

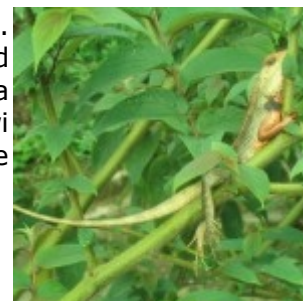
Złożoność wyjaśniona. Część 13

Autor tekstu: **Vinod K. Wadhawan**

Tłumaczenie: **Małgorzata Koraszewska**

Ewolucja biologicznej złożoności

W każdym procesie ewolucyjnym tym, co ewoluuje, to jest złożoność. Złożoność chemiczna ewoluowała aż część jej stała się nieodróżnialna od złożoności biologicznej. Ewolucję złożoności biologicznej determinują dwa główne czynniki: dobór naturalny (który zyskał sławę dzięki Charlesowi Darwinowi) i samoorganizacja. W tym artykule skupiam się na aspekcie doboru naturalnego ewolucji biologicznej.



13.1 Ewolucja darwinowska

Największego pojedynczego wkładu w przedmiot złożoności dokonał (być może bezwiednie) Charles Darwin. Rok 2009 był 200-leciem urodzin Darwina, a także 150-leciem publikacji jego słynnej książki *O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego*.

Żywe organizmy są układami otwartymi tj. nieustannie wymieniają materię i energię ze środowiskiem. Istnieje dynamiczna równowaga między żywym organizmem a jego otoczeniem. Organizm nie może przeżyć, jeśli ta równowaga zostaje zanadto lub na zbyt długo zakłócona. Fakt, że organizm przeżywa, implikuje, że w swojej obecnej postaci był w stanie *zaadaptować* się do środowiska. Jeśli środowisko zmienia się wystarczająco powoli, żywe organizmy mogą *wyewoluować* (przez wystarczająco długi okres czasu) nowy zestaw zdolności lub cech, które umożliwiają im przeżycie także w zmienionych warunkach. Po długich okresach takiej zmiany ewolucyjnej stworzenia mogą także rozwinąć się w nowe gatunki. Takie było przesłanie odważnej *teorii ewolucji drogą kumulującego się doboru naturalnego* Charlesa Darwina (1859). Wykazał on, że przystosowanie do środowiska było koniecznym wynikiem procesów wymiany między organizmem a jego otoczeniem. Wnioskiem tej teorii było to, że wszystkie żywe organizmy pochodzą od jednej lub kilku prostych przodków.



Darwin rozpoczął od obserwacji, że przy wystarczającej ilości czasu, pokarmu, przestrzeni i bezpieczeństwa przed drapieżnikami, chorobami etc. rozmiar populacji każdego gatunku wzrasta w każdym pokoleniu. W rzeczywistości jednak ten nieskończony (wykładniczy) wzrost nie zachodzi, tj. tak zwany „potencjał biotyczny” gatunku nigdy w rzeczywistości nie jest realizowany. Na ogół zaledwie bardzo mały ułamek potencjału biotycznego zostaje zrealizowany, co znaczy, że tylko niewielka mniejszość potomstwa osiąga dojrzałość, by stworzyć następne pokolenie; reszta umiera przedwcześnie.

Tak więc muszą tu działać czynniki ograniczające. Pod wpływem idei maltuzjańskich Darwin wyobrażał sobie, że jeśli, na przykład, ograniczona jest ilość dostępnego pokarmu, tylko ułamek populacji może przeżyć i rozmnożyć się. [Oczywiście wiadomo teraz, że ograniczone zasoby rzadko są głównym czynnikiem wpływającym na kierunek ewolucji.] Co decyduje o tym, kto przeżyje, a kto nie?

Odpowiedź Darwina brzmiała, że ponieważ nie wszystkie osobniki gatunku są dokładnie takie same (tj. w populacji istnieje *zmiennność*), te, które są lepiej dostosowane do panujących warunków, mają większą szansę przeżycia (*przetrwanie najlepiej przystosowanych*). Najlepiej przystosowane osobniki nie tylko mają lepszą szansę przeżycia, ale także rozmnożenia. Tak więc cechy sprzyjające przeżyciu zostają „dobre naturalnie” kosztem cech mniej sprzyjających. A skutki tego doboru naturalnego kumulują się z czasem. Jest to proces *kumulatywnego doboru naturalnego* odkrytego przez Darwina.

Obserwuje się także, że dzieci w znacznej mierze przypominają swoich rodziców. W każdym pokoleniu potomstwo lepiej przystosowanych osobników, które przeżyje i pozostawi więcej potomstwa niż inni, nabywa coraz więcej cech nadających się do dobrego przystosowania do zmieniającego się środowiska. Gatunek dokonał się lub dopasowuje się do środowiska, w którym

musi przeżyć, poprzez procesy kumulatywnego doboru naturalnego i *dziedziczenia*.

Tak więc są cztery podstawowe cechy ewolucji darwinowskiej:

1. *Zmienność i różnorodność* członków populacji pod względem radzenia sobie ze środowiskiem.
2. *Dziedziczenie* tego zróżnicowania przez kolejne pokolenie z losowymi modyfikacjami.
3. *Zróżnicowane przeżycie i sukces rozrodczy* poszczególnych członków nowego pokolenia w danym środowisku.
4. *Ustalenie się nowej populacji*, lepiej dostosowanej do środowiska, posiadającej nowe zróżnicowania do przekazania następnemu pokoleniu.

13.2 Neodarwinizm

Głównym postulatem Darwina było, że gatunek ewoluuje, ponieważ dobór naturalny działa na małe dziedziczne różnice u członków gatunku. Jego oponenti twierdzili jednak, że ponieważ gatunek charakteryzuje się także krzyżowaniem się jego członków, takie małe różnice powinny zostać uśrednione. Darwin nie miał na to odpowiedzi, ponieważ w owym czasie nie znano mechanizmu dziedziczenia. W rzeczywistości odpowiedzi dostarczyły w 1865 r. (tj. za życia Darwina, ale najwyraźniej jej nie znał) prace Gregora Mendla, założyciela dziedziny *genetyki*. Wiemy teraz, że genotyp organizmu jest jego genetyczną receptą. Informacja genetyczna jest obecna w każdej komórce ciała organizmu. Fenotyp, z drugiej strony, jest końcowym produktem (organizmem), który pojawia się dzięki wykonywaniu instrukcji zawartych w genotypie. Fenotyp podlega walce o przetrwanie, ale to genotyp przenosi akumulowane korzyści ewolucyjne do następnych pokoleń. Fenotypy konkurują i najlepiej przystosowane między nimi mają największą szansę wymienienia się genami.

Prawa Mendla zostały odkryte na nowo niezależnie przez całkiem sporą liczbę badaczy. Jednym z nich był holenderski botanik Hugo de Vries, który nie tylko odkrył na nowo prawa Mendla o dziedziczeniu dominujących i recesywnych cech, ale odkrył także *mutacje genetyczne*. Były to nagłe (niewyjaśnione) zamiany formy, które potomstwo mogło dziedziczyć.

Obecnym, postdarwinowskim obrazem jest, że cechy odziedziczone przez potomstwo są spowodowane przez geny. W organizmach rozmnażających się płciowo każde z rodziców dostarcza jednego pełnego zestawu genów potomkowi. Geny są odcinkami DNA i ich specyficzność rządzona jest przez sekwencję uporządkowania ich czterech zasad (adeniny (A), tyminy (T), guaniny (G), cytozyny (C)). Struktura podwójnej helisy DNA wraz z restrykcjami parowania zasad do A-T i G-C dostarcza mechanizmu do *dokładnej replikacji* cząsteczek DNA. Sekwencja DNA w genie determinuje sekwencję aminokwasów w specyficznych białkach tworzonych przez żywe organizmy.

Geny programują embryony do rozwoju w dorosłe organizmy z pewnymi cechami i te cechy nie są zupełnie identyczne wśród osobników w populacji. Geny osobników o cechach, które umożliwiają im pomyślne rozmnożenie się, przeżywają na ogół w *puli genów* kosztem genów, którym się to na ogół nie udaje. Ta cecha doboru naturalnego na szczeblu genów ma konsekwencje, które stają się widoczne na szczeblu fenotypu. Kumulatywny dobór naturalny *nie* jest procesem przypadkowym.

Skoro podobne rodzi podobne (dzięki dziedziczeniu cech), to jaki mechanizm powoduje powstawanie małych różnic w puli genowej kolejnych pokoleń, powodujących, że gatunek ewoluuje w kierunku nowości ewolucyjnej? Poza *crossover* (gdzie to jest stosowane) takim mechanizmem są mutacje. Mutacje, spowodowane promieniowaniem, związkami chemicznymi w środowisku lub jakimkolwiek innym czynnikiem powodującym błędy replikacji, zmieniają sekwencje zasad w cząsteczkach DNA składających się na geny.

W organizmach, które przyjęły rozmnażanie płciowe jako sposób prokreacji, pojawianie się różnic u potomstwa jest częstsze, ponieważ materiał genetyczny pochodzi z dwóch źródeł zamiast z jednego (mianowicie od dwojga rodziców). Geny rodziców zostają przetasowane w każdym nowym pokoleniu. To podnosi *plastyczność ewolucyjną* gatunku. Nie wszystkie jednak różnice między jednostkami w populacji są spowodowane zestawem genów. Rolę odgrywają także takie czynniki jak odżywianie. Dające się obserwować cechy organizmu, tj. jego fenotyp jest zdeterminowany zarówno przez potencjał genów, jak przez środowisko.

Skoro wszystkie żywe istoty mają tego samego lub tylko kilku przodków, to jak powstały różne gatunki? Darwinowska odpowiedź leży w *izolacji* i *odgałęzianiu* wspomaganych przez ewolucję. Również *migracje* populacji odgrywają rolę w ewolucyjnym rozwoju gatunków. Jeśli istnieją bariery przeszkadzające krzyżowaniu się, geograficzne lub inne, jedna populacja może się odgałęzić i wyewoluować w odrębny gatunek po wystarczająco długim upływie czasu. Każde takie rozgałęzienie jest *specjacją*: populacja przypadkowo dzieli się na dwie populacje i ewoluuja

niezależnie. Kiedy odrębne ewolucje osiągnęły stadium, na którym nie jest możliwe krzyżowanie się, mimo że nie ma już dłużej żadnej bariery geograficznej lub innej, mówi się, że powstał nowy gatunek.

Określenie neodarwinizm zasadniczo oznacza modyfikację oryginalnych idei Darwina w świetle późniejszej wiedzy o mechanizmach przekazywania informacji genetycznej z jednego pokolenia do następnego. Margulis i Sagan (2003), którzy nie zgadzają się z tym neodarwinowskim poglądem na powstawanie gatunków, streścili neodarwinizm jak następuje (w swojej książce *Acquiring Genomes: A Theory of the Origins of Species*): „Wszystkie organizmy wywodzą się od wspólnych przodków przez dobór naturalny. Losowe mutacje (dziedziczne zmiany) pojawiają się w genach, w DNA organizmów, i najlepsze 'mutanty' (osobniki noszące mutacje) współzawodnicząc z innymi zostają naturalnie dobrane do przeżycia i trwania. Niedostosowane potomstwo wymiera — to określenie pochodzi od "dostosowania", technicznego terminu odnoszącego się do relatywnej liczby potomstwa pozostawionego przez jednostkę. Najlepiej dostosowani, z definicji, mają największą liczbę potomstwa. Odmiany zmutowane zostawiają więc więcej potomstwa i populacja ewoluuje, tj. zmienia się z upływem czasu. Kiedy liczba zmian u potomków kumuluje się do znacznych proporcji w geograficznie izolowanych populacjach, stopniowo wyłania się nowy gatunek. Kiedy kumuluje się wystarczająca liczba zmian w populacjach potomków, stopniowo wyłaniają się wyższe (rozszerzone) taksony. W geologicznych okresach czasu pojawiają się nowe gatunki i wyższe taksony (rodzaje, rodziny, rzędy, klasy, typy itd.), które dają się łatwo odróżnić od swoich przodków”.



Niedostosowane potomstwo wymiera — to określenie pochodzi od "dostosowania", technicznego terminu odnoszącego się do relatywnej liczby potomstwa pozostawionego przez jednostkę. Najlepiej dostosowani, z definicji, mają największą liczbę potomstwa. Odmiany zmutowane zostawiają więc więcej potomstwa i populacja ewoluuje, tj. zmienia się z upływem czasu. Kiedy liczba zmian u potomków kumuluje się do znacznych proporcji w geograficznie izolowanych populacjach, stopniowo wyłania się nowy gatunek. Kiedy kumuluje się wystarczająca liczba zmian w populacjach potomków, stopniowo wyłaniają się wyższe (rozszerzone) taksony. W geologicznych okresach czasu pojawiają się nowe gatunki i wyższe taksony (rodzaje, rodziny, rzędy, klasy, typy itd.), które dają się łatwo odróżnić od swoich przodków”.

13.3 Lamarkizm

Genetyka jeszcze nie istniała, kiedy Darwin opublikował swoją teorię ewolucji biologicznej. Naturalnie Lamarck, którego prace o ewolucji biologicznej poprzedziły pracę Darwina, także był nieświadomy zasadniczej roli mechanizmów genetycznych w ewolucji gatunków. Obecnie mamy znajome pojęcia genotypu i fenotypu. Termin genotyp odnosi się do genetycznego składu organizmu. Jest to genetyczna recepta zakodowana w odcinkach nici DNA. Fenotyp, z drugiej strony, oznacza cechy wykazywane przez organizm; jest budowlą stworzoną przez organizm według instrukcji genotypu. Fenotyp jest samym organizmem. Genotypy odpowiadają „przestrzeni przeszukiwań”, a fenotypy „przestrzeni rozwiązań”.

Powszechnie uważa się, że cała ewolucja biologiczna jest darwinowska. Zróznicowanie w populacji oznacza mianowicie, że jedne osobniki mają nieznaczną przewagę ewolucyjną pod względem danych cech, które dlatego mają większą szansę znalezienia się w kolejnym pokoleniu, jeśli pomagają w przeżyciu i rozmnażaniu. Z czasem te cechy zostają wzmocnione i z łatwością można je dostrzec w fenotypie. Z drugiej strony teoria ewolucji Lamarcka, lamarkizm, była oparta na dwóch założeniach: zasadzie używania i nieużywania; oraz zasadzie dziedziczenia cech *nabytych* (bez angażowania genotypu).

Czy jednak warunki środowiska, w których żyją rodzice, mogą wpłynąć na cechy genetyczne potomstwa? „Nie” według neodarwinowskiej teorii ewolucji i „Tak” według teorii Lamarcka. Teza Lamarcka *dziedziczenia cech nabytych* nie jest akceptowana we współczesnej biologii, ponieważ sprzeczna jest z *centralnym dogmatem nowoczesnej genetyki molekularnej*, według której informacja może przepływać z DNA do białek (lub z genotypu do fenotypu), ale nie z białek do DNA (albo z fenotypu do genotypu).

Chociaż lamarkizm jest nie do zaakceptowania jako wyjaśnienie ewolucji biologicznej, nic nie zabrania nam używania go w ewolucji *sztucznej* (tj. wewnątrz komputera) i wykorzystywania jego znacznie większej prędkości do osiągnięcia celu.

13.4 Epigenetyka

Nowa (i obecnie rozkręcająca się) dziedzina badań, zwana epigenetyką, doprowadziła nas

niebezpiecznie blisko lamarkizmu bez naruszania centralnego dogmatu biologii molekularnej. Jest obecnie jasne, że istotnie mogą być dziedziczone zmiany inne niż zmiany *sekwencji* kwasów nukleinowych w DNA, nabyte w ciągu życia rodziców lub dziadków. Na ekspresję lub interpretację genu mogą wpływać cząsteczki towarzyszące genom. To dziedziczne, lecz nie genetyczne towarzyszenie nazywa się *dziedziczeniem epigenetycznym*.

DNA w komórce organizmu niesie genetyczną receptę syntezy rozmaitych białek potrzebnych organizmowi. Niektóre z tych białek pomagają także w syntezie innych białek dzięki instrukcjom ucieleśnionym w sekwencji nukleotydów wzdłuż łańcucha DNA. Nie ma jednak żadnego sposobu, by same białka zorganizowały syntezę kwasów nukleinowych składających się na DNA. Stąd pochodzi centralny dogmat biologii molekularnej, że informacja może płynąć od kwasów nukleinowych do białek, ale nie od białek do kwasów nukleinowych. Lamarkizm w swojej oryginalnej postaci jest *nieakceptowalny* w teorii ewolucji biologicznej, ponieważ zakłada, że informacja nabyta przez organizm podczas życia, a więc wcielona tylko w fenotyp (np. jako białka) może w jakiś sposób zostać przekazana potomstwu przez genotyp.

W tym argumentcie jest jednak „luka”! Geny, które nie są niczym innym jak odcinkami długich sekwencji kwasów nukleinowych w łańcuchu DNA, zawierają zakodowaną informację do syntetyzowania rozmaitych białek. A od czasów Mendla wiemy, że nie wszystkie geny są aktywne przez cały czas. Jedne geny są *dominujące*, a inne *recesywne*. Jednym z praw genetyki Mendla jest, że kombinacja genów dominujących i recesywnych, odziedziczonych po rodzicach, dyktuje cechy (fenotyp) potomka. Dominujące geny, to geny aktywne lub „włączone”, a geny recesywne to geny „wyłączone”. Widzieliśmy w dziale 12.3 (Część 12) jak obecność pewnych hormonów może wpłynąć na ekspresję genów, kiedy zaś gen zostaje włączony przez obecność hormonu, działa jako przełącznik, który może zmienić stan „włączony” lub „wyłączony” innych genów. Tak więc hormony są jednym przykładem tego, co może wpłynąć na aktywność genu.

Ale hormony są tylko związkami chemicznymi. Czy inne związki chemiczne, na przykład te, które znajdują się w pożywieniu organizmu, także wpływają na ekspresję genów? Odpowiedź brzmi „Tak”. Nie tylko żywność, ale także stan umysłu zwierzęcia może być odpowiedzialny za wydzielanie substancji chemicznych, które mogą wpływać na ekspresję genów. Z punktu widzenia genetyki i przekazywania cech nabytych wpływ rodzica na genotyp powinien mieć naturę nieodwracalną; tylko wtedy wpływa na potomstwo w sposób trwały; tylko wtedy możemy mieć *dziedziczenie cech nabytych* przez potomstwo. To jest przedmiotem badań epigenetyki.

Epigenetyka jest badaniem zmian w funkcjonowaniu genów, które nie zależą od zmian w pierwotnej sekwencji DNA i zależą od stabilnych odziedziczalnych oznakowań DNA. *Skutki epigenetyczne wpływają na fenotyp bez zmiany genotypu*.

Jednym szczególnym, odziedziczalnym znakowaniem DNA, które było starannie badane, jest *metylacja*, tj. dołączenie grupy $-CH_3$ do jednego lub więcej kwasów nukleinowych na łańcuchu DNA. Stwierdzono na przykład, że metylacja zachodzi dość często w komórkach rakowych i trudno ją odróżnić od mutacji. Metylacja wpływa na ekspresję genu i — jako mechanizm sprzężony do przodu — może mieć poważne skutki międzypokoleniowe. Zmiany epigenetyczne mogą być przekazywane przez linię zarodkową przez wiele pokoleń. Zmiany te mogą też pojawić się za życia jednostki: metylacja może wyłączyć geny, a demetylacja może włączyć inne geny.

Kilka lat temu zakończono Projekt Badania Genomu Człowieka. Zmapowano sekwencje wszystkich trzech miliardów par nukleotydów składających się na ludzki DNA. Już rozpoczęto Projekt Badania Epigenomu Człowieka. Jego celem jest dodanie wskaźnika do każdego miejsca DNA, gdzie mogą dołączyć markery metylowe i zmienić ekspresję genu.

13.5 Teorie powstawania gatunków

Jak na ironię pogląd ewolucjonistów, że organizm ewoluuje przez kumulację losowych mutacji, najlepiej opisuje proces ewolucyjny bakterii. Wszystkie większe, bardziej znane organizmy, powstały z symbiotycznej integracji, która prowadziła do trwałego stowarzyszenia.

Margulis i Sagan (2002)

Istotnie, jak napisał Wallin w 1927 r.: „Propozycja, że bakterie, organizmy, które popularnie kojarzymy z chorobami, mogą stanowić fundamentalny czynnik przyczynowy powstawania gatunków, jest dość zaskakująca”. Zgadza się.

Margulis i Sagan (2002)

Klasyczny pogląd, że specjacja zachodzi, tj. pojawia się nowy gatunek, w wyniku

kumulacyjnego efektu mutacji, jest ostro kwestionowany przez Lynn Margulis. Według Margulis i Sagana (2002): „Żadne dowody w olbrzymiej literaturze o zmianach dziedzicznych nie pokazują jednoznacznego dowodu, że sama mutacja losowa, także przy geograficznej izolacji populacji, prowadzi do specjacji. Jak więc powstają nowe gatunki? Jak kalafor wywodzi się od maleńkiej, podobnej do kapusty rośliny śródziemnomorskiej, lub świnia od dzika?” Ich odpowiedzią jest, że gatunki na ogół powstają przez nabycie całych genomów drogą symbiogenezy.

Stanowisko Margulis wywołało debatę. Ernst Mayr napisał pochwalną przedmowę do książki Margulis i Sagana (2002). W przedmowie tej powiedział jednak również to: „Specjacja — mnożenie się gatunków — i symbiogeneza są dwoma niezależnymi, nakładającymi się procesami. Nic nie wskazuje na to, że którykolwiek z 10 tysięcy gatunków ptaków lub czterech i pół tysiąca gatunków ssaków powstał przez symbiogenezę”. Porównaj to ze stwierdzeniem Rachel Nowak (2005): „Symbioza wyskakuje tak często w ewolucji, że można spokojnie powiedzieć, iż jest regułą, nie zaś wyjątkiem”.

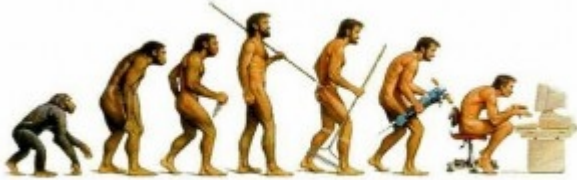
Życie pojawiło się na Ziemi podczas, jak to nazywa Frank Niele (2005), *ciepłolubnego reżimu* energetycznego w historii Ziemi. Ta forma życia składała się z mikroorganizmów, które dobrze prosperowały w gorących warunkach. Zaszła ewolucja chemiczna i dywersyfikacja struktury molekularnej, i autokataliczne reakcje o obwodzie zamkniętym doprowadziły do stworzenia przypominających życie cząsteczek o wzrastającej złożoności. Sprawy zaszły do punktu, w którym zaczęli się pojawiać przodkowie DNA, posiadający potencjał replikacji. W swoim czasie pojawiła się biologiczna komórka prokariotyczna. Podczas tego reżimu energetycznego pojawił się także i ustanowił mechanizm metabolizmu dla dostawy energii z ATP jako główną „walutą energii komórkowej”. Żywe organizmy tego okresu używały nukleotydów do syntetyzowania DNA i aminokwasów do syntetyzowania białek. Praktycznie rzecz biorąc w atmosferze Ziemi nie było wolnego tlenu.

Następny reżim energetyczny, a mianowicie *reżim fototropowy*, zdominowany był przez wykorzystywanie energii słonecznej. Powstał, ponieważ niektóre żywe organizmy reżimu ciepłolubnego osiągnęły powierzchnię morza, gdzie spotkały światło słoneczne. W swoim czasie rozwinęły nowy metabolizm, używający energii słonecznej przez fotosyntezę. Przechwytywanie dwutlenku węgla, jak również odbieranie wodoru z wody (czego wynikiem było tworzenie wolnego tlenu) zapoczątkowało powstanie tego reżimu energetycznego. Nowymi organizmami, które to osiągnęły były cyanobakterie czyli *sinice*. Usuwały one elektrony z cząstek wody, uwalniając w ten sposób wodór do użytku wraz z dwutlenkiem węgla do tworzenia węglowodanów. To nabudowało stopniowo zawartość tlenu molekularnego Ziemi. W ciągu kilkuset tysięcy lat poziom tlenu w atmosferze wzrósł z poniżej 1% do ~15% dzisiejszych poziomów.

Obfitość dostępnego światła słonecznego spowodowała wzrost populacji sinic wytwarzających coraz więcej tlenu. Ale sam tlen był dla nich trucizną. Dlatego adaptacja ewolucyjna doprowadziła do rozwoju nowego rodzaju komórki, a mianowicie komórki eukariotycznej, która miała „organelle” *ograniczone błonami*. Zobaczmy, jak to rozwiązało kryzys.

Tlen atmosferyczny w reżimie fototropicznym sprzyjał tlenowcom (aerobom), ale zatruwał beztlenowce — sinice. Sinice jednak nie znikły po prostu; były one zasadnicze dla wytwarzania tlenu molekularnego, ale także dla wytwarzania żywności dla oddychających tlenowców. Tak więc nabudowywanie się tlenu w atmosferze było w rzeczywistości zagrożeniem dla *obu* tych typów organizmów. Zareagowały przez ewolucję symbiogenezy obydwu, czego wynikiem było pojawienie się komórki eukariotycznej. Taka komórka ma błonę zewnętrzną, która chroni jej zawartość przed surowymi warunkami panującymi na zewnątrz. Ma także błony wewnętrzne, otaczające organelle. Lynn Margulies wskazała, że organelle zwane mitochondriami zielonych komórek roślinnych są potomkami oddychającej tlenem bakterii. Podobnie, chloroplasty pochodzą od innej wolno żyjącej bakterii, a mianowicie cyanobakterii. Pierwsze eukarioty tlenowce miały enzymowe narzędzia do detoksykacji reaktywnych produktów tlenu. W ten sposób mogły zapewnić przeżycie symbionta — sinic. W fotosyntetyzującej komórce eukariotycznej chloroplasty magazynują energię słoneczną w cukrach i dostarczają ją gospodarzowi. Gospodarz z kolei dostarcza cukry do mitochondrii, które następnie dostarczają gospodarzowi ATP, paliwa komórki.

To symbiogeneza między tlenową fotosyntezą i tlenowym oddychaniem leżała u sedna rewolucji tleno-energetycznej (Niele 2005), w wyniku której pojawił się reżim energii tlenowej. Pojawienie się komórki eukariotycznej połączyło zbierającą światło słoneczne fotosyntezę i ochronę przeciwko toksyczności tlenu. To wysoce wydajne spalanie metaboliczne poprzez oddychanie tlenowe umożliwiło pojawienie się wielokomórkowych form życia, co z kolei prowadziło do pojawienia się jeszcze bardziej złożonych form życia i ekosystemów. Z czasem na scenie pojawili się ludzie.



Oczywiście organizmy eukariotyczne nadal współistniały z organizmami prokariotycznymi (mianowicie z bakteriami i archeowcami) na kilka sposobów. Jak powiedział Knoll, prokarioty „podtrzymują podstawy wszystkich funkcjonujących ekosystemów na tej planecie”. Przykładem jest azot, którego bakterie dostarczają procesom biologicznym.

Wyłonienie się nowych gatunków

Życie rozpoczęło się od bakterii. Bakterie nie podlegają specjacji, tak jak to robią organizmy eukariotyczne. Idea specjacji nie stosuje się do nich. Bakterie mogą przekazywać swoje geny tam i z powrotem. Nie ma ustalonego genomu, definiującego gatunek żadnej bakterii. Bakterie są prokariotami.

Pierwszy eukariot pojawił się przez symbiogenezę dwóch prokariotów. Pojęcie gatunku można stosować tylko do eukariotów. Wynika z tego, że powstawanie gatunków rozpoczęło się na długo po powstaniu życia w formie bakterii. Dlatego też wszystkie większe organizmy (protisty, grzyby, zwierzęta, rośliny) powstały symbiogenetycznie. Organizmy jądrowe pojawiły się na Ziemi około 1200 milionów lat temu.

Nie ma jednak powodu przypuszczać, że symbiogeneza jest jedynym sposobem, w jaki może powstać nowy gatunek. Jest cechą charakterystyczną złożonych układów, że często małe zmiany mogą mieć niespodziewanie duże konsekwencje, włącznie z pojawieniem się nowego gatunku. Skutki mutacji mogą nabudowywać się stopniowo do etapu, kiedy pojawia się nagła bifurkacja w przestrzeni fazowej i powstaje nowy gatunek. Specjacja może równie dobrze być zjawiskiem emergentnym. Nie zgadza się to ze stwierdzeniem Margulis i Sagana (2002), że „wewnątrzgatunkowe zróżnicowanie nigdy nie wydaje się prowadzić, samo w sobie, do nowego gatunku”.

13.6 Uwagi końcowe

Wszystkie byty, które potrafią się replikować i u których występuje zróżnicowanie zarówno konkretnych cech, jak i sukcesu rozrodczego, są kandydatami do darwinowskiego doboru i ewolucji.

Darwin zmienił sposób, w jaki my, ludzie, patrzymy na siebie i na nasze miejsce w świecie. Podstawowa idea ewolucji drogą doboru naturalnego wychodzi daleko poza granice biologii i przenika psychologię ludzką na najrozmaitsze sposoby. Poza darwinizmem biologicznym mówimy o darwinizmie chemicznym, darwinizmie kwantowym i czym tam jeszcze. U podstaw, to co ewoluuje w każdym systemie, to złożoność.

Ewolucję złożoności biologicznej determinują dwa czynniki: dobór naturalny i samoorganizacja. Samoorganizacja tworzy porządek w każdym systemie złożonym. Darwinowski dobór naturalny działa na ten istniejący porządek i dalej go doskonali. Aspektem samoorganizacji złożoności biologicznej zajmę się w następnym artykule z tej serii. Symbiogeneza nie jest jedynym sposobem, w jaki może powstać nowy gatunek. Często małe zmiany w złożonych, adaptacyjnych systemach mogą mieć nieoczekiwanie duże konsekwencje, włącznie z pojawieniem się nowych gatunków. Skutki mutacji mogą nabudowywać się stopniowo do etapu, w którym zachodzi nagła bifurkacja i powstaje nowy gatunek. Specjacja może równie dobrze być zjawiskiem emergentnym w złożonym, adaptacyjnym systemie.

[Tekst oryginalny](http://nirmukta.com/2010/01/25/complexity-explained-13-evolution-of-biological-complexity/) (<http://nirmukta.com/2010/01/25/complexity-explained-13-evolution-of-biological-complexity/>).

Nirmukta, 25 stycznia 2010r.

*linki do części 1-10 znajdują się w części 11.

Zobacz także te strony:

[Złożoność wyjaśniona. Część 11.](#)

[Złożoność wyjaśniona: Część 12](#)

Vinod K. Wadhawan

Induski emerytowany fizyk atomowy,
współwydawca portalu PHASE
TRANSITIONS, publicysta, autor wielu
książek.

[Strona www autora](#)

[Pokaż inne teksty autora](#)



(Publikacja: 01-02-2010)

[Oryginał.](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,7117) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,7117>)

Contents Copyright © 2000-2010 Mariusz Agnosiewicz
Programming Copyright © 2001-2010 Michał Przech

Autorem portalu Racjonalista.pl jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.
Właścicielami portalu są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie niniejszym wszelkie prawa, przewidziane w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych do tego portalu i jakiegokolwiek jego części.

Wszystkie strony tego portalu, wliczając w to strukturę katalogów, skrypty oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora. Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tego portalu oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tego portalu i nie korzystać z jego zasobów.

Informacje zawarte na tym portalu przeznaczone są do użytku prywatnego osób odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów portalu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na portalu. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych portalu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl