

ANDRZEJ B. LEGOCKI

Naukowe definicje życia

Od niepamiętnych czasów człowiek zadaje fundamentalne pytania dotyczące swego istnienia, miejsca we Wszechświecie, a także początków życia na Ziemi. Mimo dokonującego się na naszych oczach ogromnego postępu nauki i nieustannego poszerzania obszarów wiedzy, większość tych kwestii pozostaje nadal nierozstrzygnięta. Wydaje się, że kluczem do zrozumienia wielkich przemian w świecie przyrody może być odwołanie się do zasady nieustannej zmienności, dzięki której uformowana została współczesna przyroda [1]. Czy jednak sama konstatacja zmienności bytów przyrodniczych i wynikająca z niej przemijanie są w stanie zaspokoić nasze pragnienie zrozumienia tajemnicy życia?

Nauki przyrodnicze nie potrafią jednoznacznie określić, w jaki sposób powstało życie na Ziemi. Istnieje wiele prawdopodobnych scenariuszy opartych o analizę obiektów paleontologicznych i o założenia akceptowanej przez świat naukowy teorii ewolucji. Na podstawie tych przesłanek można było stworzyć racjonalną koncepcję możliwego przebiegu wczesnych etapów pojawiania się życia na Ziemi, a także określić warunki, w których w ogóle mogło ono zaistnieć.

Złożoność oraz niezwykła różnorodność fenomenu życia wymagają wielowątkowego definiowania, tak aby odnieść się do różnych przymiotów tego zjawiska. Żadna pojedyncza definicja nie potrafi ogarnąć wszystkich naraz atrybutów życia. Niektóre z nich, jak definicja fizjologiczna, podkreślają istotne znaczenie oddzielenia żywych układów od biologicznego otoczenia, z którym wymieniają one substraty i elementy środowiska dla prowadzenia samodzielnych przemian związanych z metabolizowaniem pożywienia, oddychaniem, wzrostem i rozwojem. Pod względem właściwości fizycznych układy żywe wyróżniają się wzrastającym stopniem uporządkowania, odwrotnie niż Wszechświat, w którym uporządkowanie ulega zmniejszeniu na rzecz porządku losowego.

Z kolei definicja genetyczna eksponuje unikalną zdolność organizmów żywych do samoodtwarzania się. Nośnikami tej cechy są kwasy nukleinowe, które są swoistymi „matrycami dziedziczenia”. Mimo termodynamicznej stabilności pozostają one podatne na zmiany strukturalne zachodzące w ich łańcuchach (mutacje). Dzięki właśnie tym zmianom możliwe były adaptacje całych organizmów do zróżnicowanych i zmiennych,

w długiej skali czasu, warunków środowiska. W tym miejscu wydaje się słuszne przyjęcie zasady o współkształtowaniu przyrodniczej zmienności zarówno przez zasoby genetyczne samych organizmów, jak i przez uwarunkowania środowiskowe.

Na ogół panuje zgodność, że do podstawowych właściwości, które odróżniają organizmy żywe od świata nieożywionego, należą:

- zdolność do autoreplikacji,
- prowadzenie autonomicznego metabolizmu oraz możliwość przetwarzania energii,
- podatność na ewolucję i występowanie zmian przystosowawczych zgodnie z darwinowską zasadą naturalnej selekcji.

Układy żywe posiadają wysoce złożoną i hierarchiczną architekturę wewnętrzną. Potrafią utrzymywać ciągłość życia pomimo śmierci pojedynczych osobników, nawet w obliczu wymierania całych gatunków. Ten atrybut życia wynika z uniwersalności reguł przyrody i jej przemożnej zdolności do nieustannego odtwarzania procesów („cyklów”) życiowych.

Głównym celem dociekań biologii jest zrozumienie złożoności organizmów żywych. Analizowane pojedynczo komórki określonego organizmu są w zasadzie bardzo podobne do komórek każdego innego organizmu. Mimo iż wszystkie żywe istoty zbudowane są z podobnych elementów komórkowych, w przyrodzie wykształciła się zadziwiająca różnorodność biologiczna, polegająca na tym, że każdy wyższy organizm jest pod względem garnituru genetycznego niepowtarzalny i unikalny.

Istnieje wiele koncepcji filozoficznych na temat pochodzenia życia na Ziemi. Opierają się one na rozmaitych założeniach tworzących odrębne nurty myślowe. U podstaw popularnego wśród współczesnych przyrodników nurtu leży hipoteza, że pojawienie się najwcześniejszych form życia było możliwe dzięki reakcjom chemicznym, które zaszły między kilkoma prostymi związkami nieorganicznymi (woda, amoniak, metan, cyjanowodór i in.). Reakcje te przebiegały w prebiotycznych warunkach temperatury i ciśnienia, a ich produktami były związki organiczne – aminokwasy i zasady azotowe [2].

Niektóre hipotezy rozważające prawdopodobne scenariusze narodzin życia zakładają udział siarczków żelaza w reakcjach tworzenia się pierwszych związków (monomerów) organicznych. Cząsteczki tlenków węgla wydostające się z magmy podmorskich wulkanów wiązane były przez siarczki żelaza i w tej formie mogły reagować z wodorem cząsteczkowym, tworząc proste związki organiczne. Z czasem asocjacje tych cząsteczek były zdolne do tworzenia prymitywnych układów samoreplikujących. Te zaś mogły później łączyć się w struktury łańcuchowe o charakterze prepolinukleotydowym czy prepolipeptydowym. Po przestrzennym uformowaniu się w struktury bardziej stabilne, cząsteczki te z upływem długich okresów ziemskiej ewolucji, w reakcjach, które dziś nazwalibyśmy kondensacjami dehydratacyjnymi, przybierały postać makrocząsteczek

zdolnych do wzajemnych oddziaływań. Przymuszczałnie właśnie te oddziaływania legły u podstaw wykształcenia się załączków procesów życiowych.

Proste związki organiczne wykrywane są także na pozaziemskich obiektach astronomicznych Wszechświata. Zainteresowanie astrobiologów wzbudził meteoryt, który w roku 1969 spadł w Australii w miejscowości Murchison. Określono, że pochodzi on z planetoid znajdujących się pomiędzy Marsem i Jowiszem, a w jego fragmentach zidentyfikowano 18 białkowych aminokwasów, wykluczając przy tym zanieczyszczenia ziemskie. Ciekawe, że wzajemne proporcje tych aminokwasów były identyczne jak w mieszaninach uzyskiwanych laboratoryjnie w warunkach ciśnienia i temperatury, mogących występować w bulionie pierwotnym.

Obecność związków organicznych w przestrzeni pozaziemskiej oznacza, że wystąpiły tam warunki do pojawienia się materii organicznej powstałej z prostych związków nieorganicznych. Stąd jednak do zaistnienia cząsteczek bardziej złożonych, warunkujących powstanie życia w znanej nam formie, wiedzie bardzo długi ciąg zdarzeń. Każde zdarzenie tego ciągu ma swoje odrębne i wcale nie najwyższego stopnia prawdopodobieństwo.

Rozważania na temat wystąpienia na pozaziemskich obiektach naszej galaktyki wszystkich naraz szczególnych uwarunkowań fizycznych i środowiskowych, które mogłyby zdecydować o pojawieniu się fenomenu życia, od lat wypełniają ciekawą sferę badań astrofizycznych.

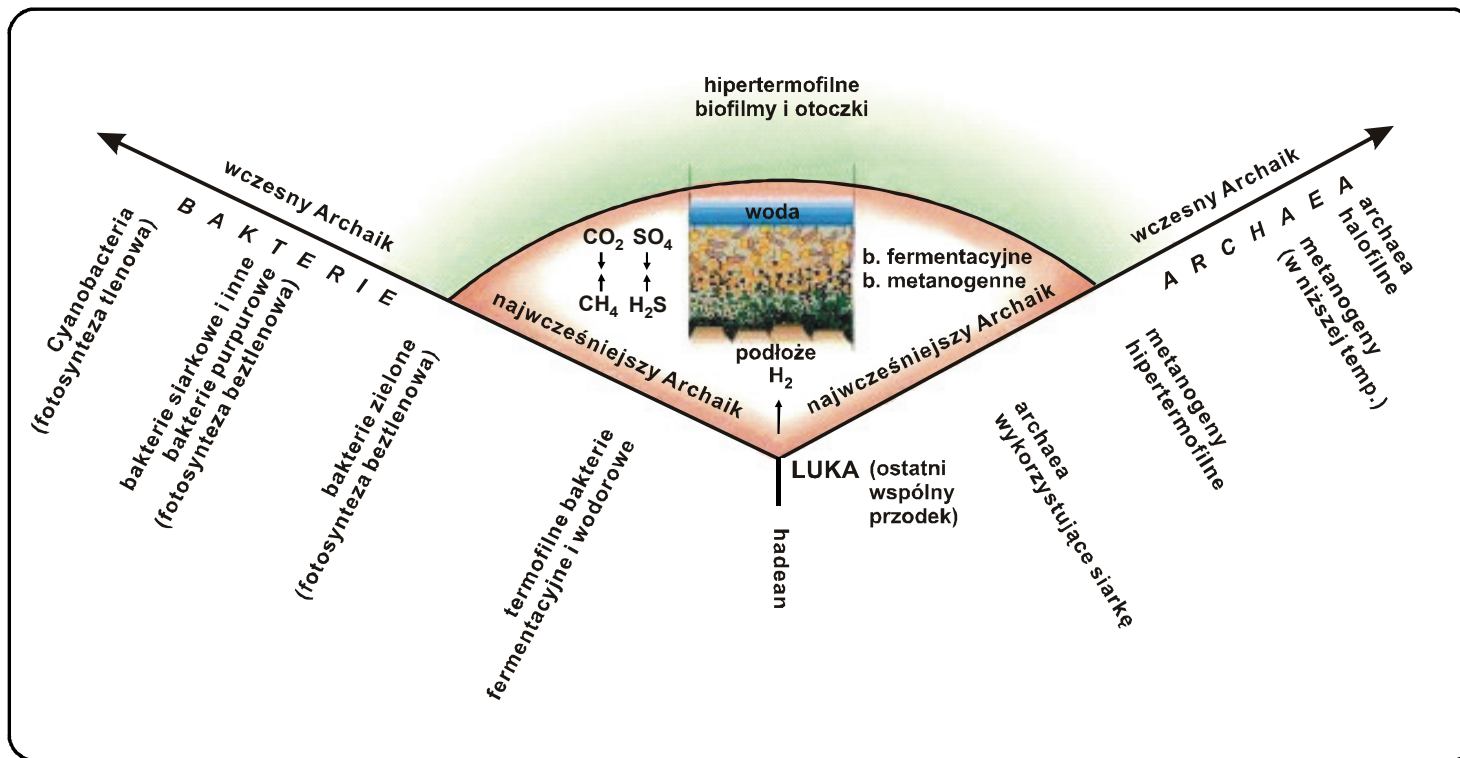
Niektóre nurty rozważań na temat pochodzenia życia na Ziemi oparte są o hipotetyczne scenariusze egzobiologii. Uważają one za prawdopodobne przeniesienie związkowych form życia (w postaci np. monomerów organicznych czy nawet bardziej złożonych elementów żywych komórek – białek i kwasów nukleinowych) z innych obiektów Wszechświata na Ziemię.

Metafizyczna hipoteza powstania życia na Ziemi zakłada, że powstało ono w wyniku nadprzyrodzonego aktu stwórczego, którego nie da się opisać za pomocą znanych nam reguł fizyki i chemii. W ten sposób metafizyka przeniosła rozważania o pojawieniu się życia na Ziemi do sfery wiary.

Wśród kwestii natury filozoficznej, które zawsze towarzyszyły dociekaniom poznawczym na temat powstania życia, na szczególną wzmiankę zasługuje sformułowanie przez wybitnego biologa francuskiego Jacques'a Monoda dylematu: „przypadek czy konieczność?” [3]. Sam Monod był zwolennikiem tezy, że życie na Ziemi pojawiło się, przy sprzyjających warunkach środowiska, w wyniku zdarzeń losowych. Inny pogląd wyrażali tacy badacze, jak Christian de Duve czy Robert Shapiro, którzy uważali, że życie jest wynikiem samoorganizujących się właściwości materii i bynajmniej nie jest zjawiskiem unikalnym dla naszej planety [4, 5].

Tabela 1. Najkrótsza historia Wszechświata i życia na Ziemi

10-15 miliardów lat temu	Wielki Wybuch (BB). Powstaje Wszechświat. Pojawia się grawitacja
10^{-43} sekundy później	Temperatura obniża się do 100 milionów miliardów miliardów stopni
10^{-34} sekundy później	Temperatura obniża się do miliardów miliardów stopni. Materia pojawia się w formie kwarków i elektronów. Pojawia się antymateria
10^{-10} sekundy później	Pojawiają się oddziaływania elektromagnetyczne oraz słabe oddziaływania korpuskularne
10^{-5} sekundy później	Temperatura obniża się do 1 tryliona stopni. Powstają protony i neutrony z kwarków i antyprotony z antykwarków. Ze zderzenia protonów z antyprotonami powstają fotony.
1 minuta później	W temperaturze 1 miliarda stopni powstają pierwsze pierwiastki: hel, lit i ciężkie formy wodoru
300 000 lat później	Temperatura obniża się do 3000 stopni. Tworzą się pierwsze atomy
1 miliard lat po Wielkim Wybuchu (BB)	Tworzą się galaktyki
3 miliardy lat po BB	Powstają gwiazdy i układy słoneczne (gwiazdne)
5-10 miliardów lat po BB (tj. ok. 5 miliardów lat temu)	Powstaje Ziemia
3,4 miliarda lat temu	Na Ziemi pojawiają się pierwsze formy życia (anaerobowe prokarioty)
1,7 miliarda lat temu	Pojawia się DNA
700 milionów lat temu	Pojawiają się organizmy wielokomórkowe
570 milionów lat temu	Eksplzja Kambryjska. Pojawiają się zróżnicowane formy morfologiczne żywych organizmów. Początki strunowców
400 milionów lat temu	Pojawienie się roślin lądowych
200 milionów lat temu	Pojawiają się pierwsze ssaki w świecie dinozaurów
65 milionów lat temu	Wymieranie dinozaurów, rozwój ssaków
50 milionów lat temu	Oddzielenie się naczelnych
30 milionów lat temu	Pojawienie się rozwiniętych małp naczelnych i dużych małp bezogonowych
15 milionów lat temu	Pojawienie się pierwszych małp człekokształtnych
5 milionów lat temu	Dwunożni humanoidzi. <i>Homo habilis</i> (2-ręczny) wytwarza pierwsze narzędzia
2 miliony lat temu	<i>Homo erectus</i> , pojawił się w Afryce, posługuje się ogniem, zaczyna posługiwać się językiem, wytwarza oręż
500 000 lat temu	Pojawia się <i>Homo sapiens</i> – tworzenie technologii
90 000 lat temu	<i>Homo sapiens sapiens</i> – nasz bezpośredni przodek
10 000 lat temu	Początki rolnictwa uprawowego i udomowiania zwierząt
8000 lat temu	Pierwsze osady miejskie w Mezopotamii
6000 lat temu	Język pisany w użyciu



Ryc. 1. Biosfera ziemską późnoarchaiczną (wg Nisbet i Sleep [10])

Nauki przyrodnicze nie potrafią w definitywny sposób wyjaśnić wszystkich warunkowań związanych z fenomenem życia. Koncepcje metafizyczne głoszą, że życie na naszej Ziemi, podobnie jak cały Wszechświat, zostały stworzone. Nauki przyrodnicze nie powinny *a priori* odrzucać koncepcji metafizycznych, tak jak te nie powinny przeczyć prawdom o świecie odkrywanym przez nauki przyrodnicze. Teoria ewolucji i doktryna stworzenia nie muszą pozostawać ze sobą w konflikcie. Nauka nie może zakazywać osobom wierzącym przeświadczenia, że niewidzialna ingerencja Stwórcy w procesy losowe przyrody spowodowała właśnie, że świat z całą jego złożonością jest taki, jakim go postrzegamy.

Życie na Ziemi może trwać jedynie w ściśle określonych warunkach chemicznych, geofizycznych i klimatycznych. Występowanie form żywych takich uzależnione jest od chemicznej reaktywności węgla i dostępności wody. Atomy pierwiastków, z których zbudowane są żywe komórki – wodór, węgiel, azot, tlen, fosfor i siarka występują na wielu obiektach Wszechświata. Nie wiadomo jednak, czy wraz z nimi obecna tam jest woda i panują temperatury zapewniające wystąpienie reaktywnych oddziaływań międzypierwiastkowych, co miałoby decydujące znaczenie dla powstania układów żywych.

Ziemia powstała około 4,5 mld lat temu. Intensywny okres bombardowania meteoritami, gruzem kosmicznym oraz promieniowaniem jonizującym trwał przez pierwszych kilkaset milionów lat. W tym okresie ocean ziemski mógł co jakiś czas wyparowywać, a zawiązki życia oparte o organiczne monomery, jeśli się tworzyły, mogły ulegać wielokrotnemu niszczeniu. W pewnym uproszczeniu, ziemskie warunki prebiotyczne mogły przypominać dzisiejsze kraterowe krajobrazy na Księżycu [6].

Przez miliardy lat życie na Ziemi mogło rozwijać się tylko głęboko pod powierzchnią oceanów z uwagi na bombardowanie meteoritowe, a także zabójcze dla życia promieniowanie UV. Kolonizacja łądów przez pierwotne organizmy nastąpiła w skali trwania życia stosunkowo niedawno, bo ok. 500 mln lat temu, kiedy w atmosferze zakumulowało się dostatecznie dużo tlenu wytworzonego przez organizmy fotosyntetyzujące (sinice) dla utworzenia warstwy ozonu chroniącej Ziemię przed zabójczym ultrafioletem. W najwcześniejszym okresie historii Ziemi żyjące głęboko pod wodą sinice wykształciły aparat fotosyntetyczny przystosowany do funkcjonowania przy bardzo niskim świetle. Wydzielany na zewnątrz przez nie tlen był wiązany i osadzany w postaci tlenków żelaza (tzw. wstęgowe formacje żelaziste).

Za współczesne „okna” na prebiotyczne warunki życia uważa się okolice wulkanicznych głębi na dnie Pacyfiku, który jest najstarszym zasobem wód na Ziemi. Tam na głębokościach 1,5-3 km w pobliżu czynnych wulkanów, z których wydobywają się gazy wulkaniczne: siarkowodór, cyjanowodór, metan oraz obecne są siarczki żelaza, żyją liczne mikroorganizmy (np. *Thermococcus thio-reducens*), wykorzystujące wodór jako źródło energii. Być może w takich właśnie ekstremalnych warunkach rodziło się życie na

naszej planecie i wszystkie współczesne szlaki przemian biochemicznych wywodzą się z „fazy hydrotermalnej” formowania życia.

Niewyjaśniona jest nadal kwestia pojawienia się pierwszych struktur komórkowych. Przypuszczalnie pierwotne formy „makrocząsteczek życia” – białka i kwasy nukleinowe pojawiły się na długo przed tym, zanim zostały zamknięte w *quasi*-komórkach. Częsteczki te były bowiem zbyt nietrwałe, by w „nagiej” formie móc przetrwać w dynamicznie zmieniającym się środowisku. Hydrofobowe cząsteczki organiczne pierwotnego bulionu podatne na aglutynacje mogły tworzyć międzycząsteczkowe konfiguracje przypominające „mydłopodobne błonki”. Z czasem zaczęły powstawać błonki dwuwarstwowe, które wzmocnione wbudowanymi białkami i węglowodanami mogły coraz bardziej przypominać współczesne membrany komórkowe.

Wydaje się, że kod genetyczny, pierwsze reakcje energetyczne oraz formowanie się pierwotnych struktur fizycznych ewoluowały równocześnie od najwcześniejszych stadiów formowania się związków życia. Natomiast szlaki przemian metabolicznych, na których ukształtowanie przemożny wpływ miały zmieniające się warunki środowiska, wykształciły się znacznie później. Adaptacje ewolucyjne przebiegały zapewne zgodnie z najbardziej ekonomiczną zasadą „zachowawczego samoograniczenia się”. Pierwsze formy żywych organizmów, które zasiedliły Ziemię były beztlenowe (anaerobowe) i odżywiały się cukrem prostym – glukozą. Aby zapobiec wyczerpaniu się tego „paliwa cząsteczkowego”, ewolucja wykształciła stosunkowo wcześniej szlak jego odtwarzania, polegający na najprostszym odwróceniu glikolizy, tzn. ścieżki rozkładu glukozy. Od samego początku przemiany te stały się podstawą przemian energetycznych każdego żywego organizmu. Oprócz nich w pierwszych anaerobowych organizmach bardzo wcześniej wykształcił się mechanizm przyswajania azotu atmosferycznego. W reakcji tej bierze udział kompleks enzymatyczny nitrogenazy, którego głównym komponentem jest białko żelazowo-siarkowe – ferredoksyna. Prześledzenie budowy tego białka u różnych organizmów ukazało, że pierwszeństwo w ewolucji miały te zmiany, które spełniły wymogi zarówno ekonomiczności, jak i zachowawczości [7].

Wydarzeniami w historii ewolucji, które zdecydowały o ukształtowaniu się współczesnych form życia, wyróżniającego się niezwykłą wprost różnorodnością, było pojawienie się fotosyntezy tlenowej u sinic oraz uformowanie się płciowości u organizmów wyższych. Płeć pojawiła się ok. 1,1 mld lat temu, stanowiąc odtąd główne źródło zmienności w przyrodzie. Rozmnażanie płciowe i związane z nim tasowanie zasobów genowych organizmów znacząco przyspieszyło tempo ewolucji oraz specjacji. Z nastaniem rozdzielnych płci w przyrodzie pojawiło się także zjawisko śmierci biologicznej. U organizmów bezpłciowych, dzięki klonalnie wytworzonym potomstwu, określony zestaw genowy staje się biologicznie nieśmiertelny, ponieważ zostaje zachowany w każdym następnym pokoleniu klonalnym, zmienianym jedynie przez przypadkowe mutacje.

U organizmów płciowych natomiast, unikalna kombinacja ich zasobów genowych, której tylko część przekazywana jest następnemu pokoleniu, stanowi charakterystyczny znacz-
nik osobniczy, który znika z chwilą śmierci organizmu i nie pojawi się już nigdy więcej
w przyszłości.

Historia geologiczna Ziemi podzielona jest na dwa okresy (eony): prekambry – pierw-
szych 4,5 mld lat życia planety do pojawienia się zwierząt szkieletowych, oraz fanero-
zoik – obejmujący ostatnich 550 mln lat. Prowadzona przez wiele dziesięcioleci drobiaz-
gowa analiza form życia utrwalaonych w zachowanych skamielinach pozwoliła odtworzyć
z dużym prawdopodobieństwem filogenetyczną historię roślin i zwierząt. Cenny wkład
wniosły tu podejścia biologii molekularnej, która ukazała wielką jedność kodu gene-
tycznego i mechanizmów dziedziczenia oraz wspólnotę głównych szlaków metabolicz-
nych u wszystkich żywych organizmów. Było to ostateczne udokumentowanie mono-
fyletycznej koncepcji pochodzenia gatunków, tj. wywodzenia się ich od wspólnego przod-
ka. Ten pogląd wyłożony przez Karola Darwina (1809-1882) w wielkim dziele *O pocho-
dzeniu gatunków* dał podwaliny współczesnej filozofii przyrody.

Teza Darwina, że każdy gatunek jest potomkiem przodków, którzy są do niego tym
mniej podobni, im dalej sięgamy wstecz, obarczona była wszakże poważną wątpliwością,
która przez ponad sto lat oczekiwała na wyjaśnienie. Była to mianowicie niemożność
zidentyfikowania kopalnego zapisu najwcześniejszych form życia – skamieniałości pre-
kambryjskich. Poszukiwane były pośród drobnoziarnistych, wielowarstwowych pokła-
dów krzemionkowych mikroskamieniałości organiczne. Dopiero w połowie XX wieku
formy takie udało się zidentyfikować przez kilka niezależnych grup badawczych. Odn-
alezione skamieniałości należały do mikroskopijnych organizmów jednokomórkowych
Cryptozoon żyjących 3,5 mld lat temu [8]. Mikroorganizmy te, wśród których znajdo-
wały się także sinice (cyjanobakterie), przez miliony lat tworzyły struktury złożone
z pokładów wielowarstwowych (tzw. stromatolity). W strukturach tych organizacja
poziomych warstw zależna była od światła i dostępności tlenu. Sinice, które należą do
organizmów posiadających najdłuższy znany zapis kopalny, występowały na powierz-
chni tych zespołów, poniżej zaś znajdowały się warstwy bakterii purpurowych i siar-
kowych fotosyntetyzujących z wykorzystaniem barwników pochłaniających długie fale
światłne.

Pochodzenie skamieniałości wielowarstwowych dość długo budziło kontrowersje,
które ostatecznie rozwiła odkrycie w roku 1961 współcześnie żyjących stromatolitów,
zbudowanych z mikroorganizmów bardzo podobnych do prekambryjskich *Cryptozoon*.

W ostatnich latach spore zainteresowanie wywołała dyskusja nad odtworzeniem
zapisu genetycznego pierwotnych (primordialnych) form życia, które mógłby uosabiać
tzw. ostatni wspólny przodek (*Last Universal Common Ancestor – LUCA*) [9]. LUCA
był przypuszczalnie tworem termolubnym o stabilnych wiązaniach międzycząsteczko-

wych, co w łańcuchach kwasów nukleinowych zapewniałaby wyższa zawartość nukleotydowych par G-C. Rozważania takie prowadzi się na poziomie genomów i choć mają one charakter raczej spekulatywny, nie można im odmówić także wymiaru użytecznego dla współczesnej nauki. Na ich podstawie bowiem podejmowane są próby wyznaczenia tzw. genomu minimalnego organizmów żywych, co może z kolei ułatwić wyselekcjonowanie genów uniwersalnego charakteru, wspólnych dla wszystkich żywych organizmów. Zidentyfikowanie tzw. genów pierwotnych (tzn. mogących wchodzić w skład pierwszych, a więc najstarszych genomów) mogłoby przyczynić się do wyjaśnienia istoty i pochodzenia mechanizmów różnicowania, rozwoju i adaptacji środowiskowych.

W ostatniej dekadzie XX wieku powstała genomika – dziedzina biologii, która zajmuje się opisaniem budowy zasobów genetycznych i organizacją chromosomów żywych organizmów. Jest ona rozszerzeniem genetyki, która należy do klasycznych dyscyplin przyrodniczych i z pomocą biologii molekularnej rozpoznaje właściwości strukturalne zespołów genowych oraz genów pojedynczych. Podejścia genetyczne znalazły zastosowanie w najnowszych nurtach biologii syntetycznej przy konstrukcji uproszczonych, niewystępujących w przyrodzie, struktur typu komórkowego, przypominających pierwotne komórki prebiotyczne. Komórki, nawet te najprostsze, są najdoskonalszymi bioreaktorami, mogącymi po wyposażeniu w odpowiednio zaprogramowane genomy podjąć produkcję pożądaných preparatów biomedycznych.

W specjalistycznych laboratoriach prowadzone są obecnie prace nad stworzeniem sztucznych komórek bakteryjnych dla celów technologicznych. W tym celu opracowywane są metody syntezy chemicznej długich łańcuchów DNA, a nawet syntezy całych genomów. W dziedzinie tej, dzięki badaniom J. Craiga Ventera dokonany został znaczący postęp. Udało się mianowicie w sposób niezwykle sprawny przeprowadzić syntezę całego genomu bakteriofaga Φ X174, złożonego z ok. 5400 nukleotydów [11]. Można oczekiwać, że już niedługo automatyczne syntetyzery będą produkowały łańcuchy DNA o długości 1 mln nukleotydów, co odpowiadałoby czwartej części genomu bakterii *E. coli*. Ciekawostką jest, że największym ograniczeniem dla dalszego usprawniania syntezy chemicznej długich łańcuchów DNA jest nie tyle doskonalenie samego przebiegu reakcji, co korygowanie błędów powstałych w trakcie różnych etapów syntezy.

Genomy bakterii wykorzystywanych współcześnie dla celów biotechnologicznych, liczące „zaledwie” po kilka milionów nukleotydów są stosunkowo niewielkie w porównaniu z genomami organizmów występujących w przyrodzie. Genomy organizmów wyższych są nieporównanie bardziej złożone. Genomy modelowe – owadów: *Drosophila melanogaster* obejmuje 120 mln nukleotydów, roślin: *Arabidopsis thaliana* – 118,7 mln nukleotydów. Za najmniejsze genomy uważa się genom pasożyta ludzkiego *Mycoplasma genitalium* z 540 tys. nukleotydów kodujący 517 białek oraz genom obligatoryjnego symbionta mszyc *Buchnera aphidicola* z 450 tys. nukleotydów kodujący 450 białek.

Genomy obu tych mikroorganizmów są dziś szeroko wykorzystywane w pracach nad skonstruowaniem sztucznego genomu zdolnego do kodowania użytecznych m.in. dla biomedycyny produktów białkowych. Szacuje się, że ok. 300-350 genów struktury takiego sztucznego genomu mogłoby zapewnić komórce utrzymanie minimalnych funkcji życiowych.

Prace nad skonstruowaniem komórki syntetycznej, które można by rozumieć jako próby stworzenia sztucznego życia, są dziś prowadzone w wielu pracowniach. Cele tych prac są na ogół skupione wokół konkretnych aplikacji praktycznych. Niektóre z nich są niezwykle ważne i ciekawe. Instytut J. Craiga Ventera podjął prace nad uzyskaniem komórki półsyntetycznej z wykorzystaniem naturalnych elementów komórkowych, która mogłaby wiązać dwutlenek węgla z powietrza i przekształcać go w gaz energetyczny – metan. Gdyby zamierzenia te powiodły się, byłaby to ważna próba zmniejszenia tzw. efektu cieplarnianego.

Innym przyszłościowym kierunkiem nowej biologii syntetycznej jest wytwarzanie ważnych i poszukiwanych biofarmaceutyków przez odpowiednio przygotowane syntetyczne komórki. Należy do nich m.in. artemizyna – ważny lek przeciwmalaryczny, występujący w stanie naturalnym w bylicy rocznej *Artemisia anna*. Jest ona niezwykle skutecznym i oczekiwanym lekarstwem zwalczającym tę groźną chorobę, wobec uodpornienia się niektórych populacji pierwotniaków *Plasmodium*, roznoszących malarię, na pochodne chininowe.

Możliwość konstruowania sztucznych komórek bakteryjnych zdolnych do wytwarzania użytecznych biopreparatów oznacza kolejny przełom technologiczny w naukach przyrodniczych. Polega on na wprowadzaniu w życie nowych idei z pogranicza chemii i biologii dla konstruowania wydajnych bioreaktorów komórkowych, w których można przeprowadzać złożone reakcje biotechnologiczne dla uzyskiwania określonych produktów. Trzeba jednak z naciskiem powiedzieć, że ukazanie tych perspektyw w żadnym przypadku nie oznacza jeszcze, iż można w warunkach laboratoryjnych stwarzać żywe organizmy o wysokim stopniu złożoności, zdolne do wzajemnych oddziaływań i do dialogu ze środowiskiem. W zasięgu nauki są już natomiast możliwości konstruowania dla celów użytecznych prostych układów biologicznych, imitujących komórki bakteryjne lub ich fragmenty.

Podjęcie nowych wyzwań poznawczych, obejmujących zwłaszcza tworzenie sztucznych układów żywych, znalazło swoje odzwierciedlenie w dyspacie nad kwestiami etycznymi. Nauka, przy całej swej misji formułowania zadań wyprzedzających, musi nade wszystko kierować się zasadą najszerzej rozumianej odpowiedzialności. Posługiwanie się w laboratoriach badawczych, a tym bardziej produkcyjnych, wytworzonymi układami syntetycznymi nie może nieść z sobą większego zagrożenia niż praca z komórkami pochodzenia naturalnego. Dotyczy to również syntetycznych cząsteczek DNA

i tworzonych genomów. Człowiek zajmujący w podporządkowanej sobie przyrodzie miejsce centralne stał się tym bardziej za nią odpowiedzialny.

Te krótkie i siłą rzeczy pobieżne rozważania na temat życia chciałbym zakończyć zasłyszonym kiedyś cytatem: „Tajemnica życia jest nie tylko ciekawsza niż przypuszczamy, lecz nawet ciekawsza niż potrafimy sobie wyobrazić”.

Literatura

- [1] Schrödinger, E., 1967. *What is life?* Cambridge University Press, wyd. polskie: *Czym jest życie?* tłum. S. Amsterdamski, wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa, 1998.
- [2] Miller, S. L., 1953. *A production of amino acids under possible primitive Earth conditions.* Science 117: 528.
- [3] Monod, J., 1971. *Chance and Necessity. An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology,* New York, Knopf.
- [4] De Duve, Ch., 2002. *Life Evolving: Molecules, Mind and Meaning.* Oxford University Press, New York.
- [5] Sneppen, K, Bak, P., Flyvbjerg, H., Jensen, M. H., 1995. *Evolution as a self-organized critical phenomenon.* Proc. Nat. Acad. Sci. U.S. 92: 5209.
- [6] Sleep, N. H., Zahnle, K. J., Kasting, J. F., Morowitz, H. J., 1989. *Annihilation of ecosystems by large asteroid impacts on the early Earth.* Nature 342: 139.
- [7] Eck, R. V., Dayhoff, M. D., 1966. *Evolution of the structure of ferredoxin based on living relicts of primitive amino acid sequence.* Science 152: 363.
- [8] Schopf, J. W., 1993. *Microfossils of Early Archean Apex chert: New evidence of the antiquity of life.* Science 260: 640.
- [9] Woese, C., 1998. *The universal ancestor.* Proc. Nat. Acad. Sci. U.S. 95: 6854.
- [10] Nisbet, E. G., Sleep, N. H., 2001. *The habitat and nature of early life.* Nature 409: 1083.
- [11] Smith, H. O., Hutchison III, C. A., Pfannkoch, C., Venter, J. C., 2003. *Generating a synthetic genome by whole genome assembly: X174 bacteriophage from synthetic oligonucleotides.* Proc. Nat. Acad. Sci. U.S. 100: 15440.

Scientific definitions of life

The history of life displaying remarkable diversity from one side and the unity from the other is documented by both fossil and molecular evidences. The Darwinian concept of monophyletic origin of all living species provided a foundation to our understanding of life. Current trends of synthetic biology are relevant to the studies of life at all levels of its complexity.

Key words: definition of life, history of life, synthetic biology

