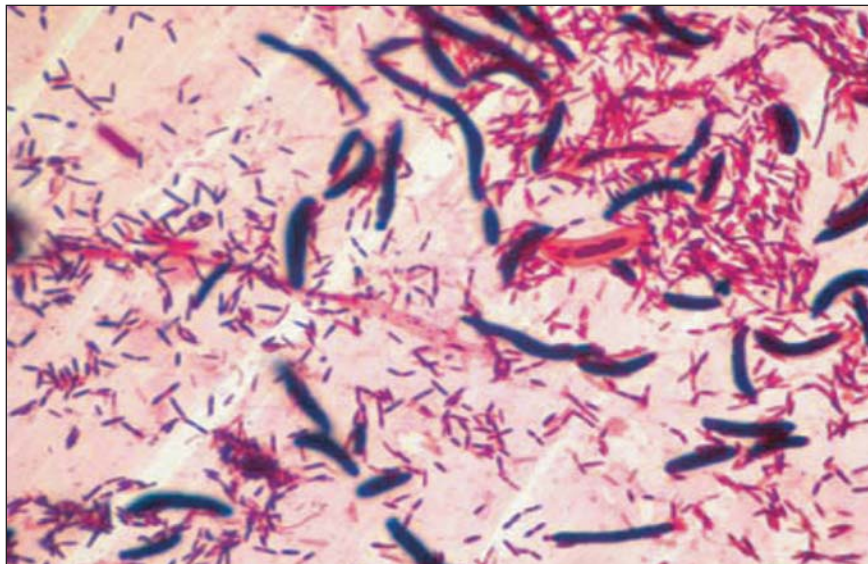




Володимир Широбоков
доктор мед. наук,
академік НАН України,
член-кореспондент АМН України,
завідувач кафедри мікробіології,
імунології та вірусології
Національного медичного
університету ім. О.О. Богомольця,
м. Київ



Дмитро Янковський
доктор біол. наук,
генеральний директор
НПК "О.Д. Пролісок",
м. Київ



Галина Димент
канд. техн. наук,
директор наукового центру
НПК "О.Д. Пролісок",
м. Київ

ПАРАЛЕЛЬНІ СВІТИ ПЕРЕТИНАЮТЬСЯ

Світ мікроорганізмів — це унікальне співтовариство дивовижних і досконалих творінь Природи. Будучи першоджерелом зародження життя на Землі та доміантною ланкою біосфери, мікроорганізми й у сучасних умовах продовжують відігравати роль ключового біогенного фактора, відповідального за збереження видів як нижчих, так і вищих живих організмів, і продовження їх прогресивної еволюції.

Унікальні біологічні особливості мікроорганізмів, що різко відрізняють їх від властивостей тваринного і рослинного компонентів біосфери, призвели до поширення поглядів на мікробне співтовариство як особливий, "альтернативний" світ, який не має нічого спільного з організмами вищого рівня організації.

Більшість мікроорганізмів невидимі неозброєним оком, всюдисущі, підпорядковані своїм специфічним законам життєдіяльності та еволюції. Це і стало причиною того, що мікроорганізми, перш за все прокаріоти (без'ядерні мікроорганізми), тривалий час відносили до так званого "паралельного світу" — світу примітивних одноклітинних істот, світу, який у нормальних умовах практично не перетинається з життєдіяльністю інших компонентів біосфери, але за певних умов може служити загрозою для їх існування.

Проте останні досягнення в галузі мікробіології, мікробної екології, мікробіологічної палеонтології та інших наук істотно похитнули укорінені уявлення про мікроорганізми як недосконалі одноклітинні істоти, шкідливі для людини, тварин і навколишнього середовища. Все помітніше ці погляди поступаються місцем прогресивнішим уявленням про мікроорганізми як дивно влаштованих представників живого світу, що є основою біосфери і необхідним фактором для існування всього живого. Зникнення мікроорганізмів рівнозначно руйнуванню живої оболонки Землі та знищенню життя на нашій планеті.

Поява в процесі еволюції в біосфері Землі, в якій упродовж не менше 2,5 млрд. років панували винятково прокаріотичні мікроорганізми (бактерії та археї), організмів вищого рівня організації, не призвела до зникнення прокаріотів, а сприяла створенню складних симбіотичних систем. Дані системи не здатні існувати без участі мікробного складника, який завжди домінує в симбіозі і виконує в ньому роль життєзабезпечувального фактора. Час появи еукаріотів (ядерних організмів) точно

не встановлено, проте можна з упевненістю сказати, що *раніше одного мільярда років тому вони провідних ролей на Землі не грали.*

Еволюційно прогресивніші порівняно з прокаріотами форми життя не змогли витіснити їх із біосфери, оскільки виникли в прокаріотичному середовищі і змушені були впровадитися в уже сконструйовану без'ядерними мікроорганізмами біосферну систему.

Таким чином, **мікроорганізми — це не окремий паралельний світ, а базис, основа біосфери, над якою у вигляді пірамідальних прошарків надбудови піднімаються спільноти все більш ускладнених організмів.** Тобто, чим складніший рівень організації біологічного виду, тим менша його присутність у біосфері. Наприклад, увесь тваринний світ разом із людством становить всього лише 3% кругообігу вуглецю в біосфері Землі, в той час як мікрофлора — 80% (рис. 1).

Таким чином, у процесі появи в біосфері нових видів організмів відбувалося значне звуження базису життя. Первісні одноклітинні еукаріоти, а потім і багатоклітинні організми виникли не на порожньому місці. Вони впилися в прокаріотичну біосферу, як середовище свого проживання. Нові форми життя вбудовувалися в рамки вже наявної біосферної системи, а збереження мікробного базису залишалося необхідною умовою подальшої

еволюції. Виходячи з таких уявлень, замість традиційного еволюційного дерева перед нами чітко вимальовується справжня еволюційна піраміда (рис. 2).



Рис. 2. Спрощений варіант еволюційної піраміди

Первинна еукаріотична біота виявилася значно обмеженою у кількісному відношенні порівняно з прокаріотичною спільнотою. У біосфері тільки бактерії й археї, як і раніше, могли існувати в екстремальних умовах, зокрема при високих температурах, підвищеній солоності, в екстремально кислих і лужних середовищах і т. ін. Такі реліктові мікробні спільноти, що збереглися до цих пір у високомінералізованих озерах, морських лагунах і гідротермах, розглядаються як моделі стародавньої біосфери.

У 1977 р. франко-американська експедиція виявила поблизу Галапа-

гоських островів, на багатокілометровій глибині, під величезним тиском, у безпросвітній темряві, в зоні "чорних курців" справжні оазиси життя: поля гігантських двостулкових моллюсків,

щільні зграї креветок і сплетення червоподібних вестіментіфер. Вчений світ був вражений цим відкриттям, але ніні подібні спільноти виявлені в усіх океанах — на глибинах від 400 до 7000 м (рис. 3).

Дослідники рифтових зон зовсім не очікували виявити там багату фауну. Ці місця з гарячими вулканічними газами, що містять високі концентрації сірководню, важких металів і інших отруйних для більшості організмів з'єднань, здавалося, повинні бути "долинами смерті" серед пустельних глибин. Однак дослідження показали вражаючу різноманітність живих істот у складі гідротермальних спільнот. Схили "чорних курців" до самих вершин були вкриті товстим шаром бактеріальних матів (біоплівки), прокаріотичні співмешканці яких витримують температуру до 120°C. На віддалі від гирла "курців", там, де температура опускається нижче 40°C, на уступах "курців" були видні сплетення вестіментіфер. Вони існують і у співтоваристві з крабами, рибами, великими двостулковими моллюсками. Масштабна хемосинтетична діяльність прокаріотів забезпечує формування рясних гідротермальних спільнот, біомаса яких у десятки тисяч разів перевищує таку на сусідніх ділянках морського дна. Краса і багатство біологічних співтовариств "чорних курців", що різко контрастують з мізерною одноманітністю глибин океану, дозволила дослідникам назвати рифтові зони "райським садом" (ред. — див. також статтю Малишевих у "Світогляді" №3 і №4 за 2007 рік).

При відсутності доступу до сонячної енергії співтовариство організмів, що утворюється навколо гідротерм ("чорних курців"), використовує хімічну енергію. Основу спільноти становлять хемосинтезуючі сірчані бактерії,

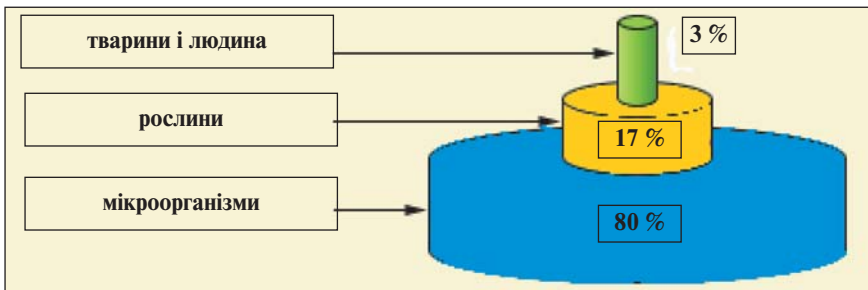


Рис. 1. Участь різних компонентів біосфери в планетарному кругообігу вуглецю

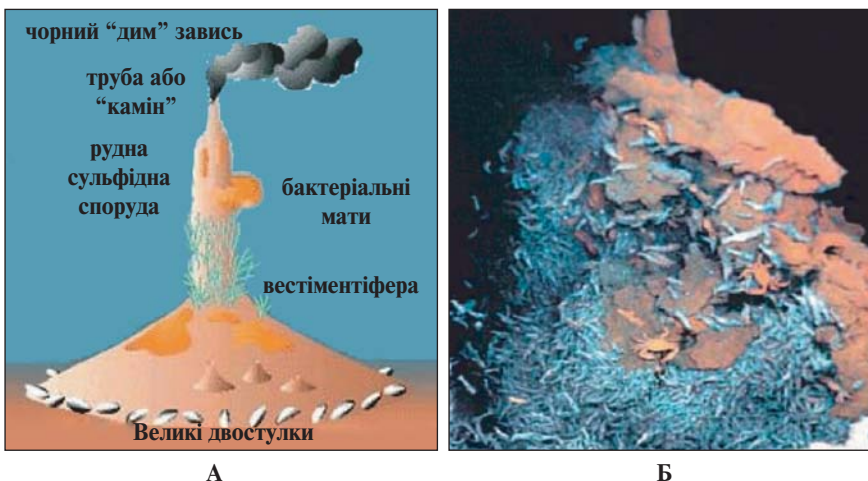


Рис. 3. А — екологія "чорного курця"; Б — скупчення креветок і крабів (глибина 3660 м, Серединно-Тихоокеанський хребет)

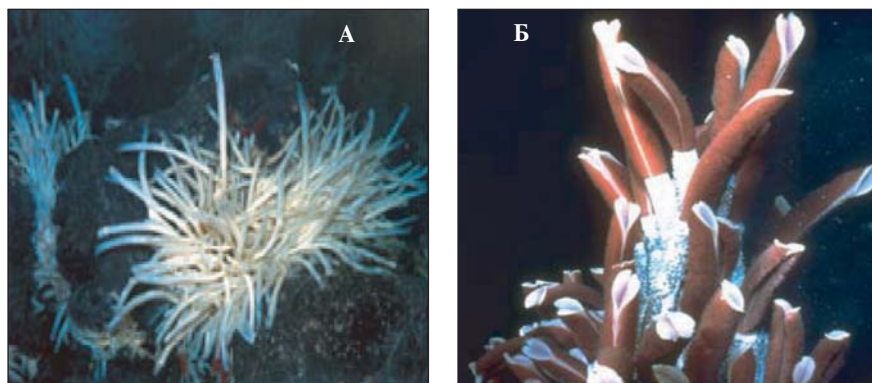


Рис. 4. А — колонія вестіментіфер *Riftia pachyptila* на згасаючій ділянці гідротермального поля (Східно-Тихоокеанське підняття, глибина 2600 м); Б — вестіментіфери *Riftia*: з хітинових трубок стирчать червоні зяброві пелюстки, через які проникають у кров сірководень і вуглекислий газ (фото з сайту www.sbroscoff.fr)

які, використовуючи енергію, що виділяється при окисленні сполук сірки, синтезують органічні речовини. Вся спільнота живе за рахунок діяльності цих бактерій.

Вестіментіфери мають вигляд трубки до трьох метрів завдовжки (рис. 4). Майже все тіло вестіментіфер займає особливий губчастий орган — трофосома, де міститься до 10 млн. клітин сірчанних бактерій. Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що великі клітини трофосоми містять безліч вакуоль з бактеріями.

У кільчастих хробаків альвінелл такі бактерії сидять прямо на поверхні тіла, а у двостулків — у зябрах. Всі ці тварини служать кормом для креветок, крабів і риб. Всього ж нині налічується понад 500 видів гідротермальних тварин. Подібні спільноти досить яскраво відтворюють еволюційний процес впровадження у прокаріотичну біосферу еукаріотичних організмів, що існують за рахунок прокаріотів.

У світі первісних еукаріотів, що виник над прокаріотичною біосферою, з'явилися групи, здатні виконувати багато функцій, які раніше здійснювали прокаріоти. Наприклад, водорості, подібно до ціанобактерій, мають здатність до фотосинтезу. У зв'язку з цим вони почали поступово витіснити ціанобактеріальні спільноти з традиційних для них екосистем, зокрема мілководдя морів і озер. Але, на відміну від ціанобактерій, водорості не в змозі фіксувати атмосферний азот. Цю проблему вирішили еволюційно шляхом формування симбіотичних спільнот, в яких надлишковий синтез безазотистого органічної речовини еукаріотами став джерелом для життя азотфіксуючих прокаріотів. Це є одним із яскравих прикладів того, як за рахунок формування симбіотичних систем відбувалася еволюція біосфери в напрямку формування властивої їй різноманітності.

Причому, всі еукаріотичні організми, починаючи від найпростіших і завершуючи людиною, є симбіотичними біосистемами з прокаріотами, без яких не здатні зберегти свою присутність у біосфері. Вся біосфера Землі — це не просто величезний організм (тіло Біоса), а глобальна планетарна симбіотична біосистема, основу якої становлять мікроорганізми. У процесі еволюції з'являлися, ускладнювалися і зникали організми, але мікроорганізми у всі часи як були, так і залишалися базисом планетарної системи підтримання життя, основою якої є глобальний кругообіг речовини та енергії і комплекс неразривно зв'язаних геобіохімічних циклів.

Таким чином, сучасний рівень науки приводить до висновку про те, що паралельні світи в біосфері Землі відсутні, оскільки всі спільноти земної біоти перетинаються з мікробним світом. Мікроорганізми не тільки становлять основу біосферної піраміди, вони входять до складу кожного пірамідального прошарку, перш за все, як середовище проживання і життєво необхідні симбіоти організмів, що виникли на цьому етапі еволюції біосфери.

Багато вчених є прихильниками теорії симбіогенезу, котра розглядає симбіоз як двигун еволюції. Згідно з цією теорією, поява еукаріотичних організмів у процесі еволюції відбувалася внаслідок формування симбіозу різними прокаріотами. Поглинання одними прокаріотичними клітинами інших, які потім перетворилися на органели зі спеціальними властивостями, призвело до появи перших еукаріотів (рис. 5).

На цей час теорія симбіогенезу підтверджується великим експериментальним матеріалом і стала однією з головних парадигм сучасної біології. Наприклад, припускають, що перші аеробні бактерії (альфапротеобактерії)

стали мітохондріями, а бактерії, які їх проковтнули, стали основою складнішої клітини, з яких складаються тіла грибів і тварин.

Теорія ендосимбіозу поки не може пояснити природу клітини-хазяїна, походження еукаріотичного ядра, в тому числі складних білкових ядерних пор, аналогів яких у прокаріотів невідомі.

В останні роки розглядається гіпотеза вірусного походження клітинного ядра. Пропонована гіпотеза ґрунтується на припущенні, що стародавній вірус, який нагадував сучасний вірус віспи, заразив стародавню без'ядерну клітину і певний час у ній мирно існував. При цьому клітина продовжувала жити і формувати потомство, кожна клітина якого містила вірус, переданий у спадок. Такий осілий вірус схожий з ядром. Якщо вірусні мРНК виявилися кращими матрицями, то клітині було вигідно поступово перевести всі свої гени на вірусну основу. Передбачають, що еукаріоти зобов'язані вірусам також появою мітозу і мейозу, що виникли як спосіб контролювати число копій вірусу в клітині на постійному рівні.

Французький вірусолог Жан-Мішель Клавері висловив припущення, що віруси дали початок ядру, а ядро — вірусам. На його думку, поки пам'ять про вірусне походження ядер ще не була втрачена, ядра, можливо, могли залишати клітину і повертатися до вільного життя, несучи з собою частину клітинних генів, які вже могли перейти на вірусну хромосому. Кожна така подія давала початок новій групі вірусів і сприяла тасуванню вірусних і клітинних генів. Цікавим є те, що останніми роками у вільноживучих акантамеб знайдені гігантські вірус-симбіоти (мімівіруси), в яких є ферменти для білкової трансляції (аміноацил тРНК-синтетази).

Обсяг цитоплазми найпримітивніших еукаріотів приблизно в 1000 разів більший, ніж у прокаріотів, що вимагає і більшого числа копій генів, щоб забезпечувати цитоплазму продуктами транскрипції. Один із способів вирішення цього завдання — збільшення числа генофорів, тобто кільцевих молекул ДНК. Таким шляхом пішли великі (поліплоїдні) бактерії і предки еукаріотів з великим об'ємом цитоплазми. Множинні генофори (спочатку однакові) стали зачатками хромосом, в яких поступово накопичувалися відмінності (рис. 6).

При амебоподібному русі і харчуванні шляхом фагоцитозу цитоплазма клітини, особливо периферична, стає дуже рухомою. Генофори, прикріплені

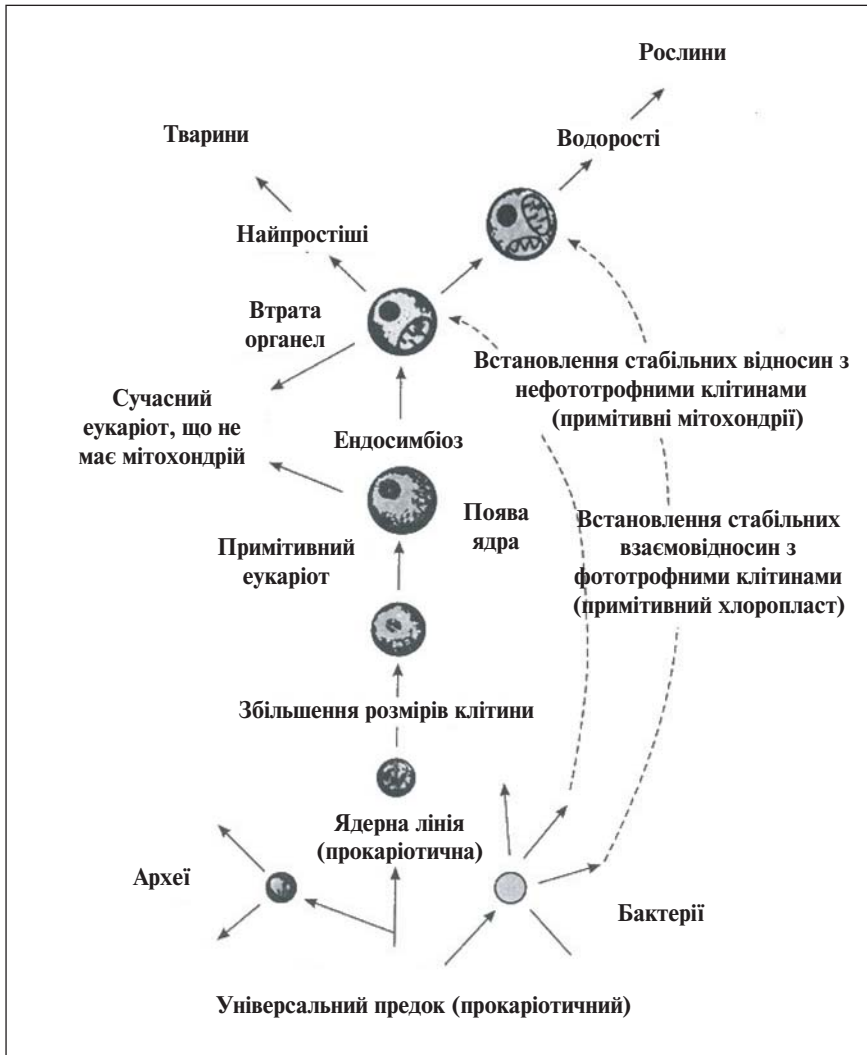


Рис. 5. Походження сучасних еукаріотів в результаті ендосимбіотичних процесів (за Madigan et al., 2000).

до поверхневої мембрани клітини, опинялися в зоні сильних течій цитоплазми, тому в центральній цитоплазмі з'явилася захищена мембранами ділянка, де зберігалися генофори. Процес міг відбуватися по-різному, але один із можливих шляхів — глибокі западини ділянок цитоплазматичної мембрани з прикріпленими до них генофорами (адже ядерна оболонка — це частина ендоплазматичного ретикулюму еукаріотичної клітини, який може бути пов'язаний із зовнішнім середовищем).

Таким чином, первинні еукаріоти мали ядро, обмежене подвійною ядерною оболонкою, що є похідною ендоплазматичного ретикулюму, але ще мали кільцеву будову генофорів і були позбавлені специфічних ядерних білків — гістонів. Як не дивно, подібна будова ядра збереглася й у деяких сучасних еукаріотів, наприклад у дінофлагелятів (рис. 7). У цих організмів ядро оточене подвійною ядерною мембраною, але хромосоми містять кільцеві молекули ДНК, позбавлені гістонів. Можливо, ядро дінофлагеля-

тів — реліктова структура, що зберегла будову, характерну для первинних еукаріотичних організмів.

Можливість симбіогенезу підтверджується, зокрема, численними прикладами внутрішньоклітинного існування мікроорганізмів. Наприклад, деякі найпростіші (амеби, інфузорії та ін.), містять всередині клітин багато різних бактерій, які вони використовують як для харчування, так і для інших цілей.

При дослідженні мікробної екології кримських бентонітових глин нами виявлені мікробні спільноти, в яких у великій кількості були присутні амебоподібні організми, що активно поглинають прокаріотичні клітини. При цьому багато клітин залишаються життєдіяльними та, очевидно, виконують функції, корисні для амеб (рис. 8). Можливо, ці організми є нащадками перших варіантів еукаріотів, що сформувалися внаслідок симбіогенезу.

З позицій гіпотези симбіогенезу достатньо зрозумілими є процеси ускладнення організмів у процесі еволюції, набуття ними нових якостей і формування властивого біосфері Землі колосального біорізноманіття.

На користь можливості ендосимбіотичного походження еукаріотів свідчить низка фактів. По-перше, хлоропласти і мітохондрії містять рибосоми прокаріотичного типу, і їхні функції інгібуються тими ж антибіотиками, що і рибосомні функції бактерій. По-друге, органи еукаріотів містять невелику кількість кільцевої ДНК,

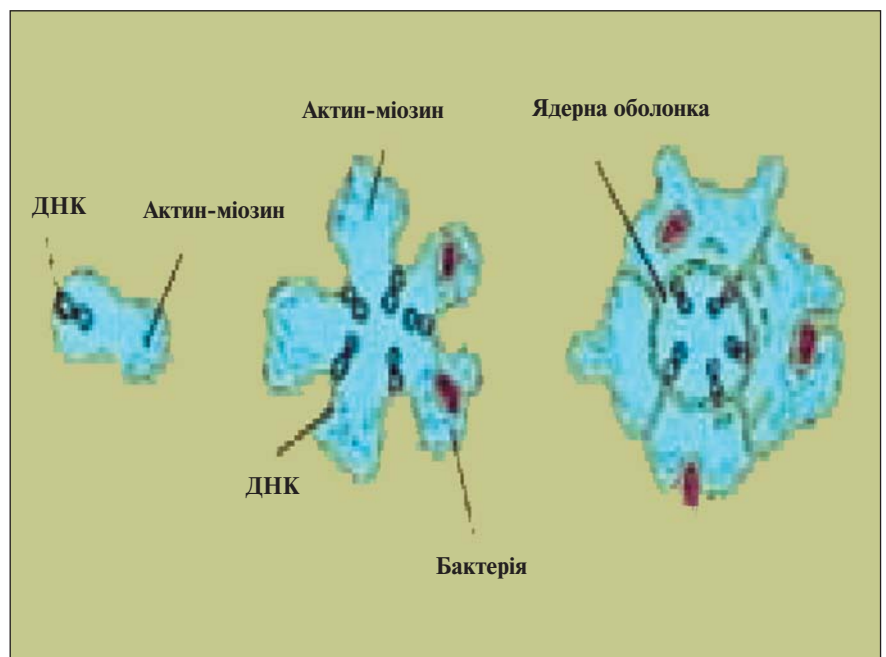
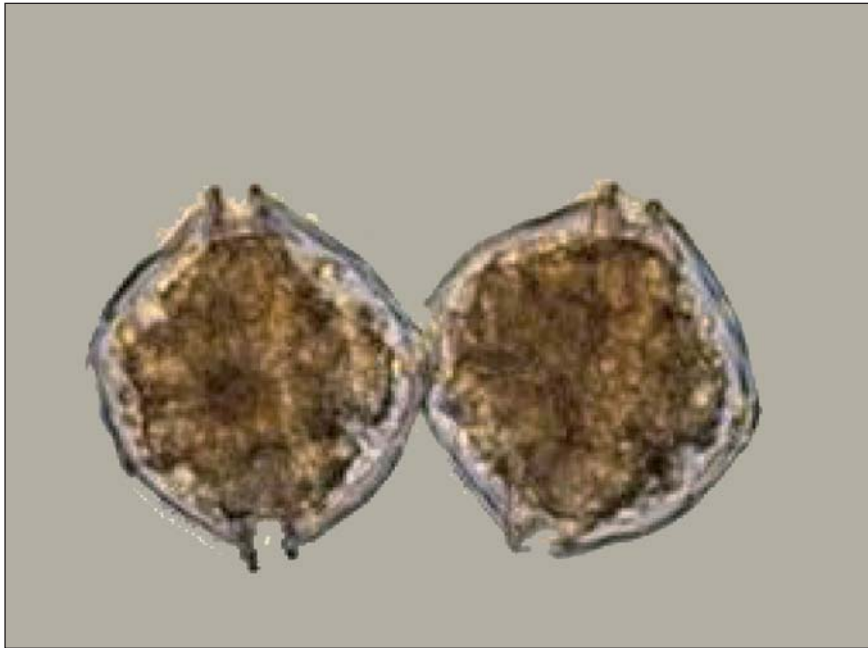


Рис. 6. Еволюція еукаріотів: зліва — гіпотетичний прокаріотичний організм, що володіє актиново-міозиною системою; всередині — великий хижий прокаріот з множинними генофорами, який живиться заковтуванням бактерій. Праворуч — первинний еукаріот, у якого за рахунок глибоких западин поверхневої цитоплазматичної мембрани сформувалася ядерна оболонка (рисунок з сайту <http://www.apus.ru/site.xp/>)

Рис. 7. Дінофлагеляти *Alexandrium fundyense*

характерної для бактерій. По-третє, послідовність 16S рРНК органел характерна для рибосом бактерій. По-четверте, ядерна фракція, виділена з кукурудзи, опинилася на гілці дерева філогенезу еукаріотів, а мітохондрії і хлоропласти — гілці бактерій (рис. 9). Це вважається найпереконливішим доказом ендосимбіозу стародавніх прокаріотів і еукаріотів.

Для того, щоб примітивні еукаріотичні клітини, що з'явилися внаслідок симбіогенезу, придбали сучасну еукаріотичну систему життя, вони змушені були пожертвувати такими цінними для прокаріотів якостями, як генетична пластичність, простота клітинної організації і здатність швидко адаптуватися до змін зовнішнього середовища. Оскільки еукаріоти не здатні активно розвиватися в більшості середовищ з екстремальними умовами життя, прокаріоти залишилися єдиними господарями таких екосистем.

Всі три домени життя (археї, бактерії й еукаріоти) зайняли свої ніші в біосфері та успішно процвітають до теперішнього часу. П'ять шостих геологічного часу Землі пов'язують із пануванням у біосфері мікроорганізмів, причому більша частина цього періоду пов'язана з прокаріотами.

Згідно з уявленнями прихильників симбіогенезу, симбіотичне походження мають такі важливі органи еукаріотичної клітини, як мітохондрії (рис. 10). Як відомо, мітохондрії за рахунок окислювального фосфорилування, що протікає тільки в присутності кисню, забезпечують синтез головного енергетичного ресурсу будь-якої клітини — АТФ. Не мають мітохондрій лише деякі найпростіші, що мешка-

ють в анаеробних умовах. Проте в геномі цих найпростіших знайдені деякі мітохондріальні гени, що свідчить про вторинність ознаки відсутності мітохондрій, пов'язаної з існуванням у безкисневих умовах, наприклад, у кишечнику тварин і в позбавлених кисню болотних водах.

Як відомо, мітохондрії оточені двома мембранами, причому внутрішня мембрана (та, що утворює кристи мітохондрій) належить самій мітохондрії, а зовнішня — вакуолі, в якій містяться симбіонти. Мітохондрія має власний спадковий матеріал, організований так само, як у прокаріотів. Це — позбавлена гістонів кільцева молекула ДНК, що несе інформацію про білки, які синтезуються в самій мітохондрії на її власних рибосомах прокаріотичного типу з константою седиментації 70S. Правда, у мітохондрій кільцева молекула ДНК приблизно в 100 разів коротша, ніж у бактерій, що існують самостійно. Справа в тому, що багато мітохондріальних білків коду-

ються в ядерній ДНК еукаріотичної клітини. Мабуть, у процесі тривалої спільної еволюції клітини господаря і симбіонтів, значна частина генів з геному мітохондрій перейшла в ядро еукаріотичної клітини. У геномі мітохондрій залишилися гени тільки тих білків, які не можуть подолати бар'єр із двох мембран. Тим не менше, мітохондрії не народжуються в клітині наново — вони діляться так само, як вільноіснуючі прокаріоти.

Передбачають, що предками мітохондрій могли бути пурпурові альфа-протеобактерії (рис. 11, 12). Мембрана цих оксифільних фотосинтезуювальних бактерій утворює глибокі западини, схожі на кристи мітохондрій.

Прабатьки таких бактерій могли існувати в кисневих кишнях первісної анаеробної біосфери. Вступивши в симбіоз з давніми амeboподібними еукаріотами, альфа-протеобактерії втратили здатність до фотосинтезу, оскільки всі необхідні органічні речовини вони стали отримувати від симбіотичного еукаріоту, який отримав від симбіозу свою вигоду, оскільки придбав резистентність до високих концентрацій кисню, який стали утилізувати симбіонти.

Розвиток війок, джгутиків, центріолей, мітохондріального веретена і хромомер хромосом пояснюється як наслідок симбіозу зі спірохетоподібною бактерією. У свою чергу, рослинна клітина з'явилася внаслідок поглинання клітиною, яка вже придбала мітохондрії ціанобактерій, що дозволило їй здійснювати фотосинтез (рис. 13, 14).

Первинні аеробні еукаріоти, що володіли симбіонтами, спочатку заселили кисневі кишні, але коли через 3 млрд. років після утворення біосфери концентрація кисню стала стрімко наростати, еукаріоти отримали можливість поширитися в біосфері. У шарах земної кори, що належать до цього періоду, з'являються так звані акритар-

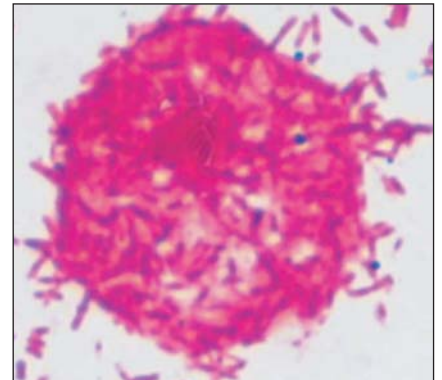
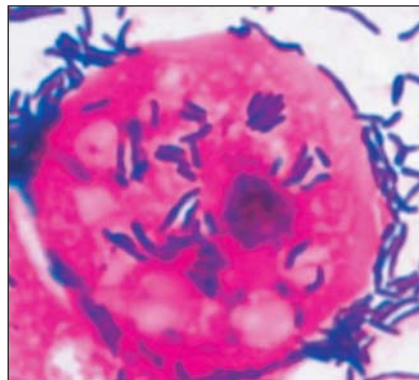


Рис. 8. Амeboподібні організми, ізолювані з бентонітової глини, що поглинають прокаріотичні клітини (фото авторів)

хи — великі сферичні, еліптичні або дископодібні клітини діаметром від 8 мкм до 1 мм. Клітини нерідко мають вирости або шипи (рис. 15). Багато дослідників відносять акритархи до одноклітинних водоростей, які ймовірно були першими еукаріотами, що відвойовували у прокаріотів заселені ними екосистеми.

Поряд із акритархами, великий інтерес викликають водорості підкласу коколітофоридів (*Coccolithophoridae*). Своєрідність їх полягає у тому, що на оболонці вони мають різні за формою і розмірами (від 0,5 мкм до 30 мкм) вапняні утворення, звані коколитами. Вапняні коколита утворюються усередині живої маси протоплазми коколітофоридів, а потім виштовхуються нею на поверхню, де розподіляються в один шар. Спосіб облицювання клітини коколитами найрізноманітніший. У деяких видів коколита розсіяні по поверхні клітини зі значними проміжками, в інших примикають один до одного, ще в інших перекриваються (рис. 16, 17). Значення цих вапняних утворень на тілі клітини дотепер точно не з'ясовано. Деякі вчені вважають їх плавальним пристроєм. Ускладнення і розповсюдження еукаріотичних організмів надавало прокаріотам нові екологічні системи, які вони успішно освоювали, формуючи симбіоз з організмами вищого рівня організації, серед них і з людиною. Таким чином, у ході еволюції всі живі істоти виявилися повністю залежними від прокаріотів.

Вважають, що багато (можливо, всі основні) еволюційних новоутво-

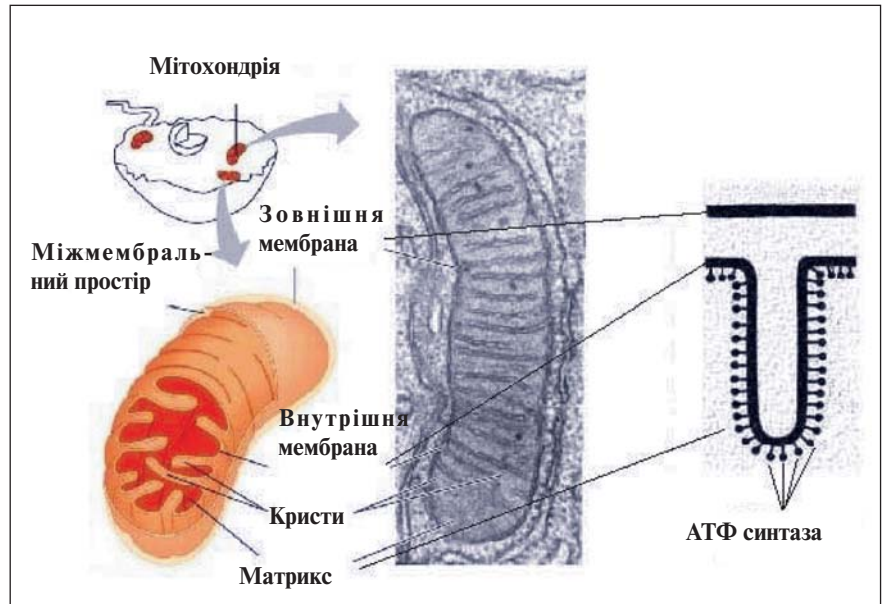


Рис. 10. Схема будови мітохондрії (рисунок з сайту <http://www.bestreferat.ru/>)

рень з'явилися не за рахунок поступового нагромадження випадкових мутацій, і не за рахунок вкрай мало ймовірних "корисних макромутацій", а за рахунок перекомбінації готових функціональних блоків живих систем. Яскравим виявом цього загального принципу є системоутворювальна, інтегральна роль симбіозу. Так само, як симбіоз кількох бактерій привів до виникнення еукаріотичної клітини, за однією з гіпотез, саме життя виникло шляхом симбіозу абиогенно синтезованих молекул РНК і білкових частинок. У свою чергу, багатоклітинні організми виникли в результаті незавершеного поділу, фактично — симбіозу безлічі нащадків однієї клітини. Ма-

буть, у цьому процесі відіграв велику роль горизонтальний перенос генів, тобто фактично — симбіоз геномів різних груп організмів. Виникнення багатоклітинних організмів розглядається також як результат розвитку біосоціальності, властивої одноклітинним істотам, і яка виявляється в обміні сигналами між клітинами і формуванні колоній і біоплівки як надклітинних структур. Тенденція до все більшої інтеграції клітин у колонії призводить до виникнення багатоклітинної істоти як індивідуальності вищого порядку. Обмін сигналами між вільноживучими клітинами трансформується у вироблення внутрішньоорганізмових факторів регуляції (гормонів, нейромедіаторів та ін.) Водночас сигнали, що виробляються одноклітинними як незалежними індивідами, з'являються з факторами міжорганізмової комунікації (феромонами), якими обмінюються багатоклітинні істоти.

Подальша еволюція живого призвела до формування наявного нині на планеті біорізноманіття. На Землі мешкає не менше 30 млн. біологічних видів, що становлять органічний ансамбль планетарного життя. Такі різні організми, як невидимі прокаріоти і гігантські тварини, найпростіші та великі рослини, комахи та люди — входять до складу єдиного планетарного "тіла Біосу". Подібно до цілісного організму, "Біос" залежить у своєму існуванні від гармонійного, злагодженого функціонування всіх "систем і органів", в ролі яких виступають різноманітні групи живих істот. І в кожній з цих груп життєво важливу роль відіграють мікроорганізми.

Біорізноманіття у всіх своїх гранях справді є необхідною передумовою

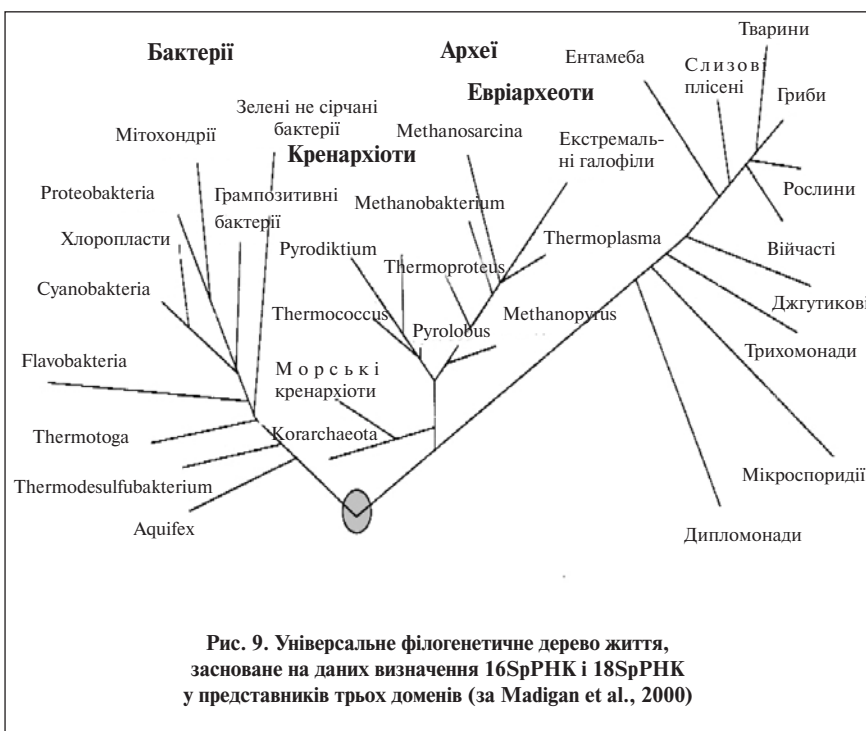


Рис. 9. Універсальне філогенетичне дерево життя, засноване на даних визначення 16SpРНК і 18SpРНК у представників трьох доменів (за Madigan et al., 2000)

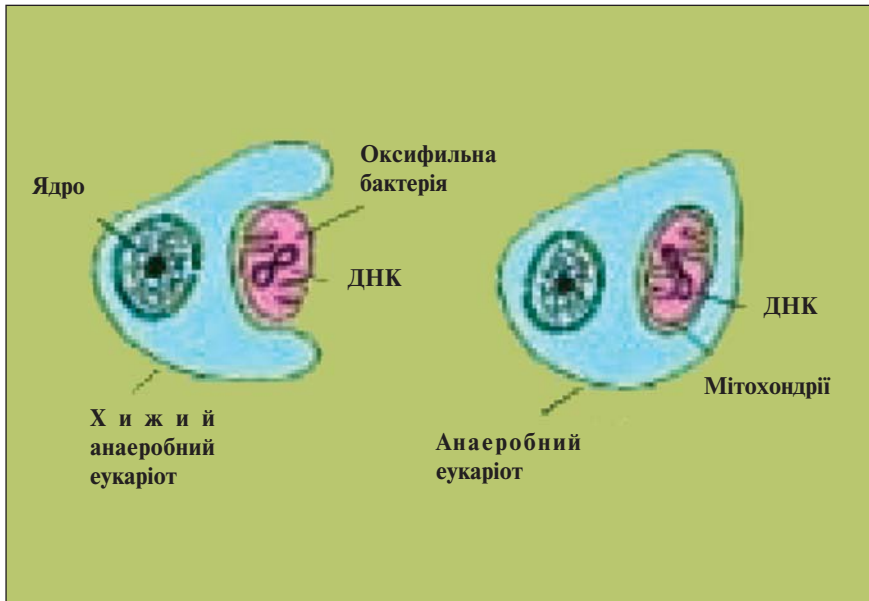


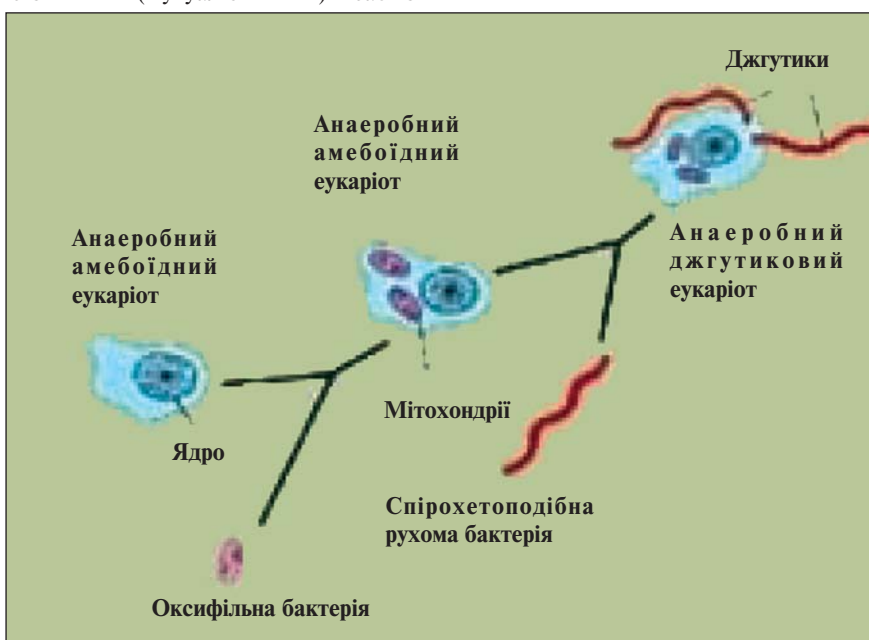
Рис. 11. Оксифільні фотосинтезувальні (пурпурові) бактерії виду *Rhodospirillum rubrum*

оптимального, гармонійного функціонування цілого ансамблю планетарного живого — біосфери. Організми з різними характеристиками і вимогами до життєвого середовища, які вступають у різноманітні відносини один з одним, можуть бути функціонально спеціалізовані в рамках "тіла Біосу". Кожен з біологічних видів може бути життєво важливим органом цього "тіла". Є численні приклади негативних глобальних наслідків знищення одного тільки біологічного виду. Живі організми біосфери еволюціонують не самі по собі, а в складі складних симбіотичних систем вищого порядку — спільнот або біоценозів. Структура спільноти накладає жорсткі обмеження на еволюцію організмів і спрямовує її.

Яскравим прикладом міцних симбіотичних (мутуалістичних) взаємо-



Рис. 12. Походження мітохондрій шляхом симбіозу хижого анаеробного еукаріоту й оксифільної бактерії (рисунок з сайту <http://wsyachina.narod.ru/biology/>)



У мутуалістичному симбіозі з прокаріотами існують багато морських тварин, перш за все, губки і асцидії (рис. 20). Як уже зазначено, хемоавтотрофні бактерії живуть у симбіозі з рифтями і багатьма іншими видами безхребетних і протистів, що населяють спільноти гідротерм. Є й багато інших прикладів симбіозу бактерій з різноманітними групами організмів.

Величезна кількість мікроорганізмів населяє шлунково-кишковий тракт тварин та людини і необхідна для нормального функціонування організму. Симбіотичні бактерії надзвичайно важливі для травлення тра-

Рис. 13. Походження еукаріотичної клітини шляхом симбіозу спочатку з оксифільними бактеріями (предками мітохондрій), а потім - зі спірохетами (предками джгутиків) (рисунок з сайту <http://www.apus.ru/site.xp/>)

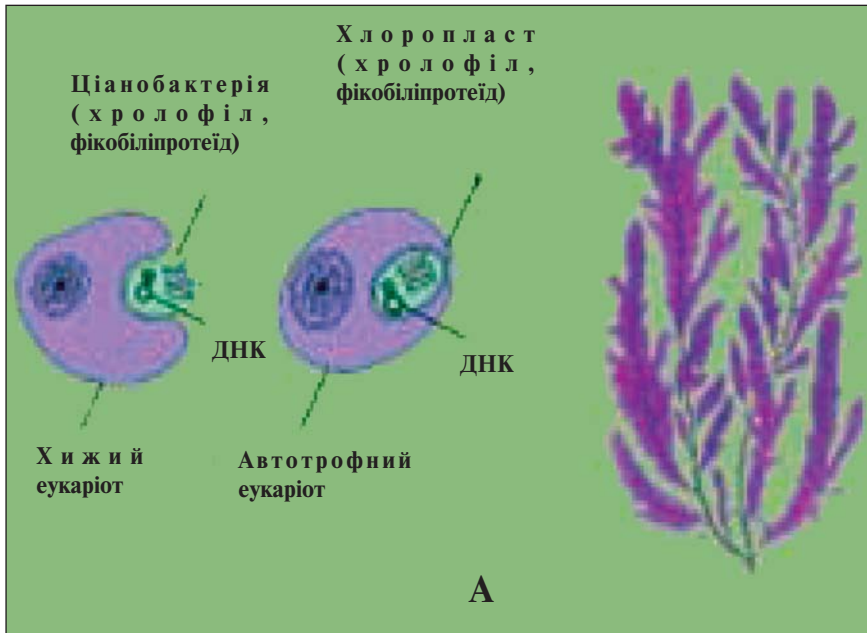
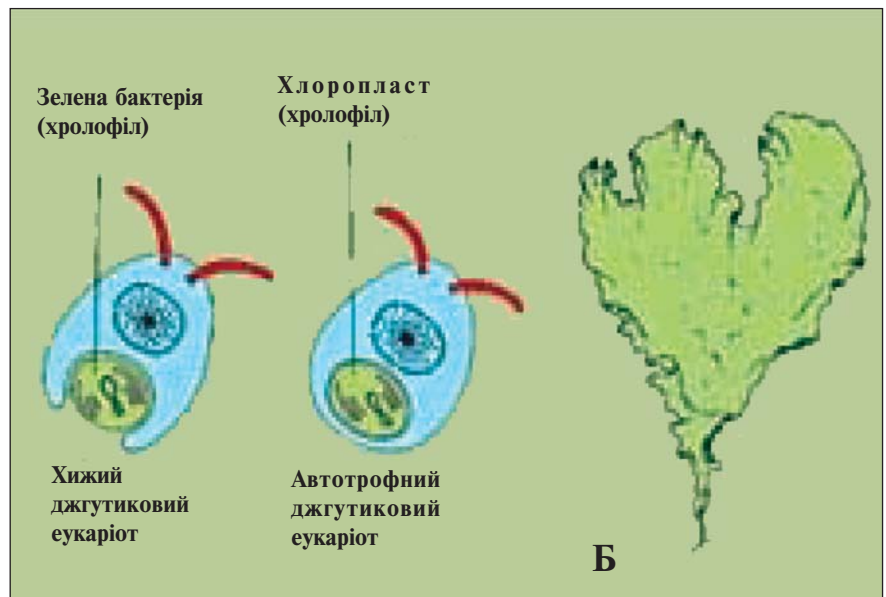


Рис. 14. А — походження хлоропластів червоних водоростей шляхом симбіозу з ціанобактеріями; Б — походження хлоропластів зелених водоростей і вищих рослин шляхом симбіозу із зеленими бактеріями (малюнок із сайту <http://www.apus.ru/site.xp/>)

воїдних, які харчуються не стільки рослинною їжею, скільки продуктами її бактеріального перетворення, а частково перетравлюють і самих бактерій.

Вся історія людства — лише мізерна частка того часу, яке було відпущене на еволюцію життя на Землі: вид "людина розумна", підвид "розумний" (кроманьйонець, *Homo sapiens subsp. sapiens*) не старше 100 тис. років. Як і решта вищих організмів, людина укорінилась у біосферу, базисом якої є мікроорганізми і сформувала з певними мікробними видами взаємовигідний симбіоз. Симбіотичні мікроорганізми колонізували всі слизові оболонки і шкірні покриви людини і сформували додаткову життєво важливу систему — мікробну екологічну систему людини (рис. 21).

Тільки в кишечнику людини в нормі мешкає від 300 до 1000 видів мікроорганізмів загальною біомасою 1-5 кг, а чисельність їхніх клітин не менше ніж на порядок перевершує чисельність клітин людського організму. Симбіотична мікробіота відіграє важливу роль у перетравлюванні компонентів їжі, синтезує вітаміни та інші фізіологічно цінні сполуки, витісняє патогенні мікроорганізми, знешкоджує харчові та мікробні токсини, ксенобіотики, радіонукліди, мутагени, канцерогени, стимулює імунітет і виконує широкий спектр інших цінних функцій.



Якщо нормальну мікрофлору якимось чином видалити з організму людини, він швидко втрачає життєздатність через відсутність інших органів і систем, які могли б узяти на себе багатоспекторні функції нормальної симбіотичної мікрофлори. Але сама по собі мікробіота людини надзвичайно стійка. Основна маса симбіотичної мікрофлори міститься у біотопах людини в особливих біологічних структурах — приєпітеліальних біоплівках, в які в нормальних умовах практично не проникають чужорідні мікроорганізми і сполуки.

Первинним "інокулятом" мікрофлори, яка передається від матері, організм кожної людини "засівається" при народженні. Надалі, придбана в пологах мікрофлора розмножується, колонізує у вигляді біоплівок відносно відкриті органи і системи і перебуває з організмом усе його життя. У кожного індивідуума є генетична схильність до

заселення його біотопів певними мікроорганізмами. Разом з тим, мікрофлора кожної людини піддається впливу різних факторів: особливостей харчування та побуту, екологічних умов зовнішнього середовища та ін. Тобто, кількісні та якісні особливості симбіотичної мікрофлори визначені генетично, але можуть бути чутливими до умов життя кожної людини, які вводять певні корективи в стан мікробної екології.

Мікробіота людини є не тільки життєво необхідним багатофункціональним органом. Вона також є потужним генетичним фондом організму. Мікробні геноми служать важливим доповненням геному *Homo sapiens*. Людину слід розглядати як "надорганізм", обмін речовин якого забезпечується спільною злагодженою роботою ферментів, закодованих не

тільки в геномі людини, але і в геномах сотень видів симбіотичних мікробів. Причому, частка людських генів у сукупному геномі цього "надорганізму" значно нижча за мікробні.

Симбіотична мікрофлора людини має виняткове значення в підтримці її здоров'я. Завдяки інтенсивним дослідженням у галузі мікробної екології людини, з кожним роком лавинно збільшується інформація щодо величезного спектру фізіологічних життєзабезпечувальних функцій, що реалізуються в організмі людини за участю його індигенної мікрофлори.

На жаль, людство, виховане на ідеях антропоцентризму, не відразу усвідомило особливу роль мікроорганізмів у підтримці життя на Землі в цілому і людини зокрема. Паралоксально, але людина, яка не здатна жити в біосфері без сприяння симбіотичних мікробів-союзників, упродовж

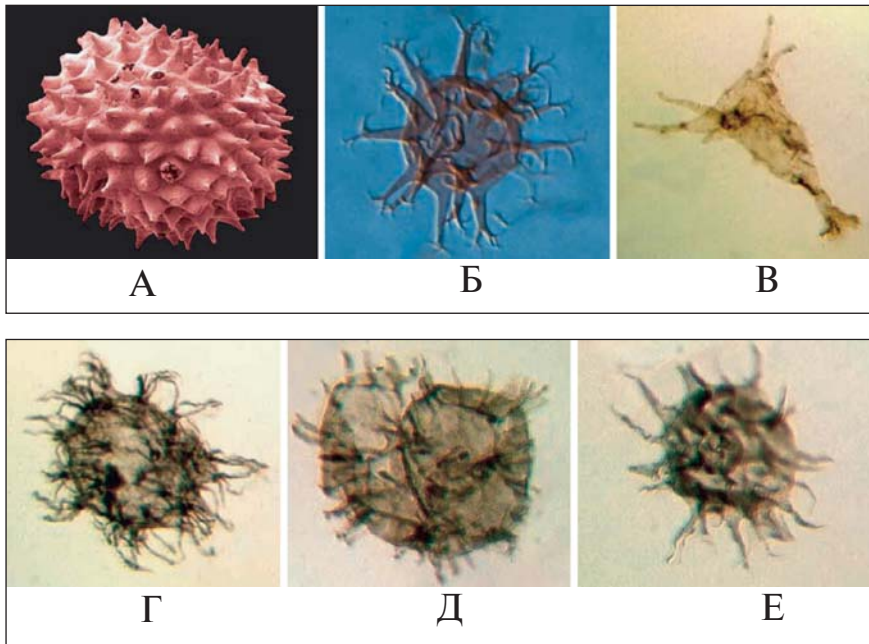


Рис. 15. Акритархи різної форми і розмірів: В — 32 мкм; Г — 43 мкм; Д — 45 мкм; Е — 40 мкм (фото з сайту <http://www.worldofnature.ru>)

усієї історії становлення і розвитку вчення про мікроорганізми не припиняла жорстокої боротьби з ними. Ще до цього часу багато лікарів сприймають мікроорганізми винятково як причину інфекцій та ускладнень інших захворювань і намагаються їх знищити з використанням всіляких засобів, арсенал яких безперервно зростає завдяки інтенсивному розвитку фармацевтичної індустрії. Перш ніж визнати помилковість і небезпеку такої стратегії, медицині було призначено пережити триумф відкриття антибіотиків і розчарування, пов'язані з невтішними результатами багаторічної, але безуспішної боротьби зі світом мікробів, що призвело до швидкої його еволюції в напрямку підвищення патогенного потенціалу і негативно відбилосся на здоров'ї населення.

Мікроорганізми людина ніколи не зможе підпорядкувати собі. Вони, незважаючи на уявну простоту організації, дуже складні для того, щоб альтруїстично служити людям, не маючи від цього користі. Мікроорганізми першими з'явилися на Землі, першими до кінця пройшли всю біохімічну еволюцію, створили умови для появи всіх інших організмів і відіграють головну роль для їх збереження у біосфері.

Хвороботворна природа спільноти мікроорганізмів дуже прибільшена. Збільшення спектру вірулентних мікробів — це закономірна відповідь на пряму чи опосередковану антимікробну активність людства. Мікроорганізми таким чином демонструють свій

високий захисний потенціал. Разом з тим, мікробний світ еволюціонує в напрямку розширення не абсолютно-патогенних, а умовно-патогенних видів. Це повністю відповідає еволюційній логіці та мудрості Природи, могутнім інтелектом якої керуються у своїй життєдіяльності мікроорганізми. Адже шлях до домінування в біосфері облігатно патогенних видів є тупиковою гілкою еволюції, в результаті якої неминуха загибель як вищих організмів, так і самих патогенів. З одного боку, неухильне зменшення абсолютно безпечних груп свідчить про здатність мікроорганізмів ефективно захиститися від агресії людини, а з іншого — розширення умовно-патогенних видів демонструє готовність мікрофлори до компромісу. Мікробний світ, відчуваючи покладену на нього Природою відповідальність за збереження біосфери, спрямовує свій біологічний потенціал на усунення факторів, що дестабілізують її.

Значущість мікроорганізмів у житті людської спільноти важко переоці-

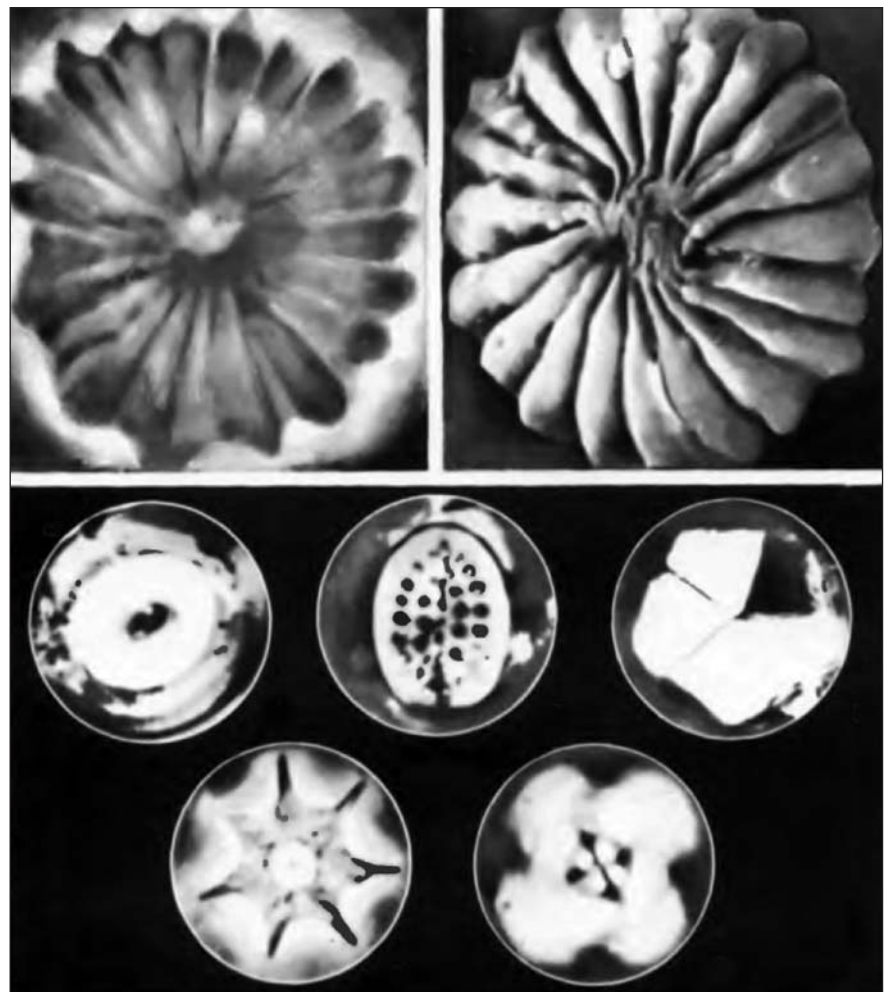


Рис. 16. Вапняні скелети копалин коколітофоридів з палеогенових відкладень: 1,2 — *Discoaster multiradiatus* (1 — вигляд у скануючому електронному мікроскопі; 2 — вигляд у світловому мікроскопі); 3 — *Coccolithus umbilicus*; 4 — *Discolithina distincta*; 5 — *Braarudosphaera bigelowii*; 6 — *Discoaster saipanensis*; 7 — *Cyclococcolithus reticulatus* (збільшення: 1 — $\times 11400$; 2 — $\times 2000$; 3-7 — $\times 3400$)

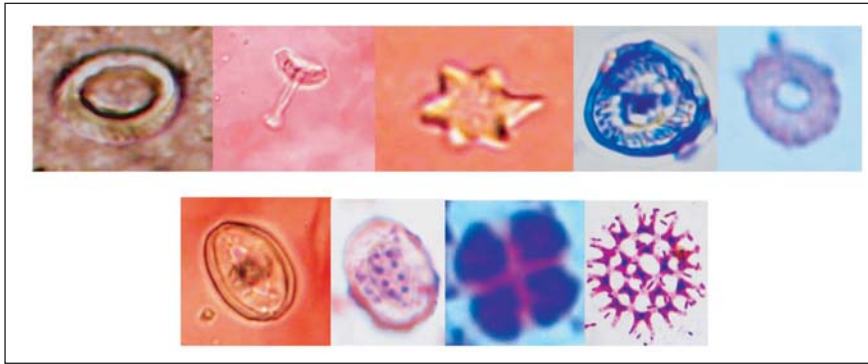


Рис. 17. Коколіти, виявлені авторами в бентонітовій глині

нити. Ще завдяки до відкриття мікробного світу люди активно використовували ферментативний, біосинтетичний і антагоністичний потенціали мікроорганізмів при отриманні різних продуктів харчування (кисломолочних продуктів, сиру, хліба, квашених овочів і фруктів, вина, пива і т. ін.), а також з лікувально-профілактичною метою. Мікробіологія, біотехнологія, генна і метаболічна інженерія, що стрімко розвиваються в останні десятиліття, пропонують безліч способів одержання різноманітних продуктів мікробного синтезу (амінокислот, ферментів, вітамінів, антибіотиків, білка, полісахаридів, біодеструкторів шкідливих речовин, антиоксидантів, спиртів, ацетону, гормонів, інтерферону тощо), які широко використовуються в різних галузях медицини і промисловості.

Якщо врахувати той факт, що симбіотичні мікроорганізми є важливою умовою нормального функціонування людського організму, стає зрозумілим,



Рис. 19. Бактерії-ризобії, що живуть у бульбочках на коренях сої, переводять атмосферний азот у засвоюваний рослинами амоній, отримуючи натомість комфортні умови життя і всі необхідні поживні речовини (фото із сайту <http://elementy.ru/lib/>)

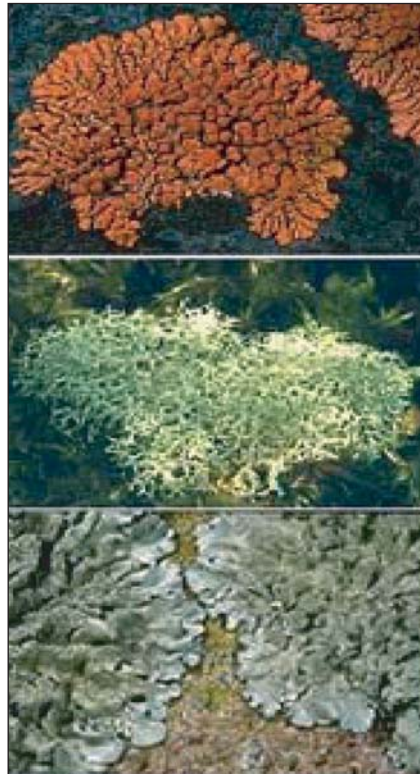
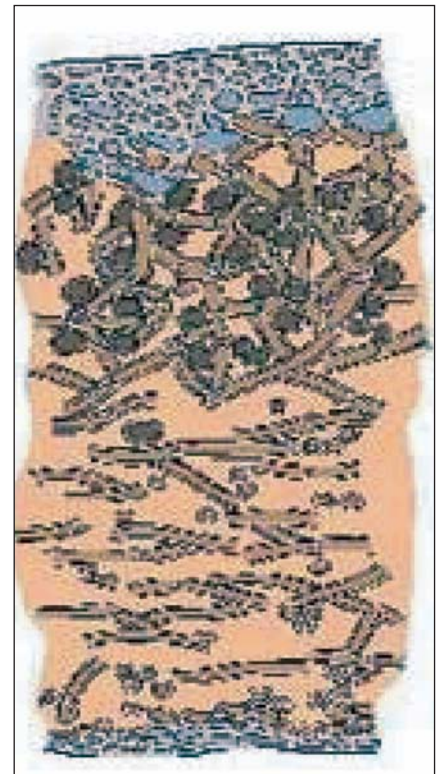


Рис. 18. Симбіоз між грибами і ціанобактеріями в лишайниках: А — коркові і куцисті види лишайників; Б — будова лишайника: видно розміщення ціанобактерій між гіфами гриба (рисунок з сайту <http://www.fizhim.ru/biology/>)

чому з покоління в покоління людина не стає сильнішою і витривалішою, хоча перемагла багато небезпечних хвороб. Справа в тому, що мікрофлора може стабільно існувати за сприятливих для її життєдіяльності умов. Разом з тим, існує величезна кількість факторів, які впливають на склад і функціональну властивість індивідуальних мікробних ценозів. При погіршенні умов для життєдіяльності симбіотичної мікробіоти розвиваються кількісні та якісні зміни у мікробній екосистемі, відомі під назвою "дисбіоз" (дисбактеріоз).

Особливу роль у збільшенні числа пацієнтів із дисбіозами відіграє повсюдне поширення факторів, що сприяють порушенням первинного становлення мікроекологічної системи. Зокрема, етіологія дисбіозів пов'язана з

погіршенням репродуктивного здоров'я жінок і чоловіків, порушеннями умов утримання новонароджених, штучним вигодовуванням немовлят та нерациональним використанням у неонатології медикаментозної терапії. Патологічні зміни процесу первинного становлення мікробної екологічної системи в ранньому віці є основною причиною розвитку мікроекологічних розладів у дітей, а також формування популяції дорослих з дисбіозами та асоційованими з ними захворюваннями.



Великий вплив на стан мікробних екосистем людини спричиняють несприятливі зміни навколишнього середовища, неадекватне використання та зловживання медикаментозними засобами, особливо антибіотиками, нерациональне харчування, широке розповсюдження в останні роки різних дієт для схуднення і зловживання окремими методами очищення організму від шлаків. Тенденція до зростання поширеності дисбіозів серед населення і здатність його служити пусковим фактором у формуванні та патогенезі широкого спектру інфекційних та соматичних захворювань вимагає розробки ефективних методів, що сприяють відновленню нормальної симбіотичної мікрофлори.



Рис. 20. Губки — найпростіші багатоклітинні, мають досить різноманітне забарвлення, яке їм надають бактерії-симбіонти (за Vogel, 2008).

Поступове усвідомлення значущості мікробної ланки біосфери загалом, і природної мікрофлори людини зокрема, спонукало до перегляду основних концепцій у галузі медичної мікробіології та переходу від методів тотального знищення мікрофлори до спроб відновлення здорової мікробної екосистеми як природних геобіоценозів, так і тіла людини. На рубежі ХХ і ХХІ століть медицина вступила в еру пробіотиків.

Запропонований на початку ХХ століття видатним мікробіологом, імунологом, фізіологом, лауреатом Нобелівської премії *І.І. Мечниковим* метод оздоровлення мікрофлори людини шляхом використання живих культур молочнокислих бактерій знайшов визнання тільки в останні десятиліття.

Поява у вітчизняній і зарубіжній пресі величезної кількості оглядів і статей з проблеми мікробної екології людини служить підґрунтям для продовження досліджень у цій галузі і раціоналізації практичного використання знань. Прогнозують, що в ХХІ столітті пробіотики значною мірою потіснять на ринку традиційні і небезпечні для організму сильні ліки, особливо ті з них, які застосовуються з профілактичною метою.

В результаті багаторічної роботи в галузі вивчення симбіотичних мікробних спільнот різних природних систем, зокрема біоценозів людини, автори розробили серію пробіотиків нового покоління — мультипробіотиків, які моделюють за складом і властивостями природні мутуалістичні симбіози.

Таким чином, на нашій планеті існує світ, який ми ще значною мірою не пізнали, але від якого ми абсолютно залежні. Та це не паралельний світ, а життєво необхідний компонент усього живого, як біосфери в цілому, так і будь-якого організму, що входить до її складу. Якщо прибрати з Землі людей, тварин і рослин, то життя як явище на планеті збережеться, але якщо прибрати мікроби, воно зупиниться негайно. Разом з тим, науковий прогрес сучасної цивілізації вже досяг того рівня, який дозволяє здійснити реальні кроки у напрямку підтримки дружніх відносин з мікробним світом і поліпшити за рахунок цього як екологію Природи, так і здоров'я населення.

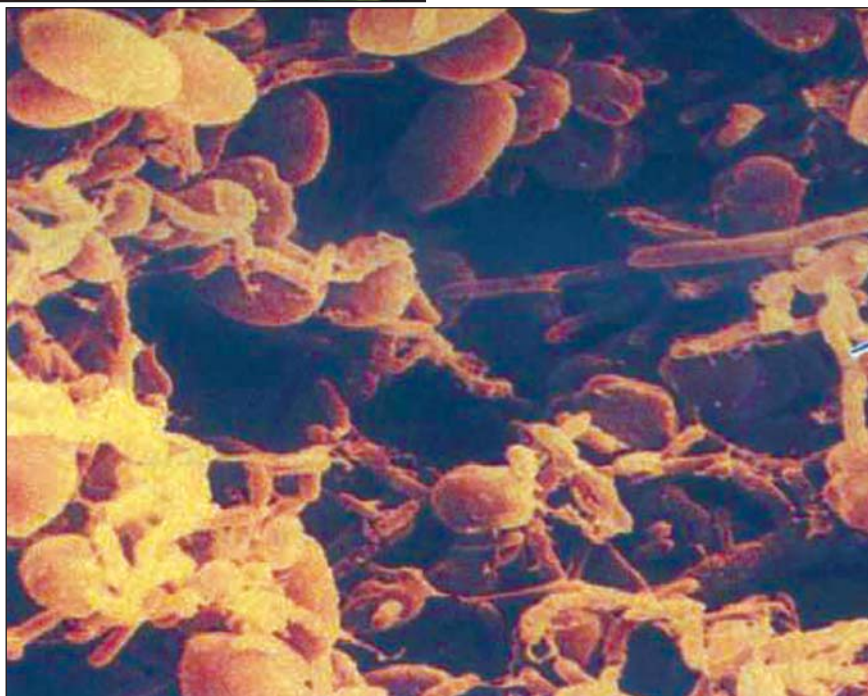


Рис. 21. Колонізація слизової кишечника людини симбіотичною мікрофлорою