезозої (близько 200 млн. років тому) широко поширюються голонасінні, а в крейдяний період (близько 100 млн. років тому) з'являються квіткові рослини. Поява квіткових рослин стимулювала розквіт комах, що грають значну роль в їх запиленні.

Після цього листяні ліси стали співіснувати з хвойними лісами, що з'явилися раніше і дали, в свою чергу, притулок тіньолюбним папоротям. Таким чином, у сучасному рослинному світі поряд з високоорганізованими рослинами збереглися представники більш ранніх епох, яких можна назвати «живими викопними».

**Поява і розвиток тварин**. Тваринна клітина, на відміну від рослинної, має еластичну оболонку і тому не втрачає здатності до пересування. Еволюція твариннних клітин йшла в напрямку вдосконалення способів їх пересування, способів поглинання і виділення великих частинок через оболонку. Спочатку їжею служили великі органічні фрагменти, потім шматки мертвої тканини і, нарешті, поглинання і перетравлення цілих організмів, властиве хижакам. Їх поява різко інтенсифікувала природний відбір.

Перші примітивні представники тваринного світу ведуть свій початок від одноклітинних найпростіших організмів, що відокремилися від загального стовбура з рослинами. На жаль, вчені майже нічого не можуть сказати про них, оскільки їхні викопні залишки практично не збереглися. Судячи з усього, перші представники тваринного світу мали спільні ознаки з одноклітинними зеленими водоростями. Подібні організми (радіолярії) і сьогодні складають значну частину планктону морів і океанів.

Виникнення тваринної клітини було пов'язано з переходом до гетеротрофного способу живлення. Але він йшов поступово, тому існували і продовжують існувати перехідні форми між рослинами і тваринами. Серед них – джгутиконосці, які, як тварини, мають джгутики - органи пересування, а як рослини – автотрофний або змішаний спосіб живлення. Так, наприклад, евглена зелена, яка при хорошому освітленні і наявності мінеральних речовин у воді веде себе як типова рослина. Але в темряві або при несприятливих умовах вона втрачає хлорофіл і подібно тварині починає засвоювати з розчину органічні речовини.

Як і у рослин, найважливішим етапом в еволюції тварин стала поява багатоклітинних організмів. Швидше за все, перехід до багатоклітинності був здійснений через колонії, в які об'єднувалися деякі одноклітинні організми. Спочатку всі клітини в таких колоніях були однаковими, але потім почалася їх диференціація відповідно до виконуваних функцій.

Масова поява багатоклітинних тварин відбулося в пізньому кембрії. Це були численні морські безхребетні організми – медузоподібні плаваючі форми, кишковопорожнинні, морські черви.

Подальша еволюція багатоклітинних організмів йшла в напрямку вдосконалення способів їх пересування, дихання, кращої координації діяльності клітин і т.ін.

На наступний щабель у своєму розвитку тваринний світ піднявся з появою твердих частин тіла – раковин і внутрішнього скелета. В кембрійських морях були ракоподібні, губки, корали, голкошкірі, молюски, трилобіти. Твердий скелет служив опорою цим організмам, сприяв збільшенню їх розмірів, робив їх більш міцними, захищав від фізичних пошкоджень. Крім того, твердий скелет міг служити захистом від хижаків, які з'явилися близько 450 млн. років тому.

Близько 500 млн. років з'явилися перші хребетні тварини. Це найбільш високоорганізована, велика і різноманітна група тварин, що включає риб, земноводних, плазунів і ссавців. Перші хребетні з'явилися у воді – ними були риби. Сучасні риби діляться на два великі класи – хрящових і костистих. До хрящових відносяться акули і скати. Деякі види акул з'явилися ще в девоні, близько 400 млн. років тому, і з тих пір не змінювалися. Костистих риб сьогодні більшість, вони переважають у сучасних водоймах. Для костистих риб характерна наявність плавального міхура, що регулює глибину їх занурення. Наступний крок в еволюції тварин пов'язаний з появою дводишних риб, що жили в періодично висихаючих водоймах. Легені допомагали їм вижити в періоди посухи. У наш час збереглося лише три види таких риб. Деякі прісноводні дводишні риби дали початок земноводним, які можуть далеко йти від природних водойм, але для розмноження повинні повертатися в воду. Це сталося в девоні.

Тоді ж, очевидно, з'явилися перші комахи. У них роль каркаса грав не внутрішній скелет, а зовнішня хітинова оболонка. Крім того, комахи мають складну нервову систему, з великою кількістю відносно самостійних нервових центрів. У їхньому житті велику роль відіграють вроджені реакції (у хребетних - йде розвиток головного мозку, що дає змогу переважання умовних рефлексів над безумовними).

Предки комах, павуків і скорпіонів вийшли на сушу відразу слідом за рослинами. Вихід тварин на сушу був пов'язаний із серйозними змінами їх форм. Адже на суші вага тіл більша, ніж у воді, в повітрі не містяться поживні речовини, які є у воді у розчиненому вигляді. Крім того, повітря має іншу світло- і звукопровідність, а концентрація кисню в ньому вище, ніж у воді. Таким чином, життя повинне було адаптуватися до нових умов, виробивши відповідні пристосування.

Першими, що повністю пристосуватися до умов суші хребетними, стали рептилії. Їх яйця були вкриті твердою шкаралупою, яка запобігає висихання, і забезпечені необхідними запасами їжі і кисню для розвитку ембріона. Перші рептилії були схожі на невеликих ящірок. Вони почали активне завоювання суші в карбоні (350-285 млн. років тому). У пермському періоді (285-230 млн. років тому) вони вже повністю переважали на суші.

Мезозойська ера (230-67 млн. років тому) також проходить під владою рептилій, серед яких були як хижаки, так і травоїдні. У тріасовому періоді (230-195 млн. років тому) з'явилися динозаври, розміри яких сильно варіювали – від дрібних тварин, завбільшки з кішку, до 30-метрових гігантів,які важать 40-50 т. Динозаври жили на суші (тиранозаври, ігуанодони, стегозаври, трицератопси і ін.), у воді (бронтозаври, диплодоки, іхтіозаври, плезіозаври), в повітрі (птерозаври, птеродактилі).

У юрському періоді (195-137 млн. років тому) від однієї з гілок рептилій з'явилися птахи, яких Т. Гекслі, в силу їх спорідненості з рептиліями, назвав «злетіли рептиліями». Птахи, як і рептилії, несуть яйця, але в менших кількостях, вони дбають про своє потомство і мають постійну високу температуру тіла. Перехідною формою між рептиліями і птахами став археоптерикс.

Наприкінці крейдяного періоду (67 млн. років тому) відбулося масове вимирання мезозойських рептилій. Причина цього до сих пір не ясна, хоча існують численні версії, серед яких - можливе падіння гігантського метеорита, що викликало глобальне похолодання і зміну клімату. У нових умовах перевагу в природному відборі отримали птахи, а також ссавці, що виникли в тріасовому періоді. Але в ті часи вони були невеликими, переважно комахоїдними тваринами. Лише в кайнозойську еру почався період їх панування на Землі. Це було пов'язано з тим, що в умовах похолодання найважливішою умовою виживання стала теплокровність, що забезпечила постійну високу температуру тіла і постійність внутрішнього середовища організму. Оскільки ссавці є живородними тваринами і вигодовують своїх дитинчат молоком, це забезпечує краще збереження молодняка і дає можливість розмноження в різноманітних умовах. Крім того, у них розвинена нервова система, здатна забезпечити різноманітні форми активного пристосування до навколишнього середовища.

Перші комахоїдні ссавці дали початок плацентарним і сумчастим ссавцям, які розвивалися одночасно. У першій половині кайнозою панували сумчасті. Але пізніше, в неогеновому періоді (27-3 млн. років тому), вони були витіснені більш високоорганізованими плацентарними ссавцями. Тому в наші дні сумчасті збереглися лише в Австралії, Новій Гвінеї і Південній Америці. Серед плацентарних ссавців були китоподібні і гризуни, кажани, примати і т.ін.

Існуючі на той час хижакокопитні розділилися, давши початок хижакам і копитним тваринам. У другій половині кайнозою плацентарні ссавці стали панівною групою тварин.

Еволюція ссавців проходила протягом всієї кайнозойської ери. Велику роль в цьому зіграв поділ континентів, що призвело до відокремлення тварин і формування частково ізольованих зоогеографічних областей, в яких до цих пір збереглися деякі реліктові тварини. Так, в епоху панування сумчастих відокремилася Австралія, яка зберегла представників цих тварин до наших днів.

Відокремилася пізніше Південна Америка, яка зберегла релікти початку кайнозойської ери, серед яких опосуми, броненосці і лінивці.

Найважливішим етапом в еволюції життя на Землі стала поява приматів, предки яких були відомі з крейдяного періоду. Вони були схожі на сучасних лемурів. Близько 80 млн. років тому з'явилися примати, що жили на деревах. У палеогене (67-27 млн. років тому) примати розділилися на нижчих і людиноподібних мавп. Ті, в свою чергу, дали початок безпосередніх предків людини.

Таким чином, поступово в кайнозої сформувались передумови, необхідні для появи людини, зокрема, стадний спосіб життя, який вели деякі ссавці. Стадний спосіб життя сформував звичку майбутнього соціального спілкування, що проходив без втрати індивідуальності його членів. Це був значний крок вперед порівняно з комахами, які теж жили великими колективами, але при цьому повністю втрачали свою індивідуальність.