

Konwergencja – argument za stworzeniem

Homologia i homoplazja

Zagadka pochodzenia podobieństw łączących różne organizmy nurtowała naukowców od dawna. W XIX wieku kreacjonistyczny anatom, Richard Owen zaproponował przy opisie podobieństw zastosować rozróżnienie na **homologię** i **analogię**. Według niego narządy homologiczne to takie mające podobną strukturę, ale pełniące różne funkcje. Klasycznym przykładem homologii to kończyny ssaków mające podobną strukturę kości, ale spełniające różne funkcje, np. ręka człowieka i skrzydło nietoperza. Z kolei narządy analogiczne to narządy różnych zwierząt odpowiadające sobie czynnościowo i często zewnętrznie podobne, lecz różniące się pochodzeniem w rozwoju embrionalnym i zasadniczym planem budowy. Klasycznym przykładem są tutaj skrzydła ptaków, nietoperzy i owadów. Choć wszystkie funkcjonalnie są podobne – umożliwiają latanie – strukturalnie i planem budowy znacznie różnią się od siebie.

Po Darwinie, gdy w biologii niepodzielnie zapanował paradygmat ewolucjonistyczny zachowano tę nomenklaturę, zmieniając jednak jej znaczenie i treść. I tak przez homologię rozumie się posiadanie u różnych zwierząt narządów mających jednakowe pochodzenie (od wspólnego przodka) i zasadniczy plan budowy, choć mogące różnić się wyglądem i spełniać różne funkcje. Natomiast analogia (zwana też **homoplazją**) definiowana jest jako istnienie podobnych struktur w organizmach, pełniących podobne funkcje, które to struktury nie są dziedziczone od wspólnego przodka i nie powstają w podobnych procesach embriogenezy. Genezę zjawiska homoplazji ewolucjoniści upatrują w **ewolucji konwergentnej**, czyli w procesie niezależnego rozwoju podobnych cech budowy i funkcji w organizmach bardzo odległych systematycznie, ale żyjących w podobnych warunkach środowiska, czyli pod wpływem tych samych sił selekcyjnych.

Wbrew popularnym ujęciom ewolucjonizmu podkreślającym niepowtarzalność i przypadkowość ewolucyjnych procesów („proces ewolucyjny puszczony jeszcze raz, doprowadziłby do innego rezultatu”), homoplazja jest w naturze bardzo rozpowszechnioną tendencją. Istnieje mnóstwo przykładów na to, że niespokrewnione organizmy posiadają prawie identyczne anatomiczne i fizjologiczne cechy.¹ Klasycznym przykładem konwergentnej adaptacji do środowiska wodnego jest opływowy kształt ciała organizmów należących do różnych grup: rekinów (ryby), delfinów i wielorybów (ssaki) i ichtiozaurów (wymarłe gady). W tym przypadku anatomiczne podobieństwo nie jest rezultatem dziedziczenia od wspólnego przodka, ale powstało w każdej z tych grup niezależnie na skutek życia w podobnym środowisku. Innym, wspomnianym powyżej, podręcznikowym przykładem konwergencji są skrzydła ptaków i nietoperzy. Ptaki i nietoperze są niespokrewnionymi organizmami – ptaki należą do gromady *Aves* (ptaki) a nietoperze (*Chiroptera*) to jeden z rządów gromady ssaków (*Mammalia*). Pomimo powierzchownych podobieństw, struktura skrzydeł ptaków i nietoperzy jest zasadniczo różna. Innym powszechnym przykładem konwergencji jest niezwykle anatomiczne podobieństwo dzielone przez ssaka łożyskowego – wilka (*Canis lupus*) i wytrzebionego niedawno torbacza – wilka tasmańskiego (*Thylacinus cynocephalus*).² Komentując ten fenomen znany paleontolog, Robert Carroll stwierdza:

Generalna forma ciała [wilka tasmańskiego], jak i szczegóły uzębienia ujawniają zadziwiająco ścisły paralelizm z wilkiem łożyskowym.³

¹ Por. Monroe W. Strickberger, **Evolution**, 3d ed., Jones and Bartlett Publishers, Sunberg, MA 2000, s. 632, 637.

² Por. Mark Ridley, **Evolution**, 2d ed., Blackwell Science, Cambridge, MA 1996, s. 470-72.

³ Robert L. Carroll, **Vertebrate Paleontology and Evolution**, W.H. Freeman and Co., New York 1988, s. 435.



Rys. 1. Podobieństwo czaszki i uzębienia łożyskowego wilka (rysunek górny) i torbacza - wilka tasmańskiego (rysunek dolny) jest wynikiem konwergencji, a nie wspólnego pochodzenia.

Oba ujęcia – ewolucjonistyczne i kreacjonistyczne oferują wyjaśnienie zjawiska konwergencji. W zgodzie z ujęciem kreacjonistycznym konwergencja jest wynikiem aktywności Stwórcy, który stosował w niespokrewnionych organizmach wspólne i stałe rozwiązania służące określonej strategii przetrwania (wspólny projekt). Ewolucjoniści zapewniają z kolei, że konwergencja jest rezultatem tego, że niespokrewnione organizmy napotykały prawie identyczne selekcyjne siły w środowisku, w którym żyją, np. konkurencja czy nacisk ze strony drapieżników. Podobne naciski selekcyjne powodują, że dobór naturalny faworyzuje podobne powstałe przypadkowo warianty, co skutkuje utrwaleniem się podobnych cech w niespokrewnionych organizmach. Choć ewolucjonistyczne rozumienie konwergencji jest obecnie w biologii dominujące, jego krytyczna analiza ujawnia, że wydaje się ono być kompletnie nieadekwatne w wyjaśnianiu wszystkich aspektów konwergencji.

Konwergencja – wspólna cecha życia

Ewolucjoniści zwykle wyjaśniają homologię jako rezultat dziedziczenia podobnych struktur od wspólnego przodka. Dla kontrastu wierzą oni, że struktury analogiczne rozwijały się niezależnie w niespokrewnionych grupach (konwergencja). W tej sytuacji kluczową sprawą dla określania filogenetycznych powiązań jest właściwe odróżnienie, które z podobnych struktur powstały niezależnie, a które są dziedziczone od wspólnego przodka. Ernst Mayr, jeden z twórców syntezy

neodarwinowskiej, podsumował ewolucyjne rozumienie homologii i analogii (konwergencji) następująco:

Pierwszym krokiem w kierunku budowy filogenetycznej klasyfikacji jest analiza taksonomicznych cech w celu określenia, które z nich pochodzą od wspólnych przodków (są homologiczne), a które są 'fałszywymi' podobieństwami (analogiami), zwykle konwergentnymi adaptacjami związanymi z podobnymi warunkami życia. ⁴

Według scenariusza Mayra ewolucyjni biologowie klasyfikujący stworzenia stawiani są wobec egzaminu „prawda-fałsz”, w którym zmuszani są rozróżniać, które podobieństwa są rzeczywiście efektem wspólnego pochodzenia (homologia), a które z nich są podobieństwami „mylącymi” i „powierzchnowymi” powstałymi wskutek konwergencji lub ewolucji paralelnej w bardzo różnych organizmach (analogia). Egzamin ten jest tym trudniejszy, że im więcej morfologicznych szczegółów jest rozpatrywanych, tym trudniej zdecydować, jaka struktura jest rezultatem dziedziczenia od domniemanego wspólnego przodka (homologia), a jaka wywodzi się niezależnie (analogia). Ta sama cecha często pojawia się w organizmach, które systematycznie są bardzo odległe. Stwierdzenie, czy jest ona homologiczna, czy analogiczna nie jest wcale łatwe:

Rdzeniem większości sprzecznych filogenetycznych hipotez są niezgodności w określeniu prawdopodobnej homologicznej lub konwergentnej przyczyny podobieństw pomiędzy różnymi taksonami. ⁵

Często jest tak, że wcześniejszą wiarę w homologiczność jakichś cech kwestionuje się, gdy pojawia się więcej danych. Dla przykładu długo wierzono, że walenie (*Cetacea*) i wymarła grupa ssaków prakopcytnych z rodziny *Mesonychidae* są siostrzanymi grupami – dzieliły one szereg ścisłych podobieństw, ale obecnie podważa się przekonanie o ścisłym ewolucyjnym pokrewieństwie tych organizmów:

Pełne rezultaty badań sugerują, że podobieństwo układu szkieletowego pomiędzy *Mesonychians* i *Cetaceans* jest homoplazją. ⁶

⁴ Ernst Mayr, **Methods and Principles of Systematic Zoology**, McGraw Hill, New York 1953, s. 42.

⁵ W.P. Luckett, N. Hong, Phylogenetic relationships between the orders Artiodactyla and Cetacea, *Journal of Mammalian Evolution* 1998, vol. 5 (2), s. 130.

Również w wielu innych przypadkach jest niezwykle trudno rozstrzygnąć, które biologiczne podobieństwa są „prawdziwe” – dziedziczone od wspólnego przodka, a które są „fałszywe” – wynikające z konwergencji. Zoolog, Leo Berg sporządził listę wielu przykładów konwergencji, które są niezwykle trudne do wyjaśnienia w perspektywie ewolucyjnej.⁷ Przykładowo żyjący w Europie kumak (*Bombinator*) jest w każdej systematyce umieszczany bardzo daleko od wiciowców *Trichomonas angusta*. Jednak Berg przedstawia i omawia wiele niezwykle trudnych podobieństw pomiędzy tymi jednokomórkowymi wiciowcami a plemnikami w spermie kumaka.

Trwają wciąż również dyskusje nad genezą oka – czy różne typy oczu powstały u różnych organizmów niezależnie w wyniku konwergencji, czy też powstało ono tylko raz. Zdecydowana większość ewolucyjnych biologów twierdzi, że różne typy oczu to klasyczne przykłady konwergencji – przykładowo oczy kałamarnic (*Teuthoidea*) i ryb (*Pisces*). Oba tego typu oczy są typu soczewkowego, w których obraz powstaje na siatkówce z tyłu. Oba typy oczu posiadają sferyczną soczewkę ze znakomitym współczynnikiem załamania światła pozwalającym na dobre ogniskowanie pomimo ich sferycznego kształtu. Ponadto obydwa typy oczu używają do konwersji energii światła na energię neuronową tej samej siatkówkowej molekuly – opsyny. Jednakże, siatkówka ryb jest odwrócona, to znaczy fotoreceptory znajdują się za warstwą nerwów i naczyń krwionośnych, podczas gdy takie komórki u kałamarnic znajdują się z przodu siatkówki, a nerwy schowane są za warstwą fotoreceptorów. Co więcej, oczy ryb i kałamarnic rozwijają się w trakcie embriogenezy z zupełnie różnych komórek, co sugeruje niezależne pochodzenie tych typów oczu.

Jednak niektórzy ewolucyoniści argumentują, że są także poważne powody by przyjąć monofiletyczną genezę oka. Po pierwsze siatkówkowe cząstki opsyny są wspólne wśród różnych typów oczu – co wskazuje na znaczącą homologię. Po drugie geny sterujące rozwojem oczu u bardzo różnych organizmów także wykazują znaczącą homologię, co – zdaniem

⁶ M.A. O’Leary, Parsimony analysis of total evidence from extinct and extant taxa and the Cetacean-Artiodactyl question (Mammalia, Ungulata), *Cladistics* 1999, vol. 15, s. 327. Zob. także: A.V. Yablokov, Convergence or parallelism in the evolution of cetaceans, *International Geology Review* 1965, vol. 7, s. 1463.

⁷ Zob. Leo Berg, **Nomogenesis or Evolution Determined by Law**, MIT Press, Cambridge MA, 1969, s. 158.

zwolenników monofiletycznego pochodzenia oka – przemawia za hipotezą, że różne typy oczu wywodzą się od jednego „pierwotnego” oka.⁸

Rozważmy kilka kolejnych spektakularnych przykładów konwergencji.

System echolokacyjny nietoperzy. Molekularne badania nietoperzy rzuciły wyzwanie tradycyjnej filogenezie tych ssaków. Niektóre gatunki nietoperzy posiadają złożony system echolokacji (zdolność do przestrzennej orientacji bazująca na ocenie odbitych fal dźwiękowych), który wykrywa tak małe obiekty jak komary przez wychwytywanie odbicia pisku wydawanego przez samego nietoperza. Zwierzę orientuje się w przestrzeni i lokalizuje latające owady wychytując odbite od nich dźwięki wysokiej częstotliwości (poza zakresem słyszalności ludzkiego ucha), które samo emituje. Taki sonarowy mechanizm wymaga nie tylko czułego słuchu, ale i wyrafinowanego systemu analizy odbitych dźwięków, który musi m.in. filtrować sygnały wydawane przez polujące nieopodal nietoperze, które mogłyby zakłócić właściwą interpretację sygnałów. Poza ogólnikowymi spekulacjami ewolucjoniści nie są w stanie wyjaśnić jak taki system mógł wyewoluować, ale było powszechnym założeniem, że taki złożony i unikatowy system echolokacyjny wyewoluował tylko raz. Sądzi się, że różne gatunki nietoperzy, posiadające echolokacyjne systemy powstały z przodka, u którego po raz pierwszy rozwinął się taki system.

Jednak ostatnie porównawcze analizy sekwencji DNA podważyły to przekonanie. Okazało się, że system echolokacyjny u nietoperzy wyewoluował niezależnie w dwóch oddzielnych podrzędach – *microchiroptera* (nietoperze małe) i *megachiroptera* (nietoperze duże).⁹ Z badań tych wynika również, że źródłem łudzącego strukturalnego podobieństwa używanych do latania kończyn nietoperzy i latawców (*Dermoptera*), również jest konwergencja – układy te powstały niezależnie.

⁸ Por. W.J. Gehring, K. Ikeo, *Pax 6: Mastering eye morphogenesis and eye evolution*, *Trends in genetics* 1999, vol. 15, s. 371-377.

⁹ Zob.: Emma C. Teeling *et al.*, Molecular Evidence Regarding the Origin of Echolocation and Flight in Bats, *Nature* 2000, vol. 403, s. 188-92; Dorothy E. Pumo *et al.*, Complete Mitochondrial Genome of a Neotropical Fruit Bat, *Artibeus Jamaicensis*, and a New Hypothesis of the Relationships of Bats to Other Eutherian Mammals, *Journal of Molecular Evolution* 1998, vol. 47, s. 709-17; James M. Hutcheon *et al.*, Base Compositional Biases and the Bat Problem III. The Question of Microchiropteran Monophyly, *Philosophical Transaction of the Royal Society of London* 1998, B 353, s. 607-17; Emma C. Teeling *et al.*, Microbat Paraphyly and the Convergent Evolution of a Key Innovation in Old World Rhinolophoid Microbats, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 2002, vol. 99, s. 1431-1436.

Struktura przodomózgowia ptaków śpiewających, papug i kolibrów. Inne nowe badania, pokazały, że struktura mózgu kolibrów (*Trochilidae*), ptaków śpiewających (*Oscines*) i papug (*Psittaciformes*) odpowiedzialna za uczenie się dźwięków (zdolność uczenia się wokalizacji przez imitację) jest zasadniczo identyczna – choć powstała ona we wszystkich tych grupach niezależnie, w wyniku konwergencji.¹⁰

Morfologiczne podobieństwa niektórych gatunków ptaków. W letnie dni możemy podziwiać podniebne akrobacje jerzyków i jaskółek – wspaniałych lotników. Mają one podobną budowę anatomiczną, są smukłe, z ostro zakończonymi skrzydłami, świetnie latają, prowadzą podobny tryb życia żywiąc się owadami, które łapią w locie. Podobnie kolibry i cukrzyki (*Nectarinidae* – zwane również kolibrami Starego Świata), to małe ptaki żywiące się nektarem, który zbierają z kwiatów. Mają one długie, wyspecjalizowane języki, którymi zbierają nektar z dna kwiatów. Bazując na podobieństwie anatomicznym można konkludować, że cukrzyki są powiązane z kolibrami a jerzyki (*Apodidae*) z jaskółkami (*Hirundinidae*). W rzeczywistości badania genetyczne pokazują, że jerzyki są powiązane z kolibrami, podczas gdy cukrzyki spokrewnione są z jaskółkami.¹¹

Zwierzęta szybujące. Wiele nadrzewnych gatunków posiada szczególną umiejętność ślizgowego lotu. Pojawiła się ona w wyniku konwergencji w różnych gromadach zwierząt; w każdej zaś grupie wytworzyły się inne przystosowania do niego. I tak szybujące zwierzęta znaleźć można wśród ssaków (gryzonie) np. polatucha (*Pteromys volans*) i latawce (*Dermoptera*), węży (nadobnik rajski – *Chrysopelea paradisi*), jaszczurek (gekon fałdoskórny – *Ptychozoon kuhli*, smok latający – *Draco volans*) i żab (*Rhacophorus pardalis*, *Rhacophorus nigropalmatus*).

Jad paraliżujący. Oddajmy głos znanemu biologowi-ewolucjoniście, Henrykowi Szarskiemu:

U ryb morskich należących do rodziny *Tetraodontidae* występuje w tkankach bardzo silny jad, tetrodotoksyna. Działanie tego jadu polega na blokowaniu w błonie komórkowej porów, którymi jony sodu dostają się do wnętrza aksonów.

¹⁰ Por. Erich D. Jarvis *et al.*, Behaviorally Driven Gene Expression Reveals Song Nuclei in Hummingbird Brain, *Nature* 2000, vol. 406, s. 628-32; Annette Heist, Singing in the Brain, *Natural History* October 2000, s. 14-16.

¹¹ Por. Birds and DNA. Convergent Evolution; <http://www.waypoint1.aone.net.au/converge.htm>

Do zamknięcia poru wystarcza jedna cząsteczka jadu. Pod wpływem tetrodotoksyny nerwy przestają przewodzić podrażnienia, co wywołuje paraliż oddechowy i zatrzymanie skurczów serca. Ta sama toksyna występuje również u amerykańskiej fraszki *Taricha* oraz u żyjącej przy brzegach Australii ośmiornicy *Hapalochloena maculosa* (Keynes 1979). Są to niewątpliwie zwierzęta bardzo odległe z sobą spokrewnione, a więc jest nieprawdopodobne, aby odziedziczyły tę cechę po wspólnym przodku.¹²

Oczy głowonogów i kręgowców. Literatura biologiczna definiuje zwykle konwergencje jako pojawianie się podobnych cech u niespokrewnionych organizmach, żyjących w podobnym środowisku. Tym bardziej zaskakujące są przypadki w których konwergencja pojawia się w organizmach z radykalnie różnych środowisk. Klasyczny przykład konwergencji tego typu stanowi struktura oka głowonogów (*Cephalopoda* – np. łodziki, mątwy, kałamarnice i ośmiornice) i kręgowców (*Vertebrata* – np. gady, ptaki, ssaki).¹³ Mięczaki (*Mollusca*) które obejmują grupę głowonogów klasyfikowane są jako członkowie fundamentalnie odmiennej grupy (*Lophotrochozoan* – lofotrochorowce) niż ta obejmująca kręgowce (*Deuterostomia* – wtórouste), obie te grupy żyją w zupełnie innych środowiskach – głowonogi tylko w morskim, kręgowce w naziemnym, powietrznym i morskim.¹⁴ Selekcyjna siła, która pozwoliła formować się okom głowonogów i kręgowców musiała być więc zupełnie inna, a pomimo tego doprowadziła do uderzająco podobnych rezultatów.

Kameleon i *Limnichthytes fasciatus*. Jeszcze bardziej uderzający przykład konwergencji zachodzącej w morskim i lądowym środowisku może być dostrzeżony u *Limnichthytes fasciatus* (ang. sandlance, jedna z ryb kościstych – *Teleostei*) i kameleonach (*Chamaeleonidae*), należących do gromady gadów (*Reptilia*). Ostatnie badania pokazały nadzwyczajne podobieństwo w budowie wzrokowego systemu i zachowaniu się tych dwóch stworzeń.¹⁵ Gałki oczne zarówno kameleona i *Limnichthytes* mają

¹² Henryk Szarski, **Mechanizmy ewolucji**, wyd. III, PWN, Warszawa 1986, s. 193.

¹³ Robert D. Barnes, **Invertebrate Zoology**, 3d ed., W.B. Sanders Company, Philadelphia 1974, s. 424-27.

¹⁴ Anna Marie A. Aquinaldo and James A. Lake, Evolution of Multicellular Animals, *American Zoologist* 1998, vol. 38, s. 878-87.

¹⁵ Mandyam V. Srinivasan, When One Eye Is Better Than Two, *Nature* 1999, vol. 399, s. 305-07; J.D. Pettigrew and S.P. Collin, Terrestrial Optics in an Aquatic Eye: The Sandlance, *Limnichthytes fasciatus* (Creediidae, Teleostei), *Journal of Comparative Physiology* 1995, A 177, s. 397-408; John D. Pettigrew *et al.*, Convergence of Specialised Behavior, Eye Movements and Visual Optics in the Sandlance (Teleostei) and Chameleon (Reptilia), *Current Biology* 1999, vol. 9, R286-88; Kerstin A. Fritsches and Justin Marshall, A New Category of Eye Movements in a Small Fish, *Current Biology* 1999, vol. 9, R272-73.

szczególną właściwość – potrafią one poruszać się niezależnie od siebie. Podczas gdy jedno oko porusza się, drugie pozostaje nieruchome. Co więcej, obydwie zwierzęta do ogniskowania obrazu obiektu używają rogówki, podczas gdy wszystkie inne gady i ryby do ogniskowania obrazu na siatkówce używają soczewki. Kameleon i *Limnichthytes* posiadają specjalne mięśnie rogówkowe (*cornealis*) służące im do ogniskowania obrazu przez rogówkę. Kameleon potrafi określać głębie obrazu używając tylko jednego oka. Naukowcy sądzą więc, że *Limnichthytes* również określa głębie obrazu w ten sam sposób. Kameleon i *Limnichthytes* mają również zrośnięte powieki, które służą im jako kamuflaż przed tym, by oczy nie stały się zbyt widoczne, co maskuje je zarówno przed drapieżnikami jak i ofiarami ma które polują.

Zachowania przy polowaniu na zdobycz są również takie same. Trajektoria, którą obiera język kameleona w ataku na zdobycz, jest taka sama jak ta używana przez *Limnichthytes* (ryba ta zakopuje się w piachu, ponad jego poziom wystają tylko jej oczy i czeka w takiej pozycji aż pojawią się w odpowiedniej odległości niewielkie skorupiaki. Wtedy łapie je językiem).

Pojawienie się tak bliźniaczych struktur morfologicznych, jak i zachowań u stworzeń żyjących w zupełnie innych środowiskach stanowi bardzo poważne wyzwanie dla ewolucjonistycznej interpretacji konwergencji.¹⁶

Problemy z ewolucjonistyczną interpretacją konwergencji

Podobieństwo (morfologiczne i molekularne) jest jednym z głównych argumentów na rzecz hipotezy wspólnego pochodzenia. Jak jednak widać w powyższych przykładach nie każde **podobieństwo** musi oznaczać **pokrewieństwo**. Genetyk, Maciej Giertych trzeźwo zauważa:

¹⁶ Connie Barlow przedstawia imponującą listę ponad 80 konwergencji zgrupowanych w:

- Formach kręgowców
- Formach w różnych typach (*phyla*)
- Formach roślinnych
- Biomolekuł
- Zwyczajów żywieniowych
- Wyjście na ląd
- Powrót do wody
- Stylach życia
- Ludzkiej kultury

Connie Barlow, Let There Be Sight! A Celebration of Convergent Evolution, June 2003;
<http://www.thegreatstory.org/convergence.pdf>

Obserwujemy podobieństwa w przyrodzie, dowodzą one wspólnego pochodzenia, dlatego też wszelkie niepodobieństwa muszą być rezultatem ewolucji. Dlaczegoż jednak odwrotna teza miałaby być mniej naukowa: niepodobieństwo świadczy o braku wspólnego pochodzenia, a więc podobieństwo jest wynikiem konwergencji? ¹⁷

Zasadniczym wyzwaniem jakie konwergencja stawia teorii ewolucji jest częstotliwość z jaką zdarza się ona w historii życia. Konwergencja jest wspólną cechą życia. Robert Carroll stwierdził:

Biologowie pracujący jednocześnie nad współczesnymi i wymarłymi gromadami dowodzą, że konwergencja jest bardzo powszechna. ¹⁸

Ta powszechność nie ma wiele sensu w świetle ewolucjonistycznej teorii. Jeśli ewolucja jest rzeczywiście właściwym wyjaśnieniem rozpowszechniania się życia, moglibyśmy oczekiwać konwergencji ekstremalnie rzadko. Mechanizm, który napędza ewolucję składa się z wielkiej liczby nieprzewidywalnych, przypadkowych zdarzeń. Porównując ten mechanizm ze złożonością życia i struktur funkcjonujących w żywych organizmach wydaje się być nieprawdopodobne, że oddzielne ewolucyjne drogi mogą tak regularnie prowadzić do wykształcenia się takich samych struktur. Co gorsza, jak widzieliśmy powyżej zadziwiająco ściśle konwergencja pojawia się także w sytuacji gdy działające siły selekcyjne są radykalnie inne. A dotyczy to także całego szeregu innych rozwiązań, jak: układy elektrostatycznego obrazowania, generatory elektryczności, system bioluminescencji oraz mózg ssaków. Żaden znany ewolucyjny mechanizm nie jest w stanie wyjaśnić natury tak powszechnej biologicznej konwergencji.

Znaczące były słowa tych badaczy, którzy jako pierwsi odkryli zaskakującą konwergencję kameleonów i *Limnichthytes*:

Kiedy stajemy twarzą w twarz z piękną koordynacją systemu optycznego, takiego jak ten [kameleonów i *Limnichthytes*], jest to naprawdę wyzwanie dostarczyć

¹⁷ Maciej Giertych, Rola informacji w funkcjonowaniu przyrody w kontekście sporu o ewolucję, *Filozofia Nauki* 2001, nr 2 (34), s. 27 [19-30].

¹⁸ Carroll, *Vertebrate...*, s. 8.

wyjaśnienia dla konwergencji tak wielu precyzyjnych i doskonale dopasowanych mechanizmów.¹⁹

Wspomniany już Leo Berg tak komentuje ekstremalnie małe prawdopodobieństwo wystąpienia konwergencji:

To wyjaśnienie [konwergencji rozumianej ewolucyjnie] wygląda zupełnie nieprawdopodobnie. Ponieważ pożyteczne zmiany – zgodnie z teorią Darwina – pojawiają się przypadkowo jest niewiarygodne, że takie same zmiany mogą przypadkowo pojawiać się nawet w jakimś pojedynczym gatunku, ale jeszcze bardziej niewiarygodne jest, że pojawią się one w różnych gatunkach.²⁰

Paleontolog, Kurt Wise również wskazuje na nieadekwatność ewolucjonistycznego wyjaśnienia zjawiska konwergencji:

Analogie są bardzo powszechną cechą życia. Każde drzewo [filogenetyczne], które bierze pod uwagę przynajmniej kilka tuzinów cech i obejmuje kilka większych grup organizmów, wydaje się zawierać kilka niedziedzicznych podobieństw. Uwzględniając fakt, że organizmy są złożone z milionów lub kilku miliardów cech, prawdziwa liczba analogii jest prawdopodobnie ekstremalnie duża. To jednak wydaje się być sprzeczne z teorią ewolucji. W ewolucjonistycznym scenariuszu analogie są cechami uformowanymi niezależnie w dwóch różnych grupach organizmów. Sądzi się, że ścieżki, którymi podąża ewolucja obfitują w nieprzewidywalne zdarzenia, tak, że prawdopodobieństwo, że dwie niezależne ewolucyjne drogi zbiegną się w tym samym końcowym punkcie jest bardzo niskie. To jest główny temat książki Stephena Jaya Goulda **Wonderful Life**. Gdyby proces ewolucyjny rozpoczął się jeszcze raz, nie można spodziewać się, by wytworzył on znowu te same organizmy. Tylko jeśli cecha jest wyjątkowo korzystna dla organizmu i łatwa do wytworzenia w naturalistyczny sposób można rozsądnie oczekiwać, że może ona wyewoluować więcej niż jeden raz. Jednak większość cech jest bardzo złożona, tak, że nie jest jasne, przez wzgląd choćby na rachunek prawdopodobieństwa, jak którakolwiek z nich mogłaby łatwo powstać. W teorii ewolucji analogie powinny być oczekiwane jako wyjątkowo rzadka cecha życia.²¹

Powinny być wyjątkowo rzadkie, a jednak są bardzo częste. Nie wydaje się by w ramach neodarwinizmu istniało adekwatne wyjaśnienie tego zjawiska. Biofizyk, Cornelius Hunter zauważa:

¹⁹ Pettigrew and Collin, *Terrestrial Optics...*, s. 407.

²⁰ Berg, *Nomogenesis...*, s. 160.

Rzeczywiście, ewolucjoniści wydają się być bardzo zadowoleni z tego wyjaśnienia. Jak konkluduje Berra: „Takie ściśle podobieństwa w bardzo odległe powiązanych gromadach są łatwe do wyjaśnienia jako rezultat ewolucji konwergentnej”. Być może zbyt łatwo. Chociaż ewolucja jest ślepy proces, który wytwarza szeroką menażerię gatunków i projektów, zakłada się jednocześnie, że może ona wytwarzać uderzające podobieństwa.²²

Znany ewolucjonista Frank Salisbury, również dostawał bólu głowy od myślenia nad tym problemem:

Nawet coś tak złożonego jak oko powstało kilka razy przykładowo u kałamarnic, kręgowców i stawonogów. Jest bardzo trudno wyjaśnić powstanie jednej takiej struktury, a myśl, że w zgodzie z nowoczesną teorią syntetyczną powstała ona wiele razy powoduje u mnie zawrót głowy.²³

Kreacjonistyczna interpretacja konwergencji

Istnienie w przyrodzie ożywionej podobieństw stanowi pytanie, na które można dać różne odpowiedzi. Dean Kenyon i Percival Davis zauważają:

Istnienie struktur homologicznych stawia jedynie pytanie o wzajemne związki, ale nie może dać na nie odpowiedzi. To dlatego Stephen Gould stwierdził, że homologia popiera koncepcje bazujące na rozumnym projekcie równie dobrze, jak koncepcje wspólnego pochodzenia [Stephen Jay Gould, *Natural History*, January 1987, s. 14]. Zarówno darwiniści jak i zwolennicy teorii projektu mogą wyjaśnić istnienie homologii poprzez pryzmat przyjmowanych przez siebie interpretacji.²⁴

Jest jednak dziedzina, gdzie występowanie konwergencji możemy obserwować równie powszechnie jak w żywych organizmach. Chodzi o **wytwory ludzkiej technologii**. Mnóstwo rozwiązań i mechanizmów stosowanych jest w różnych urządzeniach – np. silniki elektryczne służą

²¹ Kurt P. Wise, *The Origin of Life's Major Groups*, [w:] J.P. Moreland, [ed.] **The Creation Hypothesis**, InterVarsity Press, Downers Grove 1994, s. 213.

²² Cornelius G. Hunter, **Darwin's God: Evolution and the Problem of Evil**, Baker, Grand Rapids 2001, s. 31.

²³ Frank Salisbury, Doubts About the Modern Synthetic Theory of Evolution, *American Biology Teacher* September 1971, s. 338.

²⁴ Percival Davis and Dean Kenyon (eds.), **Of Pandas and People**, second edition, Haughton Publishing Co., Dallas 1993, s. 133.

jednocześnie jako źródło napędu dla lokomotyw i niektórych samochodów, jak i do napędzania wiertarek lub pił tarczowych. W ramach paradygmatu kreacjonistycznego źródłem konwergencji jest więc **wspólny projekt**. Jest ona wynikiem aktywności Stwórcy, który stosował w niespokrewnionych organizmach wspólne i stałe rozwiązania służące określonej strategii przetrwania. Uszczegóławiając to ogólne stwierdzenie, rozróżnić należy przynajmniej dwie przyczyny konwergencji:

- A. Przyczyną konwergencji jest zastosowanie tych samych rozwiązań projektowych w konstrukcji różnych organizmów.
- B. Konwergencja w wielu przypadkach jest wynikiem aktywnej adaptacji organizmów do podobnego środowiska. Ten przypadek nazwijmy – w odróżnieniu od konwergencji – **paralelizmem**.²⁵

A. Wspólny projekt

Konwergencja żywych organizmów ma w tym przypadku podobną genezę jak podobieństwo niektórych rozwiązań w wielu wytworach naszej techniki. Jest więc wynikiem stwórczego planu, który spełniać musiał m.in. następujące kryteria:

1. Organizmy istnieją w tym samym wszechświecie i w swym działaniu muszą operować w ramach tych samych praw natury.
2. Istnieją na tej samej planecie.
3. Niektóre z nich żyją w podobnym środowisku.
4. Posiadają jedno, lub powyżej kilka źródeł energii.
5. „Normalizacja” przez co np. cała biosfera znacznie łatwiej może uczestniczyć w łańcuchu pokarmowym – podzespoły wyprodukowane

²⁵ Według neodarwinistów *ewolucja paralelna* jest formą *ewolucji konwergentnej*. Carroll definiuje cechy konwergentne jako: „Cechy, które są podobne w strukturze i funkcji, ale powstałe niezależnie i nie pochodzące od wspólnego przodka są określane jako konwergentne” (Carroll, **Vertebrate...**, s. 7). Paralelizm (lub ewolucja paralelna), jest odróżniania od konwergencji następująco: „Konwergencja jest procesem rozwoju podobnych cech niezależnie w dwóch lub więcej niespokrewnionych rodach, bez wspólnego dziedziczenia tego podobieństwa. Paralelizm jest niezależnym rozwojem podobnych cech w dwóch lub więcej rodach pochodzących od wspólnego przodka, bazujących na, lub przekazywanych przez, wspólne pochodzenie i charakterystycznych dla tej wspólnoty pochodzenia” (Tamże).

Tak więc w wyniku ewolucji paralelnej powstają niezależnie podobne cechy, ale raczej w ściśle powiązanych grupach, podczas gdy w wyniku ewolucji konwergentnej powstają podobieństwa w gromadach ze sobą spokrewnionych bardzo odległe. O ewolucji paralelnej sędzi się, że obejmuje podobne rozwojowe modyfikacje, które ewoluowały niezależnie, ale często w ściśle powiązanych grupach (ponieważ mają one prawdopodobnie podobne mechanizmy rozwojowe w trakcie embriogenezy). Standardowym przykładem ewolucji paralelnej są skrzydła ciem i motyli. Trzeba jednak pamiętać, że na ten temat wśród ewolucjonistów panują spore kontrowersje, np. nad wytyczeniem granic pomiędzy ewolucją paralelną a konwergentną. Niektórzy w ogóle kwestionują, czy jest sens utrzymywać pojęcie ewolucji paralelnej, skoro cały proces ewolucyjny da się ostatecznie sprowadzić do konwergencji lub dywergencji (radiacji adaptacyjnej).

przez jeden typ organizmu mogą być wykorzystywane przez inny organizm:

Można to porównać do zalet normalizacji gwintów w technologii stworzonej przez człowieka. Śruby mocujące, wydobyte z jednego urządzenia, mogą być wykorzystywane w innym – bez konieczności przetapiania i formowania od nowa. Przykładowo, materiał organiczny dostarczany heterotrofom przez autotrofy jest przyswajalny bez konieczności cofania się w katalizie do poziomu surowca mineralnego. Analogicznie muszki owocowe (*Drosophila*) wykorzystują gotową strukturę sitosterolu wydobytą z tkanki roślin (por. [Harborn 1997 141]) a robak *Microstomum lineare* i niektóre ślimaki nagoskrzelne wykorzystują gotową strukturę nematocysty wyprodukowaną przez stułbę (...).²⁶

Rozważmy przykładowo silniki tłokowe i ich zastosowanie. Mają one wspólny projekt co wyraża się w podobnej funkcji, budowie i zasadach zamiany energii cieplnej na kinetyczną. Ale silniki te stosowane są w napędzie zupełnie różnych konstrukcji, jak samolotach turbośmigłowych, samochodach i okrętach. Z punktu widzenia teorii ewolucji można to opisać jako ewolucję konwergentną, z punktu widzenia teorii projektu jako zastosowanie jednego, sprawdzonego mechanizmu w zupełnie różnych konstrukcjach, poruszających się w różnych środowiskach. Oczywiście rację w tym przypadku będą mieli zwolennicy teorii projektu.

Powróćmy do omawianego już przykładu oczu. Oczy istnieją w różnych kształtach, rozmiarach, optycznych planach, różnią się położeniem w ciele, ale wszystkie ich rodzaje dostarczają ich posiadaczom podobnych informacji o długości fali i intensywności światła. Wśród różnych typów zwierząt do budowy soczewki i siatkówki wymagane są różne tkanki. Dla kontrastu, wszystkie rodzaje oczu posiadają ten sam mechanizm absorbowania fotonów, tj. kombinację opsynowo-chromoforową. Wspólny projekt oczu przejawia się więc w zastosowaniu podobnych „materiałów”, do budowy całej gamy różnego typu oczu. Co więcej, ostatnie badania donoszą, że bardzo zróżnicowane typy oczu formują się w bardzo podobnych rozwojowych procesach.

Rozwojem bardzo różnych typów oczu steruje u większości organizmów ten sam gen – *Pax-6*. Bardzo podobne są również kaskady genetycznych procesów, które jednak wiodą do zupełnie odmiennych

²⁶ Jolanta Koszteyn i Piotr Lenartowicz SJ, Integracja dynamiki biologicznej a drzewa rodowe istot żywych, *Filozofia Nauki* 2001, nr 2 (34), s. 60 [59-72].

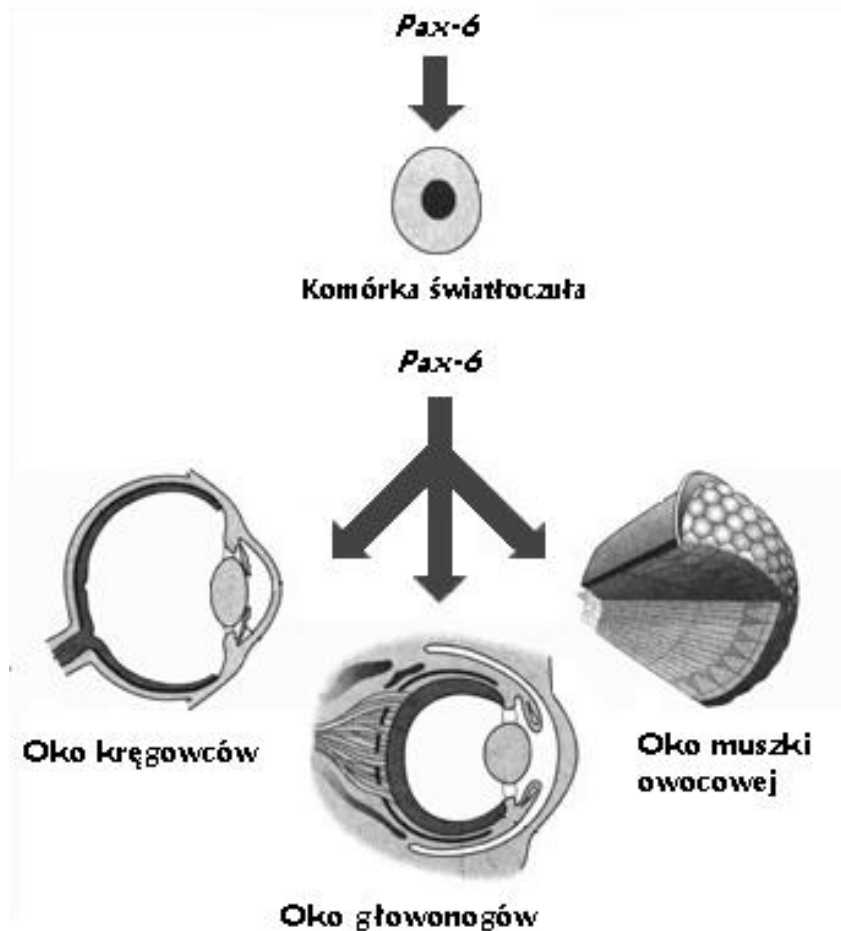
końcowych rezultatów. Niektórzy ewolucjoniści argumentują w związku z tym, że oko ma genezę monofiletyczną. Większość biologów odrzuca jednak tę sugestię. Twierdzą oni, że po pierwsze są świadectwa, że ekspresja homologicznych genów *Pax-6* zachodzi również w jeżowcach (*Echinoidea*) i nicieniach (*Nematoda*), które w ogóle nie posiadają oczu. Inne dowody wskazują, że gen ten uczestniczy w powstawaniu różnych tkanek mózgowych i jego aktywność nie jest ograniczona wyłącznie do rozwoju oka.²⁷

Co sprawia, że te same geny, te same rozwojowe procesy prowadzą do wykształcania się odmiennych funkcjonalnych rozwiązań? Homologiczne geny i mechanizmy rozwojowe prowadzą np. do budowy niehomologicznych oczu u zwierząt klasyfikowanych od siebie bardzo odległe: kręgowców i stawonogów. Oczy kręgowców, funkcjonujące na zasadzie ciemni optycznej, zbudowane są na zupełnie odmiennej zasadzie niż oczy stawonogów (*Arthropoda*), które składają się z licznych (od kilkunastu do ok. 30 tys.) oczek prostych (ommatidiów) stanowiących pojedyncze układy optyczne; w oczach tego typu powstaje obraz mozaikowy (punktowy). Jednak, gdy gen *Pax-6* myszy wszczepiony zostaje muszce owocowej (*Drosophila*) w trakcie jej embrionalnego rozwoju, jest on „interpretowany” właściwie – rozwija u niej normalne wielofasetkowe oko. Tak więc ten sam gen może „znaczyć” dwie różne rzeczy. U muszki gen ten uczestniczy w rozwoju oka fasetkowego, u myszy ten sam gen uczestniczy w rozwoju oka soczewkowego. Co więcej, ten sam gen zaangażowany u kręgowców w rozwój oka może również wywoływać rozwój... wizerunku oka na skrzydłach niektórych gatunków motyli.²⁸ Russell Fernald ze Stanford University podsumowuje:

Pomimo nowych danych dostarczanych przez potężne techniki molekularne, dostępne świadectwo wciąż sugeruje, że oczy mają polifiletyczne pochodzenie z zastrzeżeniem, że zawierają one homologiczne molekuly odpowiedzialne za wiele strukturalnych, funkcjonalnych i innych cech rozwojowych. Poznając wzrastającą liczbę homologicznych sekwencji genów pośród molekuł oka, wśród organizmów filogenetycznie bardzo odległych, aktualnym wyzwaniem jest odkrycie, **co sprawia**, że oczy *Drosophila*, kałamarnic i myszy są tak różne. Ponieważ ściśle homologiczne rozwojowe procesy muszą produkować homologiczne struktury, **kluczowy element** odpowiedzialny za rozwój niehomologicznych oczu **wciąż**

²⁷ Russell D. Fernald, *The Evolution of Eyes, Brain, behavior and evolution* 1997, vol. 50, s. 253-259.

jest nieznanymi. Zrozumienie tego, co czyni oczy różnymi może być większym wyzwaniem, niż znajdowanie tego, co mają wspólnego.²⁹



Rys. 2. Geny i procesy rozwojowe sterujące powstawaniem oczu zwierząt z fundamentalnie różnych grup: kręgowców, głowonogów i stawonogów, są w 94 procentach te same.

Na przykładzie tym, widać doskonale, że te same „składowe”, te same elementy architektury, podobne mechanizmy konstrukcyjne, mogą być użyte w odmiennych projektach; te same geny lub rozwojowe procesy nie

²⁸ Marcel-Paul Schützenberger, *The Miracles of Darwinism, Origins & Design* 1996, vol. 17, No 2; <http://www.arn.org/docs/odesign/od172/schutz172.htm>

²⁹ Russell D. Fernald, *The Evolution of Eyes, Karger Gazette* January 2001, No. 64, s. 4 [2-4]; <http://www.karger.com/gazette/gazett64.pdf>, podkreślenia dodane.

determinują ostatecznego rezultatu. Musi istnieć jeszcze pewien „system interpretacyjny”, który potrafi zupełnie inaczej interpretować **te same** geny. Stanowi to iluminacyjny przykład wspólnego projektu, gdzie te same elementy mogą być stosowane w różnych konstrukcjach, np. podobieństwo kokpitu w samolocie i deski rozdzielczej w samochodzie, gdzie podobne elementy (zegary, wskaźniki, wolant-kierownica, pedały-orczyki itp.) zastosowane są w innych funkcjach.

B. Paralelne przystosowania do środowiska

Znany jest szereg dobrze udokumentowanych przykładów zadziwiających paralelizmów wśród różnych organizmów, kiedy to organizmy te pod wpływem podobnego środowiska podobnie reagowały, dostosowując się do niego. W tym przypadku paralelizm jest odpowiedzią na podobne selekcyjne naciski. Otwarte jest pytanie o genezę tego typu przystosowań – czy wytwarzają się one zgodnie ze scenariuszem neodarwinowskim (mikroewolucja), czy też odpowiadają za to mechanizmy „aktywne”, teleologiczne. Piotr Lenartowicz i Jolanta Koszteyn dają przykład takiego paralelizmu:

Niedawno Losos i współpracownicy opublikowali wyniki badań nad populacjami jaszczurek z rodzaju *Anolis*, którymi zasiedlono kilkanaście małych wysepek na Karaibach. Na każdej wysepce, w okresie 10-14 lat, doszło do zróżnicowania formy wyjściowej tak, że pojawiły się liczne tzw. ekomorfy, a więc formy o różnej skali rozmiarów ciała i różnej proporcji jego części, oparte jednak na bardzo podobnej ogólnej zasadzie funkcjonowania organów. Praktycznie wszystkie były idealnie wyspecjalizowane w korzystaniu z jakiejś konkretnej niszy ekologicznej. Np. długość (względna) ich kończyn była różna zależnie od tego, czy rośliny, na których żerowały, miały cienkie, czy grubsze gałęzie. (...) W dodatku owe ekomorfy na jednej wysepce były prawie nierozróżnialne od ekomorfów na innej, posiadającej podobne warunki środowiskowe. Czyli w stosunkowo krótkim czasie – zupełnie niezależnie od siebie – na różnych wyspach powstały, z identycznej formy wyjściowej, takie same nowe, różnorodne wyspecjalizowane „podgatunki” lub „gatunki”. Były one ze sobą spokrewnione, ale ich ewolucja przebiegała niezależnie. Mimo to zaznaczył się uderzający „paralelizm” w rozwoju doskonałości funkcjonalnej.³⁰

³⁰ Piotr Lenartowicz i Jolanta Koszteyn, Czy baraminy wyrażają naturalne i odrębne formy całości biologicznej?, *Na Początku...*, styczeń-luty 2003, nr 1-2 (164-165), s. 57-58 [52-59].

Interesujący opis tego typu zjawisk przytacza też January Weiner:

Porównanie gatunków ptaków, tworzących zespoły podobnych, nizinnych lasów równikowych w Panamie (Ameryka Środkowa) i w Liberii (Afryka Zachodnia), dokonane w 1975 r. przez dwoje amerykańskich ekologów, Jamesa R. Karra i Frances C. Jamesa, było wzorem dla innych podobnych opracowań. Autorzy ci zbadali kilkaset gatunków ptaków, obserwując w terenie ich obyczaje (preferowane biotopy, sposób żerowania), a następnie zmierzili wiele cech morfologicznych każdego z nich. Zauważyli charakterystyczne cechy w budowie ciała, związane ze sposobem życia (np. leśne gołębie żerujące na ziemi są mniejsze, mają krótsze skrzydła, a za to dłuższe nogi niż gatunki, które żerują w koronach drzew; dzioborożce owadożerne mają skrzydła krótsze niż gatunki owocożerne, a dzioby zimorodków odżywiających się owadami są cieńsze niż u tych, które polują na ryby). Porównując przedstawicieli fauny różnych kontynentów Karr i James stwierdzili, że istnieje silna konwergencja gatunków o podobnym trybie życia, mimo różnic taksonomicznych, natomiast gatunki filogenetycznie spokrewnione mogą wykazywać różnice. Ponadto, w oddalonych geograficznie i taksonomicznie zespołach tropikalnych ptaków leśnych wyodrębniają się konwergentne gildie gatunków o podobnym sposobie zdobywania pokarmu.

Morfologiczne podobieństwa udokumentowano u różnych grup niespokrewnionych organizmów. Na przykład roślinność typu śródziemnomorskiego: europejska macchia, południowoafrykański fynbos, kalifornijski chaparral, czilijski matarral i kwongan w południowo-zachodniej Australii wykazują uderzające konwergencje w pokroju, morfologii liści i fizjologii gatunków tworzących te zbiorowiska. ³¹

Lenartowicz i Koszteyn zauważają, że doszukiwanie się genezy takich zjawisk w przypadkowych mutacjach wiodących do takich adaptacji przez „gorzej przystosowane” formy jest nieporozumieniem:

Trudno tu podtrzymywać hipotezę o rzekomym powstawaniu wielkiej liczby „nieudaczników” i eliminowaniu ich przez śmierć. Jest to, innymi słowy, dobry przykład zjawiska ewolucji, ale niekoniecznie ewolucji typu darwinowskiego. (...) Zakładanych przez darwinizm form „nieudanych” nie znajduje ani biologia, ani paleontologia. ³²

³¹ Weiner, *Życie i ewolucja biosfery*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1999, s. 434 -435.

³² Lenartowicz i Koszteyn, *Czy baraminy...*, s. 58, 57.

Neodarwinowskie wyjaśnienia powstawania adaptacji nie podobają się też Jamesowi Shapiro, biochemikowi z Departamentu Biochemii i Biologii Molekularnej Uniwersytetu Chicagowskiego. Sugeruje on aktywne reagowanie organizmów (łącznie z celową modyfikacją genomów) w odpowiedzi na aktualne wymagania środowiska:

Ewolucyjna zmiana w genomie następuje w procesie naturalnej inżynierii genetycznej. Systemowa organizacja genomu oznacza, że nowe funkcje powstają przez rearanżacje – wycinanie i łączenie – genetycznych modułów. Żywe komórki posiadają ruchome genetyczne elementy i inne biochemiczne funkcje, którymi przeprowadzają zasadnicze rearanżacje DNA. Komórki sterują aktywacją funkcji naturalnej inżynierii genetycznej. Tak więc komórki posiadają zdolność do znacznej reorganizacji genomu w odpowiedzi na ewolucyjny kryzys. Ponadto zmiany w procesie naturalnej inżynierii genetycznej nie są w naturze ani przypadkowe, ani ograniczone do jednego miejsca w genomie, co znaczy, że proces ten może wytwarzać nowe oddzielne systemy (*multilocus*) i nowe architektury genomowego systemu.³³

Podsumowanie

Konwergencję i paralelizm można interpretować rozmaicie. Nie wydaje się jednak, by ewolucjonistyczna interpretacja konwergencji przewyższała w czymkolwiek interpretację bazującą na wspólnym projekcie. Ta druga wydaje się być – z przyczyn rozpatrzonych powyżej – bardziej wiarygodna, spójna i prostsza od ewolucyjnego rozumienia konwergencji. Dla kreacjonistów otwiera to pole programom badawczym usiłującym zgłębić przynajmniej dwa zagadnienia:

1. Zdefiniowanie i wytyczanie różnic pomiędzy konwergencją (wspólnym projektem) a paralelizmem (podobieństwami wynikającymi z przystosowywania się do podobnego środowiska).
2. Poszukiwanie źródła paralelizmu, tj. czy za zjawisko to odpowiadają mechanizmy neodarwinowskie (mikroewolucja), czy też teleologiczne, tj. organizmy potrafią przebudowywać swoją morfologię celowo w odpowiedzi na zmiany środowiska (przy

³³ James A. Shapiro, A 21st Century View of Evolution;
http://shapiro.bsd.uchicago.edu/21st_Cent_View_Evol.html

czym chodzi zarówno o badanie przyczyny takiej dynamiki jak i jej potencjalnych granic).

Michał Ostrowski