

Michał Nowosad

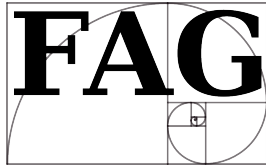
Konieczne rozwiązania życia w ujęciu Simona Conwaya Morrisa

Filozoficzne Aspekty Genezy (Philosophical Aspects of Origin) 67, 7-63

2009/2010

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Michał Nowosad

Konieczne rozwiązania życia w ujęciu Simona Conwaya Morrisa *

Wstęp

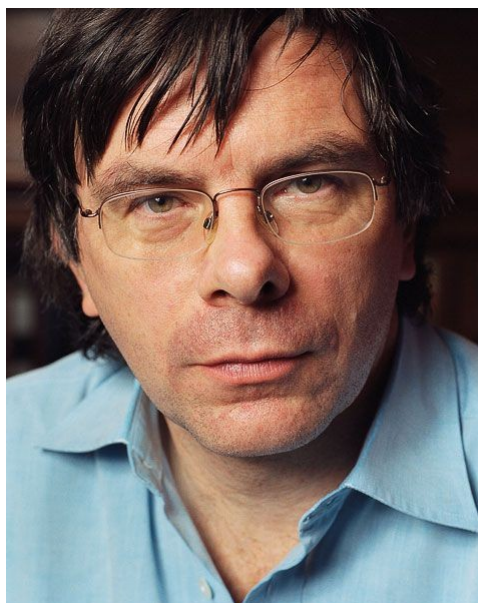
Artykuł dotyczy koniecznych rozwiązań życia w ujęciu Simona Conwaya Morrisa. Simon Conway Morris (ur. 1951) jest brytyjskim paleontologiem, który zdobył sławę w środowisku naukowym przez swoje badania nad skamieniałościami w łupkach z Burgess. Dokładna analiza tych skamieniałości początkowo doprowadziła go do wniosków podobnych do wniosków Stephena Jay Goulda – przede wszystkim o doniosłej roli przypadku w procesie ewolucji życia. Z czasem jednak Simon Conway Morris zmienił swoje zdanie na całkiem przeciwne, czemu daje wyraz w książce **Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe**.¹ Uważa on, że natura jest w rzeczywistości bardzo ograniczona w swoich wyborach, przez co wiele rozwiązań ma charakter koniecznych.²

* Recenzent: Grzegorz NOWAK, Zakład Biochemii UMCS, Lublin.

¹ Simon CONWAY MORRIS, **Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe**, Cambridge University Press, New York 2006.

² Autor używa wyrażenia *inevitabilities* (dosłownie: „nieuniknialności”, [rzeczy] nie do uniknięcia), co nie posiada polskiego tłumaczenia. Zamiast tego używam przymiotnika „konieczne”.

Temat koniecznych rozwiązań w ewolucji życia jest interesujący ze względu na ograniczoną ilość przewidywań, jakie niesie teoria ewolucji, przyjęta w środowisku biologów. Teoria ewolucji przyjmuje założenie losowych rezultatów procesu ewolucji. Zamierzam więc ocenić, czy odmienne stanowisko Autora **Life's Solution** stanowi dla teorii ewolucji rzeczywistą alternatywę. Chcę przedstawić, jakie rozwiązania Simon Conway Morris uważa za konieczne, oraz na jakiej podstawie. Takie rozwiązania dzielą się na molekularne, konieczne ze względu na właściwości fizyczne substancji wykorzystywanych przez życie, oraz środowiskowe, będące odpowiedzią na potrzeby adaptacyjne. Zostanie to poparte szeregiem przykładów ze świata organizmów żywych, zarówno współczesnych, jak i dawno już wymarłych. Mam także zamiar przedstawić przewidywania, jakie wysunął Autor **Life's Solution** wobec rezultatów przyszłej ewolucji organizmów żywych, oraz ocenić, czy są one zasadne.



Simon Conway Morris

Ogólny plan artykułu ma odzwierciedlać tok wykładu Simona Conwaya Morrisa w książce **Life's Solution**. Będzie prezentować tym samym, jakie zjawiska dostrzeżone w świecie przyrody są interesujące z punktu widzenia Autora, oraz do jakich doprowadziły go wniosków.

I. Przykłady koniecznych rozwiązań życia

A. Konieczne rozwiązania życia na poziomie molekularnym

Podstawy chemiczne

Simon Conway Morris rozpoczął książkę **Life's Solution** od analizy najprostszych struktur, na jakich opiera się życie. Od samego początku stara się też pokazać, jak życie ograniczone jest w wyborze rozwiązań.

Podstawowe pierwiastki ziemskiego życia to węgiel, wodór, tlen, azot i fosfor. Każdy z nich jest łatwo dostępny na naszej planecie. O ich wyborze zadecydowały ich właściwości chemiczne. Węgiel charakteryzuje się zdolnością łączenia się w konfiguracje, które są giętkie i przydatne dla życia, doskonale sprawdzając się w roli budulca podstaw strukturalnych związków organicznych. Wydaje się też, że węgiel jest jedynym pierwiastkiem zdolnym do pełnienia takiej roli. Iris Fry w książce **The Emergence of Life on Earth: A Historical and Scientific Overview**³ przedstawiła rozważania na temat możliwości istnienia alternatyw wobec rozwiązań opartych na węglu i wodzie.

Często proponowanym zamiennikiem dla węgla jest krzem, przede wszystkim ze względu na identyczną konfigurację elektronów na zewnętrznej orbicie atomów obu pierwiastków, a co za tym idzie, skłonności do wchodzenia w podobne związki. Krzem musiałby zastępować węgiel w roli szkieletu dla struktur molekularnych będących odpowiednikiem węglowodanów, lipidów i białek dla życia. Jednak połączenie między dwoma atomami krzemu jest niestabilne w obecności wody i tlenu, co jest zagrożeniem dla potencjalnych tlenowych organizmów wodnych. W dodatku krzem ma tendencję do łączenia się z tlenem w bardzo trwałe polimery krzemowe, które do rozerwania wyma-

³ Por. Iris Fry, **The Emergence of Life on Earth: A Historical and Scientific Overview**, Free Association, London 1999.

gałyby metabolizmu opierającego się na kwasach azotowym i fluorowodorowym, co mogłoby dramatycznie utrudnić towarzyszące temu procesy anaboliczne. Iris Fry wskazuje także na to, że spekulacje na temat alternatyw nie muszą być ograniczone do hipotetycznych form życia opartych na krzemie. Robert Shapiro i Gerald Feinberg⁴ wskazują także na inne alternatywy, gdzie życie oparte jest na amoniaku, płynnych krzemianach, wnętrzach gwiazd czy obłokach międzygwiazdowych. Jak jednak zauważa Iris Fry, „formalny opis hipotetycznego życia pozaziemskiego wciąż jest oparty na organizacji życia, jakie znamy”,⁵ i dodaje:

Każdy żywy system, szczególnie ukazany na poziomie cząsteczkowym, jest zorganizowany w dalece bardziej złożony sposób, niż jakikolwiek znany nam system fizyczny. Wyjątkowy charakter tej złożoności leży w zdolności organizmu do podtrzymania funkcji i reprodukcji swej organizacji zgodnie ze specyficznymi wewnętrznymi instrukcjami lub informacjami, objawiającymi się w postaci pewnych dużych cząsteczek. Ten charakter idzie w parze z celową, funkcjonalną naturą biologicznej organizacji, w której każda część służy przetrwaniu całości. Definicja Shapiro i Feinberga [efektywnie uznająca proces wolnego przepływu energii i wyłaniania się porządku za życie] nic nie mówi o tej istotnej cesze życia.⁶

Iris Fry nie uważa innych niż węglowodne formy życia za niemożliwe, lecz w pewnych kontekstach, na przykład we wnętrzach gwiazd, ich wykrycie jest trudne, a systemy na planetach oparte na amoniaku czy krzemowych szkieletach spotykają się z wieloma problemami, wynikającymi z natury budujących je substancji. Tak na przykład ciekły amoniak wymaga bardzo niskich temperatur (poniżej -33°C),

⁴ Por. Robert SHAPIRO and Gerald FEINBERG, „Possible Forms of Life in Environments Very Different from the Earth”, w: J. LESLIE (ed.), *Physical Cosmology and Philosophy*, Macmillan, New York 1990, s. 248-255.

⁵ FRY, *The Emergence of Life...*, s. 239 (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 25).

⁶ FRY, *The Emergence of Life...*, s. 241.

w dodatku jego lód tonie, a nie jak w przypadku wody, unosi się na powierzchni swej ciekłej formy. Fry podsumowuje, że życie, które istnieje gdziekolwiek indziej, jeśli w ogóle istnieje, jest najprawdopodobniej oparte na węglu.

Podobne argumenty mogą odnosić się do wielu innych pierwiastków niezbędnych dla funkcji życiowych; szczególnie ma się to do fosforu.⁷ Fosforan może łączyć się z dwoma innymi fosforanami i nadal ulegać jonizacji, zachowując w ten sposób stabilność struktury oraz ujemny ładunek, co pozwala na utrzymanie cząsteczki wewnątrz membrany lipidowej. Ponadto związki fosforu, dla których nie znamy alternatyw, uczestniczą w większości procesów metabolicznych. Najważniejsze związki, w których występuje fosfor, to kwasy nukleinowe, DNA i RNA. Fosfor jest także integralną częścią cząsteczki ATP, która jest głównym nośnikiem energii we wnętrzu komórki. Może być jednak też tak, że nie jesteśmy w stanie przewidzieć takich alternatyw i opartych na nich procesów. Westheimer zauważył, że takie niezbadane rozwiązanie alternatywne może być oparte na arseniku i kwasie krzemowym. Conway Morris dodał jednak, że „jak to jednak często bywa w przypadku poszukiwania początków życia, inne alternatywy są istotnie mniej dopasowane do danej roli”.⁸

Kwas DNA

Kwas deoksyrybonukleinowy składa się z cząsteczek cukru deoksyrybozy (rybozy w RNA), połączonych resztami fosforanowymi oraz pochodnych puryny i pirymidyny (adeniny, cytozyny, guaniny, tyminy oraz uracylu, który zastępuje tyminę w RNA). Pięciowęglowa ryboza jest koniecznym wyborem z wielu powodów. Przede wszystkim życie z początku musiało korzystać z dostępnych substancji i prebiotycznych szlaków syntezy, co już poważnie ograniczyło dostępne

⁷ Frank H. WESTHEIMER, „Why Nature Chose Phosphates”, *Science* 1987, vol. 235, no. 4793, s. 1173 [1173-1178].

⁸ CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 26.

możliwości.⁹ Próby z innymi cukrami pięcio-¹⁰ i sześciowęglowymi¹¹ dały mniej trwałe struktury, a zastosowanie prostszego, czterowęglowego cukru α -treofuranozy, choć prowadzi do w pełni funkcjonalnej struktury DNA, jest niemożliwe ze względu na brak możliwości syntezy tego cukru z cząsteczek dostępnych w prebiotycznym środowisku.¹²

Wybór nukleotydów także podlegał wielu ograniczeniom. Pierwszy z nich jest analogiczny do kwestii cukrów w strukturze DNA: „niestandardowe” nukleotydy są znacznie trudniejsze do zsyntetyzowania w środowisku prebiotycznym.¹³ Drugi powód opiera się na spostrzeżeniu, że o ile DNA oparte o niestandardowe nukleotydy zachowuje swoją strukturę, to po wprowadzeniu do żywego organizmu jest podatny na więcej błędów w procesie replikacji, niż w przypadku standardowych rozwiązań.¹⁴ Trzecim ograniczeniem jest spostrzeżenie, że cztery nukleotydy są skutecznym ewolucyjnie rozwiązaniem. Kodując aminokwas sekwencją trzech nukleotydów, życie ma dostępne sześćdziesiąt cztery kombinacje. Taka nadmiarowość powoduje, że większość spośród dwudziestu białkowych aminokwasów jest kodowana

⁹ Por. Kenneth D. JAMES and Andrew D. ELLINGTON, „The Search for Missing Links Between Self-Replicating Nucleic Acids and the RNA World”, *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 1995, vol. 25, no. 6, s. 515-530.

¹⁰ Por. M. BEIER, F. RECK, T. WAGNER, R. KRISHNAMURTHY and Albert ESCHENMOSER, „Chemical Etiology of Nucleic Acid Structure: Comparing Pentopyranosyl-(2'→4') Oligonucleotides with RNA”, *Science* 1999, vol. 283, no. 5402, s. 699-703 (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 15).

¹¹ Por. Stefan PITSCH, Sebastian WENDEBORN, Bernhard JAUN and Albert ESCHENMOSER, „Why Pentose – and Not Hexose – Nucleic Acids?”, *Helvetica Chimica Acta* 1993, vol. 76, s. 2161-2183.

¹² Por. Albert ESCHENMOSER, „Chemical Etiology of Nucleic Acid Structure: The α -Threofuranosyl-(3'→2') Oligonucleotide System”, *Science* 2000, vol. 290, no. 5495, s. 1347-1351.

¹³ Por. J.A. PICCIRILLI, T. KRAUCH, S.E. MORONEY and S.A. BENNER, „Enzymatic Incorporation of a New Base Pair into DNA and RNA Extends the Genetic Alphabet”, *Nature* 1990, no. 343, s. 33-37.

¹⁴ Por. Christopher ROBERTS, Rajanikanth BANDARU and Christopher SWITZER, „Theoretical and Experimental Study of Isoguanine and Isocytosine: Base Pairing in an Expanded Genetic System”, *Journal of the American Chemical Society* 1997, vol. 119, s. 4640-4649.

przez więcej niż jeden kodon.¹⁵ Przyczynia się to do zwiększenia bezpieczeństwa kopiowania – przypadkowa zmiana w sekwencji nie musi prowadzić do zmiany aminokwasu w białku, co zagrażałoby jego funkcjonalności. A dodatkowa para nukleotydów nie dość, że niesie ze sobą nowe trudności, to zwyczajnie może okazać się zbędna.

Dodatkowym spostrzeżeniem dotyczącym koniecznych rozwiązań odnośnie kodu genetycznego jest skłonność różnych odległych grup systematycznych do wykorzystywania kombinacji nukleotydów (kodonów) w podobny sposób.¹⁶ U większości grup te same kodony służą za znak stopu podczas tworzenia białek, a pozostałe nie kodują więcej, jak dwóch różnych aminokwasów. Może to oznaczać selekcję negatywną, kiedy inne znaczenia kodonów zostały wyeliminowane ze względu na swoją mniejszą efektywność. Simon Conway Morris dodaje tu, że podobne do siebie kodony oznaczają ten sam aminokwas lub inny, lecz strukturalnie podobny do poprzedniego, tak że zmiana jednego spośród trzech nukleotydów w kodonie spowoduje zmianę jednego aminokwasu na podobny mu strukturalnie. Białko powstałe ze zmienionego genu ma w ten sposób duże szanse zachować swoje właściwości.¹⁷ W przypadku startu i stopu podobne znaczenia kodonów sugerują także presję selekcyjną z nieznanymi jeszcze względów. Być może i te ograniczenia mają charakter uniwersalny, skoro mają wpływ na życie we wszystkich jego znanych przejawach.

¹⁵ EORS SZATHMARY, „Four Letters in the Genetic Alphabet: A Frozen Evolutionary Optimum?”, *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 1991, vol. 245, no. 1313, s. 91-99 (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 15).

¹⁶ Por. Robin D. KNIGHT, Stephen J. FREELAND and Laura F. LANDWEBER, „Rewiring the Keyboard: Evolvability of the Genetic Code”, *Nature Reviews Genetics* 2001, vol. 2, s. 49-58 (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 18).

¹⁷ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 13.

Białka

Istnieje dwadzieścia aminokwasów, które są wykorzystywane przez życie do budowy białek. ** Złączone w łańcuchach setki aminokwasów tworzą białka, które pełnią różne role. Najczęstszą z nich jest rola katalizatora, a białko o tej funkcji określa się mianem enzymu. Obecnie znanych jest ponad cztery tysiące enzymów białkowych.¹⁸ Ze względu na długość takich łańcuchów i ilość aminokwasów mamy do czynienia z olbrzymią ilością kombinacji. Biorąc na przykład białko, składające się ze stu aminokwasów, a więc relatywnie krótkie, mamy do czynienia z 20^{100} kombinacjami. Nawet wtedy, gdy tylko jedna milionowa z tej liczby jest uwadniana tworząc zół, co jest warunkiem koniecznym do funkcjonowania w cytoplazmie komórki, a z pozostałej liczby tylko jedna milionowa przejawia własności katalityczne, to wciąż mamy do czynienia z wielką liczbą kombinacji. Takie liczby dały wielu naukowcom przekonanie o przypadkowości rozwiązań wykorzystywanych przez życie i nieprzewidywalności efektów ewolucji.¹⁹

** (Przyp. rec.) Do budowy polipeptydów każda żywa komórka wykorzystuje dziewiętnaście aminokwasów i jeden iminokwas. W poszczególnych białkach występują one w różnych proporcjach, co nie jest niczym niezwykłym (na przykład jedno z białek jedwabnika nazywa się serycyna, bo zawiera stosunkowo dużo procentowo aminokwasu seryny). Inne aminokwasy niż te 19 + 1 iminokwas pojawiają się w białkach wtórnie, wskutek chemicznych modyfikacji, zachodzących już po syntezie polipeptydu (na przykład podczas dojrzewania prokolagenu przez hydroksylację proliny powstaje hydroksyprolina, którą laicy są skłonni traktować jako dwudziesty pierwszy aminokwas w dojrzałym kolagenie). Istotna jest jednak liczba monomerów potrzebnych do syntezy polimeru, a nie późniejsze, po syntezie, modyfikacje składników w polimerze - i liczba ta jest zawsze taka sama: 19 aminokwasów i jeden iminokwas. Warto tu dodać, że znamy też setki naturalnych aminokwasów, występujących najczęściej w tkankach roślin, nie wykorzystywanych do syntezy polipeptydów, tak zwanych niebiałkowych (na przykład beta-alanina występująca w krwi ssaków czy cytrulina i ornityna wykorzystywane do syntezy mocznika), ale przywiązuje się do nich ze zrozumiałych powodów znacznie mniejszą wagę, niż do aminokwasów białkowych. Spekulacje dotyczące roli aminokwasów bez klarownego rozróżnienia na białkowe i niebiałkowe mają niewielką wartość.

¹⁸ Amos BAÏROCH, „ENZYME – Enzyme Nomenclature Database”, <http://www.expasy.ch/enzyme/> (09.05.2008).

¹⁹ Por. Temple F. SMITH and Harold J. MOROWITZ, „Between History and Physics”, *Journal of Molecular Evolution* 1982, vol. 18, no. 4, s. 268 [265-282].

Jednak Simon Conway Morris zaprzecza przekonaniu, że życie na Ziemi jest zaledwie jednym z ogromnej liczby możliwych rozwiązań. Na poparcie swej postawy wysuwa wiele argumentów. Przede wszystkim sama właściwość katalityczna nie wystarcza – białka muszą jeszcze pełnić jakieś inne funkcje w komórce. Niezależnie też od tego, czy dane białko jest enzymem, nośnikiem lub przekaźnikiem informacji, uczestniczy w transporcie, czy też jest elementem budulcowym większej struktury, to pełniona przez nie funkcja może być spełniona tylko przez ograniczoną liczbę rozwiązań. Także sposób fałdowania białek podlega wielu ograniczeniom. Zwijanie białka odbywa się na kilku poziomach. Pierwszy poziom zależny jest od sekwencji aminokwasów, drugi odnosi się do spiralizacji łańcucha, a wyższe poziomy odnoszą się do łączenia z innymi cząsteczkami. Badania przeprowadzone przez Govindarajana i Goldsteina²⁰ prowadzą do kilku wniosków, co do możliwych złożzeń pierwszego i drugiego poziomu. Zwijanie będzie efektywne, jeśli doprowadzi do trwałej struktury, gdzie wymagana trwałość złożenia jest zależna od ogólnej długości białka oraz od czynników wewnątrzkomórkowych, które utrudniają ten proces.²¹ Wraz ze wzrostem długości białka ilość możliwych ułożeń przestrzennych ulega drastycznym ograniczeniom.²² Mała liczba możliwych połączeń jest dodatkowo zmniejszona w ewolucyjnym procesie optymalizacji struktur białkowych. Do tego dochodzi powtarzalność pewnych struktur wyższego rzędu, jak całych fragmentów białek, które wielokrotnie wyewoluowały niezależnie.²³

²⁰ Por. Sridhar GOVINDARAJAN and Richard A. GOLDSTEIN, „Why Are Some Protein Structures So Common?”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1996, vol. 93, no. 8, s. 3341-3345.

²¹ Por. GOVINDARAJAN and GOLDSTEIN, „Why Are Some Protein Structures...”, s. 3342.

²² Por. GOVINDARAJAN and GOLDSTEIN, „Why Are Some Protein Structures...”, s. 3344.

²³ Por. Gregory K. FARBER, „An α/β -Barrel Full of Evolutionary Trouble”, *Current Opinion in Structural Biology* 1993, vol. 3, no. 3, s. 409-412; Jean-Francois GIBRAT and Stephen H. BRYANT, „Surprising Similarities in Structure Comparison”, *Current Opinion in Structural Biology* 1996, vol. 6, no. 3, s. 377-385.

Wszystkie te ograniczenia nie wyjaśniają jeszcze, dlaczego życie wybiera tak wąski przedział możliwych rozwiązań. Z drugiej, finalnej strony tego procesu widać, że zakres wyboru jest na tyle wąski, by prowadzić do wielu analogii między białkami wytwarzanymi przez odległe spokrewnione organizmy. Przykłady takich analogii dotyczą choćby hemoglobiny²⁴ i białek, obniżających próg zamarzania krwi,²⁵ czy białek, przekształcających fotony w sygnał nerwowy oraz odpowiadających za przeźroczystość elementów optycznych oka.²⁶

Należy jednak zaznaczyć, że analogiczne białka nie muszą być identyczne. Z jednej strony białka są podobne ze względu na funkcje – a więc jedynie określone ich fragmenty pełniące specyficzne role zachowują wysokie podobieństwo, kiedy pozostała struktura posiada jedynie ogólne bądź brak podobieństwa. Może to oznaczać dwie rzeczy: albo nie ma jednego optymalnego rozwiązania, tylko każde rozwiązanie jest zależne od typu organizmu, w którym występuje, albo istnieje kilka dobrych rozwiązań, z których każde jest równie korzystne przystosowawczo. Inną kwestią są zamiany aminokwasów – większość białek nie traci funkcjonalności przy zamianach pojedynczych aminokwasów w obrębie ich struktury, szczególnie, jeśli te aminokwasy są podobne do siebie strukturalnie. Niemniej istnieją miejsca kluczowe, w których jakakolwiek zamiana prowadzi do zmiany lub utraty funkcjonalności cząsteczki. Widać to na przykładzie rodopsyny, gdzie pojedyncze zamiany decydują o tym, jakie, jeśli w ogóle, przedziały spektrum światła będą w stanie przechwytywać białko.²⁷

²⁴ Takagi TAKASHI, „An α / β -Barrel Full of Evolutionary Trouble”, *Current Opinion in Structural Biology* 1993, vol. 3, no. 3, s. 413-418 (cyt. za: CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 287).

²⁵ Por. S. Liangbiao CHEN, Arthur L. DeVRIES and Chi-Hing C. CHENG, „Convergent Evolution of Antifreeze Glycoproteins in Antarctic Notothenioid Fish and Arctic Cod”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1997, vol. 94, s. 3817-3822.

²⁶ Por. CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 165-166.

²⁷ Por. M. NEITZ, J. NEITZ and G.H. JACOBS, „Spectral Tuning of Pigments Underlying Red-Green Color Vision”, *Science* 1991, vol. 252, no. 5008, s. 971-974.

Ogólną tendencją w ewolucji jest rekrutacja białek, pełniących określoną funkcję, do nowej funkcji, często w nowej strukturze. Pisząc o powstawaniu nowych struktur zbudowanych z białek, Simon Conway Morris uważa, że „przynajmniej część białek zostanie rekrutowana w zaskakujący sposób z innych funkcji pełnionych gdzie indziej w komórce”.²⁸ Dla Autora **Life's Solution** problem nieredukowalnej złożoności struktur zbudowanych z białek jest więc rozwiązany (przynajmniej częściowo) przez przypadkowe zgrupowanie białek i zmianę ich funkcji. Inną konsekwencją rekrutacji białek do nowych funkcji jest to, że ograniczenia, wpływające na ewolucję określonych białek w jednym systemie, są *de facto* ograniczeniami innych systemów, które powstały z tych białek.

Fotosynteza

W kontekście fotosyntezy Simon Conway Morris porusza dwie kwestie – analogii w budowie cząsteczki chlorofilu oraz podobnych optymalizacji samego procesu fotosyntezy. Także samo powstanie chlorofilu może posiadać charakter uniwersalny. Praca Armena Mulkijaniana i Wolfganga Junge²⁹ sugeruje, że chlorofil powstał bardzo wcześnie w historii życia z dużej cząsteczki barwnika, chroniącego przez promieniami UV. Ponieważ na młodych planetach promieniowanie ultrafioletowe występuje powszechnie w związku z brakiem powłoki ochronnej w atmosferze, pozwala to sądzić, że chlorofil może być typowy nie tylko dla naszej planety.

Chlorofil występuje powszechnie wśród większości organizmów, korzystających bezpośrednio z energii, niesionej przez światło Słońca. Należą do nich fotosyntetyzujące bakterie oraz rośliny lądowe i eukariotyczne algi. W przypadku roślin i alg proces fotosyntezy odbywa

²⁸ CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 111.

²⁹ Armen Y. MULKIJANIAN and Wolfgang JUNGE, „On the Origin of Photosynthesis as Inferred from Sequence Analysis”, *Photosynthesis Research* 1997, vol. 51, no. 1, s. 27-42 (cyt. za: CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 107, 351-352).

się w obrębie organelli wewnątrzkomórkowych – chloroplastów, natomiast bakterie przeprowadzają ten proces bezpośrednio w cytoplazmie. Własne DNA chloroplastów wskazuje na to, że były to dawniej niezależne organizmy, które dopiero na drodze endosymbiozy stały się elementem komórek roślinnych. Przodkami owych chloroplastów były sinice, jedyne bakterie, które w wyniku fotosyntezy wydzielają tlen.

Sama cząsteczka chlorofilu posiada wiele odmian. U sinic i eukariontów, posiadających chloroplasty, powszechnie występuje chlorofil typu *a*, choć znane są także inne odmiany (*b*, *c1*, *c2* i *d*), strukturalnie podobne do cząsteczki typu *a*. U bakterii fototropicznych występuje sześć rodzajów bakteriochlorofilu, cząsteczek blisko spokrewnionych z cząsteczkami chlorofilu. Jednak bakterie fototropiczne inne niż sinice nie wytwarzają tlenu w wyniku fotosyntezy, zamiast tego wykorzystują energię wzbudzonej cząsteczki bakteriochlorofilu do rozbitcia cząsteczki siarkowodoru, a produktem ubocznym procesu jest wolna siarka.³⁰ Pokazuje to, jak szerokie spektrum zastosowań posiada ta cząsteczka.

Proces fotosyntezy posiada wiele ograniczeń i niedoskonałości. Przede wszystkim widma absorpcji, czyli fragmenty spektrum światła, które wzbudzają cząsteczkę chlorofilu, są bardzo wąskie. W zależności od typu chlorofilu są to głównie zakresy czerwieni i niebieskiego, stąd też bierze się zielony kolor liści – pozostałe zakresy światła widzialnego są przechwytywane na potrzeby procesu fotosyntezy. Inaczej jest u bakterii fototroficznych, których bakteriochlorofil jest pobudzany falami promieni UV i podczerwieni. Tak więc długość fali, odpowiadająca kolorowi zielonemu, jest omijana przez wszystkie odmiany tej cząsteczki. Inne niedoskonałości dotyczą samego procesu chemicznego, jakim jest fotosynteza, gdzie wiele konkurujących ze sobą procesów hamuje się nawzajem.³¹

³⁰ Eldra Pearl SOLOMON, Linda R. BERG, Diana W. MARTIN and Claude A. VILLEE, **Biologia**, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1996, s. 519.

³¹ Por. Fred C. HARTMAN and Mark R. HARPEL, „Structure, Function, Regulation, and Assembly of d-Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase”, *Annual Review of Bio-*

Te niedoskonałości procesu fotosyntezy poprowadziły Georda Walda, noblistę w dziedzinie fizjologii i medycyny, do sformułowania paradoksalnego wniosku, że chlorofil jest najlepszą możliwością, jaką mogła wybrać natura. Gdyby ten proces mógł być efektywniejszy, to na drodze selekcji już by takim był. *** Poczytał nawet uwagę, że „z czasem stało się dla mnie jasne, że te same czynniki, które odpowiadają za wyłączny wybór chlorofilu dla fotosyntezy na Ziemi, mogą okazać się równie istotne gdziekolwiek indziej”.³² Stwierdzenie to współbrzmi z opinią Simona Conwaya Morrisa, który wypowiada się wprost, że „niezależnie od tego, ile lat świetlnych będzie [inna planeta] od Ziemi, jeśli będziemy zwiedzać taką planetę wzdłuż jej wybrzeży splecionych przez wodorosty, czy przemierzać jej bezkresne lasy, z pewnością znajdziemy tam ten sam dobrze nam znany chlorofil, wchłaniający światło obcej gwiazdy”.³³

Znaczenie ograniczeń na poziomie molekularnym

Ograniczenia w budowie życia niosą wiele implikacji odnośnie jego funkcjonowania. Pierwszą grupą takich implikacji są przewidywania, dotyczące form, jakie może przyjąć życie gdziekolwiek indziej we Wszechświecie. Biorąc pod uwagę, jakie substancje mogą być dostępne w abiotycznym świecie odległych planet, oraz jakie są ich właściwości, można dojść do wniosku, że ewentualne życie będzie oparte na węglu. Żadne inne pierwiastki nie oferują w tej kwestii takiej funkcjonalności jak węgiel, nawet podobny do niego krzem.

Życie oparte na węglu musi z początku korzystać w metabolizmie i budowie swych struktur z cząsteczek dostępnych w otaczającym je

chemistry 1994, vol. 63, s. 197-232 (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 109).

*** (Przyp. rec.) Z punktu widzenia wiedzy ewolucyjnej to stwierdzenie Walda jest nieprawdziwe.

³² George WALD, „Fitness in the Universe: Choices and Necessities”, *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 1974, vol. 5, no. 1-2, s. 13-14 [7-27].

³³ CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 110-111.

środowisku. O ile odpowiadająca warunkom do zaistnienia życia planeta nie jest w stanie wytworzyć wielu z tych substancji sama z siebie, to mogą je dostarczyć meteoryty, zawierające związki organiczne, powstałe w abiotycznych procesach w przestrzeni kosmicznej.³⁴ Zatem życie będzie ograniczone w kwestii związków, z których może budować swoje struktury, a w dodatku takie fundamentalne ograniczenia wpłyną na jego kształt przez miliardy lat.

Pozostaje otwarta kwestia alternatywnych związków tworzących życie, umożliwiając mu zaistnienie w środowiska diametralnie różnych od tych znanych z Ziemi. Conway Morris odnosi się jednak sceptycznie to takich możliwości. Nie można przewidzieć, jak miałyby przebiegać takie procesy metaboliczne u alternatywnego życia (a przynajmniej nikt jeszcze nie opracował przekonującego schematu).

Inne ograniczenia dotyczą najlepszych rozwiązań. O ile dany proces można przeprowadzić na wiele sposobów, to życie na drodze selekcji wybierze najefektywniejszy z nich, przy czym wcześniej wypróbuje i odrzuci przynajmniej większość ze zbioru możliwości. Na tej podstawie Simon Conway Morris przypuszcza, że wiele procesów typowych dla życia będzie do siebie podobnych niezależnie od ilości lat świetlnych, oddzielających przykłady takich podobieństw.

B. Konwergencja jako rezultat koniecznych rozwiązań adaptacyjnych

Konwergencja

W terminologii biologicznej konwergencja jest to zjawisko, gdzie dwie grupy organizmów wykształciły taką samą cechę, podczas gdy ich ostatni wspólny przodek takiej cechy nie posiadał. Oznacza to też, że dana cecha powstała w różnych procesach ewolucyjnych, a więc

³⁴ Por. J.R. CRONIN, W.E. GANDY and S. PIZZARELLO, „Amino Acids of the Murchison Meteorite”, *Journal of Molecular Evolution* 1981, vol. 17, no. 5, s. 265-272 (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*).

powstała poprzez modyfikację różnych cech wyjściowych. Istnieje jeszcze zjawisko ewolucji równoległej, w której dwie grupy taksonomiczne wykształcają takie same cechy, ale – w przeciwieństwie do konwergencji – robią to w takim samym procesie ewolucyjnym. W takim przypadku analogiczne cechy wykształcają się z jednej cechy, wspólnej dla obu grup. Taka sytuacja ma najczęściej miejsce, gdy ostatni wspólny przodek, zwykle znacznie bliższy, niż w przypadku konwergencji, posiadał daną cechę, predestynującą do powstania nowej. Simon Conway Morris używa jednak określenia konwergencji dla obu tych zjawisk ewolucyjnych.

Konwergencje pojawiają się najczęściej w odpowiedzi na ograniczenia, jakie są nakładane na życie przez właściwości fizyczne i chemiczne jego elementów budulcowych oraz w odpowiedzi na podobne wymagania adaptacyjne ze strony środowiska. Simon Conway Morris uważa także, że rozwiązania konwergentne są konieczne i pojawią się zawsze, kiedy będzie to wymagane przez środowisko.

Szkielety i kwiaty

Przykład szkieletu zwierząt jest interesujący dla Simona Conwaya Morrisa nie tylko ze względu na ograniczenia, jakie *φύσις* nakłada na rozwiązania z tym związane, ale też przez to, że natura wykorzystuje dane jej możliwości w pełni, prowadząc tym samym do ogromnej liczby konwergencji. Można to odczytać jako przesłankę dla ogólniejszego stwierdzenia, że natura wykorzystuje wszystkie możliwości, jakie posiada i które sprawdzają się w działaniu.³⁵

Posiadane i wykorzystane możliwości można wyrazić w postaci matrycy, w której przedstawia się ilość reprezentacji określonej kombinacji. Tabela 1. przedstawia taką matrycę kombinacji różnych typów szkieletu. Tabela ta powstała na podstawie pracy „The Skeleton Space:

³⁵ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 117.

A Finite Set of Organic Designs”,³⁶ będącej próbą ujęcia wszystkich typów zwierzęcych szkieletów. Typy szkieletów są podzielone na siedem kategorii, ze względu na umiejscowienie (1), sztywność (2), ilość elementów (3), kształty elementów (4), sposób rośnięcia (5), miejsce powstania (6) oraz sposób łączenia (7). Każda z nich posiada od 2 do 4 typów rozwiązań, dając łącznie 186 możliwych kombinacji. Jak widać z tabeli, wszystkie kombinacje, poza tymi rażąco niepraktycznymi (np. trudno, aby wewnętrzny szkielet był wymienny) i nielogicznymi (np. jednoelementowy szkielet nie może posiadać stawów), zostały przez naturę wykorzystane.

Większość z możliwych rozwiązań w kwestii budowy szkieletu została wykorzystana przez życie niedługo po tym, jak zwierzęta wyszły na ląd, a więc we wczesnym kambrze.³⁷ Powstały wtedy wszystkie spotykane obecnie rozwiązania wśród szkieletów zewnętrznych, choć często w jeszcze dość prymitywnej formie, która dopiero w trakcie dalszej historii uległa „wygładzeniu” dzięki ewolucji genów, sterujących kształtem części szkieletu.³⁸

Innym przykładem wykorzystanych przez naturę możliwości są kwiaty. Ledyard Stebbins³⁹ przeprowadził analizę możliwych kombinacji różnych rozwiązań budowy kwiatów. Wyznaczył osiem par pojawiających się cech, pokazując przy tym, że spośród 256 możliwych ich kombinacji wykorzystywane przez naturę jest jedynie 86. Pozostałe kombinacje są albo niemożliwe, albo rażąco nieoptymalne. Ponadto spośród 438 przeanalizowanych rodzin roślin okrytonasiennych aż 200 wykorzystuje jedynie ok. 20 kombinacji rozwiązań w obrębie na-

³⁶ R.D.K. THOMAS and W-E. REIF, „The Skeleton Space: A Finite Set of Organic Designs”, *Evolution* 1993, vol. 47, no. 2, s. 341-360.

³⁷ Por. R.D.K. THOMAS, Rebecca M. SHEARMAN and Graham W. STEWART, „Evolutionary Exploitation of Design Options by the First Animals with Hard Skeletons”, *Science* 2000, vol. 288, s. 1241-1242 [1239-1242].

³⁸ Por. Graham E. BUDD, „Does Evolution in Body Patterning Genes Drive Morphological Change – or Vice Versa?”, *BioEssays* 1999, vol. 21, no. 4, s. 326-332.

³⁹ G. LEDYARD STEBBINS, Jr., „Natural Selection and the Differentiation of Angiosperm Families”, *Evolution* 1951, vol. 5, no. 4, s. 299-324.

Tabela 1. Matryca szkieletów

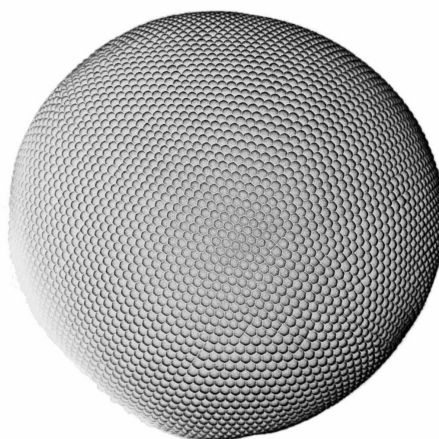
Kategorie	1	2	3	4	5	6	7															
Typy	wewnętrzny	zewewnętrzny	giętki	szttywny	jednoelementowy	dwuelementowy	wieloelementowy	pręt	plyta	stożek	bryła	przyrastający	szeregowy	wymienny	przekształcany	na miejscu	prefabrykacja	brak kontaktu	nachodzenie	stawy	zespolenie	
wewnętrzny	-																					
zewewnętrzny	-	-																				
giętki	-	-	-																			
szttywny	-	-	-	-																		
jednoelementowy	-	-	-	-	-																	
dwuelementowy	-	-	-	-	-	-																
wieloelementowy	-	-	-	-	-	-	-															
pręt	-	-	-	-	-	-	-	-														
plyta	-	-	!	!					-													
stożek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
bryła	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
przyrastający	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
szeregowy	-	-	!	!	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
wymienny	!	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
przekształcany	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
na miejscu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
prefabrykacja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	!	-				
brak kontaktu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
nachodzenie	-	-	!	!	-	-	-	-	!	!	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
stawy	-	-	!	!	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
zespolenie	-	-	!	!	-	-	-	-	-	-	-	-	-	!	-	-	-	-	-	-	-	-
Występowanie:																						
- Powszechne																						
- Częste																						
- Rzadkie																						
! Kombinacja niemożliwa																						

leżących do nich gatunków. Wyjaśnia to wiele konwergencji w budowie kwiatów – różne grupy roślin wielokrotnie dochodziły do tych samych rozwiązań ze względu na ich wysoką efektywność pomimo tego, że do określonych sposobów przekazywania męskich gametofitów i rozsiewania nasion prowadzą często długie szeregi ewolucyjnych adaptacji.

Wzrok

Oдноśnie konwergencji, będącej rezultatem ograniczeń molekularnych, dobrym przykładem jest biochemia widzenia. Odbieranie bodźców wzrokowych jest złożonym procesem, który da się podzielić na trzy podstawowe etapy: zbieranie i skupianie światła, przekształcanie fotonów w sygnał nerwowy oraz interpretacja sygnałów przez układ nerwowy.

Zbieranie światła związane jest z budową oka. W przyrodzie znane jest wiele rozwiązań w kwestii budowy oczu, z czego trzy są najpowszechniejsze: plamka oczna, oko proste i oko złożone. Plamka oczna to proste zgrupowanie światłoczułych pigmentów w obrębie komórki, które pozwala prostym organizmom na reagowanie na poziom oświetlenia w otoczeniu. Jest to także prekursor pozostałych rozwiązań.



Rys. 1. Oko złożone kryla antarktycznego (negatyw). Wykorzystano na warunkach licencji GNU Free Documentation License w wersji 1.2 lub nowszej, opublikowanej przez Free Software Foundation. Źródło: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Krillseyekils.jpg> (03.06.2008).

Oko złożone (Rys. 1.), znane najlepiej z pozbawionego emocji spojrzenia owadów, jest zasadniczo zwielokrotnieniem plamki ocznej. Budowa takiego oka opiera się na zgrupowaniu fotoreceptorów tak, że każdy z nich jest pod niewielkim kątem do sąsiednich i odbiera światło, wpadające pod kątem zbliżonym do równoległego do osi widzenia, co łącznie pozwala na odbiór światła z określonego pola widzenia, zależnego od ilości tak ułożonych receptorów. Rozwiązanie takie ewoluowało wielokrotnie u bezkręgowców. Wiele przykładów konwergencji takiego aparatu widzenia można znaleźć wśród wieloszczetów,⁴⁰ gdzie pełni on rolę raczej zaawansowanego alarmu optycznego niż narzędzia do generowania obrazu, a to ze względu na zarówno niski poziom złożoności oczu, jak i prostą budowę układu nerwowego, potrzebnego do interpretacji bodźców z tych narządów. Bardziej wyrafinowane formy przybiera u owadów i skorupiaków. U obu tych grup ewoluowało też niezależnie.

Oko proste, składające się, ogólnie mówiąc, z soczewki skupiającej światło i siatkówki, która przekształca światło na sygnały elektryczne, jest dobrze znane wszystkim widzącym ludziom. Choć jest bardzo wyrafinowanym narzędziem wraz ze swą zdolnością do ogniskowania soczewki, regulacją ilości wpadającego doń światła, czy mechanizmami korekcji aberracji chromatycznej i sferycznej, to nie jest unikalne dla kręgowców. Ewolucja doprowadziła do wykształcenia takiej konstrukcji wielokrotnie. Najlepszym przykładem są wysokorozwinięte głowonogi, jak kałamarnice i ośmiornice. Ich oczy są przykładem wyjątkowej konwergencji, choć nie są identyczne z oczami kręgowców. Przede wszystkim powstają w inny sposób. U ludzi i innych kręgowców oczy są wypustką układu nerwowego, która w okresie rozwoju embrionalnego wyłania się z czaszki. Natomiast u głowonogów oczy są wytworem ektodermy, która u kręgowców przekształca się w skórę i jej wytwory, i dopiero wtórnie łączą się z układem nerwowym. Różnice dotyczą też budowy. W związku ze sposobem roz-

⁴⁰ Por. Kirk FITZHUGH, „A Systematic Revision of the Sabellidae-Caobangiidae-Sabellongidae Complex (Annelida, Polychaeta)”, *Bulletin of the American Museum of Natural History*, New York 1989, no. 192, s. 1-104.

woju embrionalnego, siatkówka w oku kręgowców jest przykryta siatką nerwów; skutkuje to też istnieniem plamki ślepej w oku, gdzie nerwy przebijają się przez siatkówkę i dno oka, aby połączyć się z mózgiem. Taki problem nie występuje u głowonogów, które siatkówkę posiadają nabudowaną na wiązkach nerwów.

Te skomplikowane mechanizmy mimo pewnych różnic posiadają uderzające podobieństwo. Obejmuje ono nie tylko schemat budowy oka, ale i synchronizację jego ruchów z systemem rozpoznawania pozycji ciała (który poprzez statocysty u głowonogów i błędnik u kręgowców także podlega pewnym konwergencjom)⁴¹ oraz samą interpretacją bodźców w centralnym układzie nerwowym. Na tym się przykłady konwergencji oczu prostych nie kończą. Niezależnie takie rozwiązanie pojawiło się u pajaków, a także u grupy *Alciopidae* z gromady wieloszczetów,⁴² oraz co najmniej trzykrotnie u ślimaków.⁴³

Oczy soczewkowe są wyraźnie rozlegle rozsiane w kategoriach ich dystrybucji w świecie zwierząt i tworzą oczywisty kontrast w porównaniu z oczami złożonymi, które są typowe wśród stawonogów. Przykład tego rodzaju oczu występuje u niektórych pajaków, w tym z rodzaju *Dinopis*. Pająki te posiadają szczególną technikę łowiecką – wpierv plotą niewielką kwadratową sieć, a potem chwytają ją między dwie pary przednich kończyn. Sieć jest utworzona z lepkich i rozciągliwych nici. Pająk zawisa wtedy na nici nad ziemią. Gdy wyczuje ofiarę, rozciąga swą sieć, gwałtownie się opuszcza narzucając sieć na ofiarę. Podczas powrotnej wspinaczki, sieć jest owijana wokół ofiary. Pająk prowadzi nocny tryb życia i jak inni członkowie swojej systematycznej rodziny posiada osiem oczu. U *Dinopis* jedna para z tych oczu, ulokowana z przodu na środku wysokości głowy, jest niezwykle

⁴¹ Por. David SANDEMAN, „Homology and Convergence in Vertebrate and Invertebrate Nervous Systems”, *Naturwissenschaften* 1999, vol. 86, no. 8, s. 382 [378-387].

⁴² Por. George WALD and Stephen RAYPORT, „Vision in Annelid Worms”, *Science* 1977, vol. 196, no. 4297, s. 1434-1439.

⁴³ Por. K.M. WILBUR and C.M. YONGE, **Physiology of Mollusca**, vol. II, Academic Press, London 1966, s. 455-521 (cyt. za: CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 154).

duża. Oczy te zawierają kubkową siatkówkę i pokrywające ją soczewki, gdzie soczewki są osadzone w tęczówce. Jest interesujące, że konsystencja soczewek zmienia się przez całą ich długość, zaczynając od żelowanej na przedzie, kończąc na zupełnie twardej z tyłu. Prawdopodobnie służy to, w połączeniu z siatkówką, korekcji aberracji sferycznej. Mimo to oko tego pająka nie zapewnia dobrego obrazu – jego funkcją jest zbieranie światła, co jest bardzo przydatną cechą, biorąc pod uwagę nocny tryb życia pająka. Podobne rozwiązania występują u oczu pająków skaczących, lecz tutaj nacisk położony jest w znacznie większym stopniu na tworzeniu obrazu, do tego stopnia, że są one w stanie rozpoznać obrazy wideo swych ofiar i partnerów. W dodatku u tych pająków siatkówka posiada wyjątkowo gęstą, czterowarstwową strukturę, charakteryzującą się wysoką szczegółowością przekazywanego obrazu. Ta wielowarstwowa siatkówka umożliwia także wizję dychromatyczną, o szczytach absorpcji przy 520nm – zieloną i 360nm – ultrafioletową,⁴⁴ choć późniejszy artykuł wskazuje na wrażliwość siatkówki tych pająków także na kolor czerwony.⁴⁵ Pająki te, jak na swoje rozmiary, posiadają wyjątkową ostrość widzenia. Wystąpienie pojedynczych oczu, praktycznie soczewkowych, jest zaskakujące, ponieważ większość stawonogów, do których należą też pająki, wykorzystuje oczy złożone, jak też ewidentnie czynili to przodkowie pająków. Pozostaje otwartym pytaniem, czemu taka linia rozwoju ewolucyjnego, prowadząca do oczu prostych z przekształconych oczu złożonych, nie została podjęta więcej razy.

Znakiem szczególnym zwierząt, które wyewoluowały oko soczewkowe, czy to głowonogi, ślimak heteropodowy, kostkowce, czy nawet pająki, wydaje się to, że wszystkie one są aktywne, mobilne i zwykle

⁴⁴ Por. A.D. BLEST, R.C. HARDIE, P. MCINTYRE and D.S. WILLIAMS, „The Spectral Sensitivities of Identified Receptors and the Function of Retinal Tiering in the Principal Eyes of a Jumping Spider”, *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 1981, vol. 145, s. 227 [227-239].

⁴⁵ Por. Alan G. PEASLEE and Graeme WILSON, „Spectral Sensitivity in Jumping Spiders (Araneae, Salticidae)”, *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 1989, vol. 164, s. 359 [359-363].

drapieżne. Wyjątek stanowią dwa przykłady wśród ślimaków z rodzajów *Strombus* i podbrzeżki. *Strombus* jest wolno poruszającym się, roślinożernym ślimakiem. Opisując oko tego gatunku, Mike Land nie stara się ukryć zaskoczenia, pisząc „do czego używane jest to oko, w odróżnieniu od innych prostszych grup, i do czego wydaje się być zdecydowanie zaawansowane ponad potrzeby, pozostaje tajemnicą”.⁴⁶ Oko to charakteryzuje się wysoką aktywnością elektryczną w reakcji na bodźce świetlne, co przekłada się na ilość informacji przez nie dostarczanych. *Strombus* jest grupą tropikalną, która osiągnęła spory sukces. Jej przedstawiciele są szczególnie zwinni w unikaniu zagrożeń ze strony swojego środowiska, w postaci ryb, krabów i ślimaków wiercących. Kaustov Roy opisuje, że uciekając „generują serię bardzo nagłych skoków z dala od swego łowcy [...] ukazując przy tym najbardziej wyspecjalizowane i efektywne reakcje ucieczkowe wśród znanych gastropodów”.⁴⁷ Prawdopodobnie więc wykształcenie tak złożonego oka przez grupę *Strombus* zapewniło jej przetrwanie.

Druga ze wspomnianych grup ślimaków, podbrzeżki, także charakteryzuje się zdolnością widzenia dalece lepszą od innych ślimaków. Ich sprawność jest ewidentna na podstawie wielu testów, które ukazują, na przykład, że różne gatunki *Littorina* potrafią orientować się w nocy, przypuszczalnie przez rozpoznanie sylwetek,⁴⁸ oraz są dobre w nawigacji zarówno w dzień, jak i wśród światła gwiazd. Prawdopodobnie środowisko życia tego ślimaka, który dostojnie przemieszcza się po terenie odpływów, dostarcza wyjaśnienia, dodatkowo biorąc pod uwagę zdolność rozpoznania określonych kształtów, szczególnie łodyg roślin. A to z tego powodu, że gdy przychodzi przypływ i wra-

⁴⁶ H. AUTRUM (ed.), **Handbook of Sensory Physiology, vol. VII/6B: Invertebrate Visual Centers and Behavior I**, Springer, Berlin 1981 (słowa: M.F. LAND, „Optics and Vision in Invertebrates”, s. 515 [471-592]; cyt. za: CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 157).

⁴⁷ KAUSTOV ROY, „The Roles of Mass Extinction and Biotic Interaction in Large-Scale Replacements: A Reexamination Using the Fossil Record of Stromboidean Gastropods”, *Paleobiology* 1996, vol. 22, no. 3, s. 441 [436-452].

⁴⁸ P.V. HAMILTON and M.A. WINTER, „Behavioural Responses to Visual Stimuli by the Snail *Littorina irrorata*”, *Animal Behaviour* 1982, vol. 30, no. 3, s. 752 [752-760].

cają drapieżniki, *Littorina* może wspiąć się na łądygę uzyskując tym samym relatywne bezpieczeństwo. Taka zdolność do rozpoznawania kształtów, jaką dają oczy proste, jest prawdopodobnie istotnym elementem wyjaśniającym spory sukces podbrzeżków.

Nici białkowe

Pająki wyróżniają się swoją zdolnością wydzielania bardzo gęstych zoli białkowych poprzez wąskie ujścia kądziółków przednich, przędąc w ten sposób niemal natychmiast wysychającą powiewną nić jedwabną. Przyjmuje się, że kądziółki są zmodyfikowanymi kończynami, jednak pochodzenie samych gruczołów przednich pozostaje wciąż zagadką.⁴⁹ Prawdopodobnie powstały przy gruczołach płciowych, gdzie produkowały materiał ochronny dla spermy i jaj; taką też rolę pełnią do tej pory u wszystkich pajaków. Jednak nić pajęcza jest znana przede wszystkim w postaci pajęczyny, choć jest też wykorzystywana na wiele innych sposobów (jak u wspomnianych pajaków z rodzaju *Dinopis*, które chwytają swoją ofiarę rzucając na nią sieć, stworzoną z lepkich włókien). Właściwości mechaniczne pajęczej nici, nie tylko jej wytrzymałości, są niezwykle. Krzyżakowate, rodzina dużych pajaków, licząca ponad trzy tysiące gatunków, potrafią wydzielać kilka rodzajów włókien, każde ze specyficzną kombinacją właściwości mechanicznych (takich jak wytrzymałość na rozciąganie, twardość, lepkość etc.), które czynią je odpowiednimi dla różnych fragmentów sieci. Właściwości fizyczne wywodzą się z zachowania białek włókna, zwanych fibroinami, i kluczowej roli kilku aminokwasów, szczególnie alaniny i glicyny. Białka te są kodowane przez określone geny, które podlegają presji selekcyjnej, utrwalającej pewne kombinacje aminokwasów, prawdopodobnie niezmiennie od milionów lat. Ich ewolucja odbyła się poprzez „selekcję właściwości funkcjonalnych specyficznych dla ekologicznych celów, do których zostały uży-

⁴⁹ Jeffrey W. SHULTZ, „The Origin of the Spinning Apparatus in Spiders”, *Biological Reviews* 1987, vol. 62, s. 89 [89-113].

te”.⁵⁰ Wypowiedź ta została wygłoszona przy okazji omawiania odbijania światła ultrafioletowego przez pajęczą sieć, co determinuje widoczność sieci przez owady. Według Catherine Craig, autorki cytowanego artykułu, w ten sposób można wyjaśniać olbrzymi sukces ewolucyjny pająków, szczególnie tych tworzących pajęczyny. Catherine Craig sugeruje, że te udoskonalenia, między innymi zmniejszenie widoczności sieci przez potencjalne ofiary, doprowadziły do 37-krotnego wzrostu liczby gatunków pająków, jak również zasiedlenia nowych środowisk.

Produkcja nici jest nieodzowna dla egzystencji pająków, lecz występuje także u innych zwierząt. Znanych jest wiele innych przykładów produkcji włókien u innych stawonogów. Do nich należy oczywiście jedwabnik, którego kokon jest źródłem surowego jedwabiu dla tkanin (środkowa warstwa kokonu jest uprzedzona z pojedynczej nici, która po rozwinięciu osiąga od 300 do 900 metrów). Ta i inne rodzaje włókien jedwabnych są konwergentne wobec włókien pająka.⁵¹ W pewnym stopniu różnice między tymi włóknami, takie jak wydzielanie z różnego rodzaju gruczołów i ich różne funkcje (np. jako linie, po których spuszczają się larwy w razie niebezpieczeństwa), są równie interesujące, jak podobieństwa między nimi. Tylko pająki budują duże i dobrze zorganizowane pajęczyny, ale wiele owadów używa nici do łapania zwierzyny. W Nowej Zelandii i Australii żyją na przykład luminescencyjne larwy ziemiorkowatych (*Arachnocampa*, rodzina muchówek), które wabią ofiarę swym światłem wzdłuż pionowej lepkiej nici. Jest to zdolność, którą spotyka się także u innych much. Jedwabne sieci są także wykorzystywane przez owady w stadium larwalnym w wodnych środowiskach, wśród takich grup jak ochotkowate czy chruściki. Zwykle tworzą bardzo drobną siatkę z włókien, dostosowaną do wylapywania drobnego planktonu. Niektóre typy chruścików

⁵⁰ Catherine L. CRAIG, Gary D. BERNARD and Jonathan A. CODDINGTON, „Evolutionary Shifts in the Spectral Properties of Spider Silk”, *Evolution* 1994, vol. 48, no. 2, s. 293 [287-296] (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 115).

⁵¹ Catherine L. CRAIG, „Evolution of Arthropod Silks”, *Annual Review of Entomology* 1997, vol. 42, s. 231 [231-267].

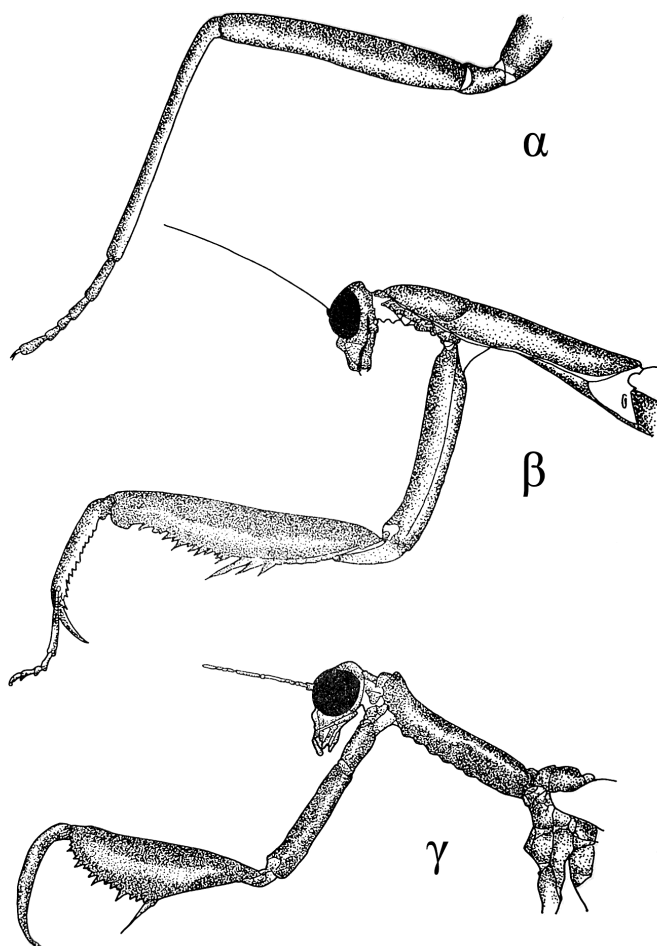
konstruuja swe sieci, które są nie tylko zaskakująco duże (jak na rozmiar larwy), ale też dostosowane do chwytania ofiar taktyką „siedź i czekaj”. Taki sposób chwytania ofiary występuje tam, gdzie zagęszczenie pokarmu zawieszzonego w wodzie jest zbyt niskie, by pozyskiwać je poprzez zwykłą filtrację.

Także inne owady przędą białkowe nici, a nici niektórych z nich posiadają organizację molekularną podobną do tej w pajęczej nici. Interesującym tego przykładem są mrówki z rodzaju *Oecophylla*. Mrówki te budują gniazdo poprzez łączenie ze sobą liści o wystarczającej giętkości, aby umożliwić powstanie struktury podobnej do namiotu. Gdy liść jest utrzymywany w odpowiedniej pozycji, pozostali robotnicy trzymają larwy, których głowy wyposażone są w gruczoły przędne. Trzymane w szczękach robotnic, wyprostowane larwy zostawiają małą łatkę włókna, po czy są transportowane na drugą stronę, gdzie obrócone podczas transportu włókno zostaje przyczepione. Przy okazji konwergentnych zachowań warto zauważyć, że nie tylko mrówki konstruuja namioty – czynią tak także pewne tropikalne nietoperze, choć te akurat nie wykorzystują do tego włókien. Są konstruowane przez samce w celu ochrony swojego haremu.

Budowa ciała

Zjawisko konwergencji nigdzie nie przejawia się tak wyraźnie, jak w planach budowy ciała. Simon Conway Morris przytacza tu wiele przykładów podobnego dostosowania budowy kończyn bądź całych organizmów do danych warunków wśród różnych grup roślin i zwierząt. Wszystkie one są świadectwem tego, że w określonych sytuacjach najlepiej sprawdza się tylko kilka, często nawet tylko jedno rozwiązanie.

Dostosowanie kończyn do różnych środowisk prowadzi do wielu oczywistych konwergencji. Przykładem takiego wspólnego przystosowania są kończyny ssaków i owadów kopiących i prowadzących życie pod powierzchnią ziemi. Zwierzęta niejednokrotnie schodziły pod zie-



Rys. 2. Przykład konwergentnej ewolucji między kończynami owadów. α : typowa kończyna przednia owada, β : kończyna modliszki, γ : kończyna owada z rodziny *Mantispidae*. Źródło: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 129.

mię, stąd liczba takich konwergencji wśród żyjących i poznanych wymarłych zwierząt w zasadzie wyklucza możliwość przypadku. Życie pod ziemią, które wymaga aktywnego poszerzania swojej przestrzeni

życiowej i zdobywania pokarmu poprzez ciągle kopanie tuneli, wymagało wykształcenia kończyn zdolnych do rozgarniania ziemi i kamieni w efektywny sposób. Przystosowane do tego kończyny przednie, charakterystycznie poszerzone i wyposażone w mocne pazury, można spotkać nie tylko u kretów, ale i u owadów z rodziny turkuciowatych, oraz wymarłych torbaczy Ameryki Południowej.

Kolejny przykład konwergencji wśród kończyn stanowi podobieństwo pomiędzy pierwszą parą kończyn kroczych modliszek oraz owadów z rodziny *Mantispidae*. Obie powstały przez modyfikację typowej pary kończyn przednich owada (Rys. 2), jednak należą do odlegle spokrewnionych grup owadów, kolejno modliszkowatych i sieciarek. Podobieństwo drapieżnych kończyn jest uderzające, a są jeszcze świadectwa na to, że taka analogia wyewoluowała niezależnie po raz trzeci u innej grupy owadów – *Rhachiberothidae*.⁵² Należy także zauważyć, że podobieństwa modliszek i *Mantispidae* rozciągają się także na to, jak uformowały się ich oczy, oraz na rozciągliwą „szyję”.

Pozostając przy temacie owadów, Simon Conway Morris wskazuje na wiele innych przykładów konwergencji, z których niektóre (oczy złożone, zachowania społeczne, oraz nici białkowe) zostały już omówione w tym rozdziale. Do tego Autor wymienia jeszcze systemy stabilizacji lotu oraz strukturę układów oddechowych. Podobnie jest ze skorupiakami, gdzie przykładem konwergencji jest powtórzona ewolucja pektynowego szponu.⁵³ Innym przykładem jest powtarzająca się emergencja krabopodobnych form wśród dziesięcionogich skorupiaków. Morrison i inni⁵⁴ proponują następujące wyjaśnienia: „Jednym

⁵² U. ASPÖCK and M.W. MANSELL, „A Revision of the Family Rhachiberothidae Tjeder, 1959, stat.n. (*Neuroptera*)”, *Systematic Entomology* 1994, vol. 19, no. 3, s. 181-206. Tamże, na temat *Rhachiberothidae*: „Zakładamy, że drapieżne kończyny przednie wyewoluowały niezależnie wobec tych u rodziny *Mantispidae*. Równoległa ewolucja u spokrewnionych grup taksonomicznych jest z pewnością częstsza, niż się powszechnie przyjmuje, i całkiem naturalna ze względu na podobną pulę genów” (s. 204).

⁵³ Por. Dale TSHUDY and Ulf SORHANNUS, „Pectinate Claws in Decapod Crustaceans: Convergence in Four Lineages”, *Journal of Paleontology* 2000, vol. 74, no. 3, s. 474-486.

⁵⁴ C.L. MORRISON, A.W. HARVEY, S. LAVERY, K. TIEU, Y. HUANG and C.W. CUNNINGHAM,

z możliwych wyjaśnień jest to, że krabopodobna forma reprezentuje kluczową innowację, oznaczającą przewagę adaptacyjną. Hipoteza ta jest poparta sukcesem krabopodobnych przedstawicieli grupy *Brachyura*. Jednak wśród pozostałych grup, ich podłużni przedstawiciele są liczniejsi od swych krabopodobnych krewnych. [...] Drugim możliwym wyjaśnieniem tej równoległej ewolucji do krabopodobnej formy jest pewien wspólny mechanizm rozwojowy, leżący u podstaw ich ewolucji. Zasadniczo morfologiczna przemiana z pierwotnego krewetkowego czy homarowego kształtu pociąga za sobą jedynie poszerzenie karapaksu i skrócenie spodniej części pancerza [będąc tym samym łatwo dostępną, ewolucyjną odpowiedzią na zmianę środowiska]”.⁵⁵ Jak zauważa Conway Morris, „przykład ten jest szczególnie ciekawy, ponieważ, w przeciwieństwie do wielu innych, jeśli nie wszystkich przykładów konwergencji, gdzie dane zestawienie posiada oczywistą funkcjonalność jako odpowiedź na konkretne wyzwanie adaptacyjne, w powtarzalnej emergencji krabopodobnej formy nie ma żadnego oczywistego związku z określonym sposobem życia czy charakterem środowiska”,⁵⁶ choć w niektórych przypadkach może być to związane z przeniesieniem się do nowego środowiska płytkich wód przybrzeżnych.

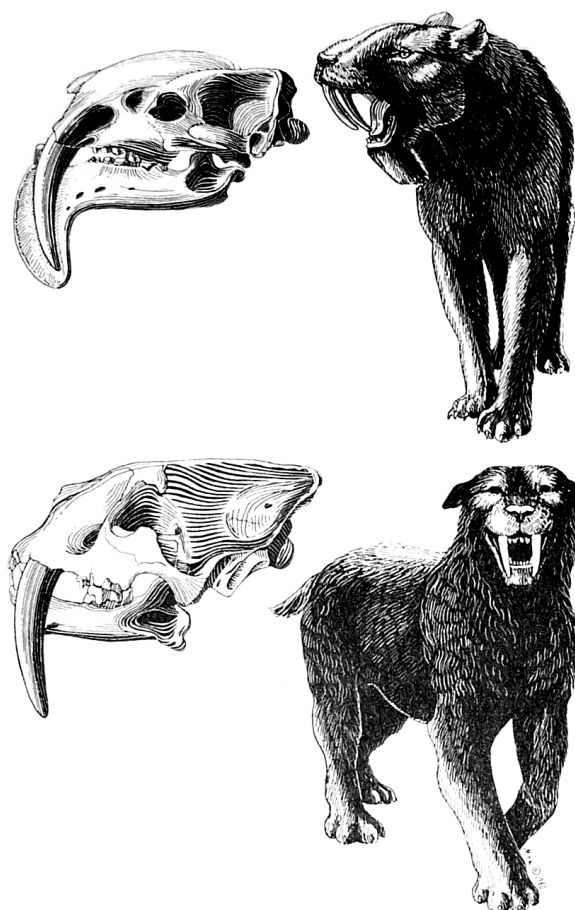
U kotów łożyskowych (szabłożeńnych kotowatych) i grupy południowoamerykańskich torbaczy z rodzaju *Thylacosmilus* doszło do konwergentnej ewolucji szabłowatych kłów (Rys. 3.). Istniejące świadectwa sugerują, że nawet wśród kotów łożyskowych szabłożeńne przystosowania wyewoluowały kilkakrotnie.⁵⁷ Szabła workowatych *Thylacosmilus* przejawiała wiele cech, które dawały jej przewagę nad analogiami u łożyskowców, w tym posiadanie ochronnej pochwy

„Mitochondrial Gene Rearrangements Confirm the Parallel Evolution of the Crab-like Form”, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2002, vol. 269, s. 345-350.

⁵⁵ MORRISON *et al.*, „Mitochondrial Gene Rearrangements...”, s. 349.

⁵⁶ CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 128.

⁵⁷ POR. A. TURNER and M. ANTÓN, *The Big Cats and Their Fossil Relatives: An Illustrated Guide to Their Evolution and Natural History*, Columbia University Press, New York 1997 (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 130).



Rys. 3. Konwergencja zębów torbaczy z rodzaju *Thylacosmilus* (u góry) i kotów szablozębnych. Źródło: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 130.

(choć łożyskowy szablozębny *Barbourofelis* także charakteryzuje się podobnym rozwiązaniem), mechanizm samoostrzący (przypuszczalnie był odpowiedzią na określone wytwory poroża ówczesnych zwierząt) i głębsze ulokowanie w czaszce, co przypuszczalnie służyło bardziej bezpiecznemu umocowaniu kła.

Conway Morris dodaje, że pomimo przejawu szeregu konwergencji żadna z grup nie uniknęła różnic w rozwoju ewolucyjnym. Warto też zaznaczyć, że wykształcenie tych masywnych kłów, które raczej były przeznaczone do cięcia niż do wbijania ich w ciała ofiar, nie powinno prowadzić do wnioskowania o wspólnych przystosowaniach łowieckich. Autor **Life's Solution** przytacza słowa Harolda Bryanta i C. Churchera: „Różne anatomie zębów sugerują, że niezależnie od podobieństw funkcjonalnych, dokładne adaptacje się różniły. [Taktyki] łowieckie były z pewnością różnorodne”.⁵⁸ Ten przykład szablozębności jest tylko jedną z wielu konwergencji pomiędzy łożyskowcami a torbaczami. Cytowany już John Kirsh wskazuje także na bardziej ogólne konwergencje między tymi grupami zwierząt, i – jak to podkreśla Conway Morris – słusznie zaznacza, że te podobieństwa są godne zainteresowania tylko, jeśli okażą się więcej niż powierzchowne.

Torbacze współczesne posiadają niewielu przedstawicieli. Jednak przed połączeniem się Ameryk Przesmykiem Panamskim Amerykę Południową zamieszkiwało wielu różnorodnych przedstawicieli tego nadrzędu. Pozostając w jego obrębie, interesujące jest to, że torba, a więc cecha, która nadała nazwę tej grupie, wyewoluowała w jej obrębie kilkakrotnie.⁵⁹ Być może więc jest to konieczne rozwiązanie ewolucyjne na etapie, kiedy ssaki nie potrafią jeszcze rodzic dostatecznie rozwiniętego potomstwa. Rozważając podobieństwa między torbaczami a łożyskowcami, Conway Morris wymienia przykład konwergencji w strukturze mózgu obu grup. W szczególności dotyczą one obróbki danych sensorycznych, pochodzących ze stereoskopowego wzroku i wąsów. Przytaczani przez Conwaya Morrisa autorzy wskazują na uderzającą konwergencję w co najmniej trzech regionach specjalizacji mózgu, co ma istotne znaczenie w późniejszym omawianiu emergencji inteligencji.

⁵⁸ Harold N. BRYANT and C.S. CHURCHER, „All Sabretoothed Carnivores Aren't Sharks”, *Nature* 1987, vol. 325, s. 488 (cyt. za: CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 364).

⁵⁹ Por. John A.W. Kirsch, „The Six Per Cent Solution: Second Thoughts on the Adaptedness of the *Marsupialia*”, *American Scientist* 1977, vol. 65, no. 3, s. 276-288 (cyt. za: CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 130).

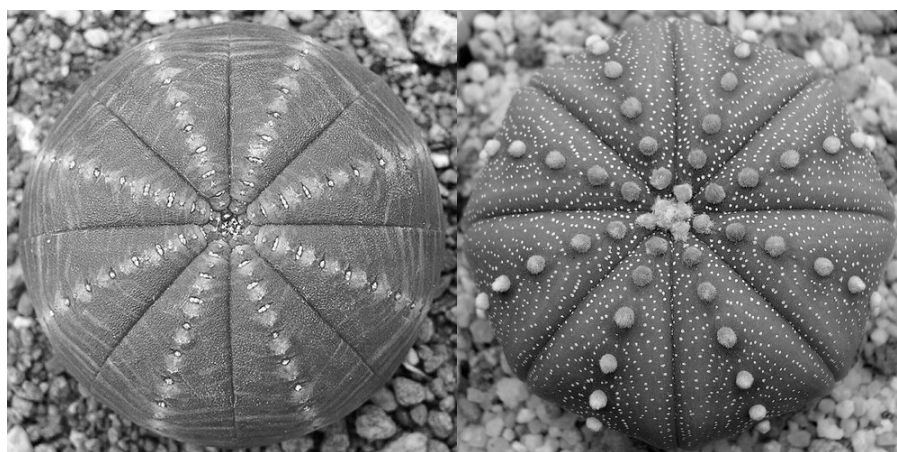
Warto też zauważyć, że wiele konwergencji można znaleźć wśród samych łożyskowców. Szersze porównanie między adaptacjami radiacyjnymi ssaków łożyskowych, które wywodzą się z dwóch makroregionów, Laurazji (Azja, Europa i Ameryka Północna) oraz Afryki, określa szereg podobieństw. W obu tych złożonych supergrupach, określanych odpowiednio Laurasiatheria i Afrotheria, w wielu równoległych formach biologicznych powstały zwierzęta kopytne, wodne i ziemnowodne, owadożerne kopacze, a nawet odpowiednik mrówkojada (mrównik). Jeszcze bardziej intrygujące przykłady konwergencji wśród ssaków pochodzą z porównania między ewolucyjnymi drogami rozwoju zwierząt kopytnych i ścigających je drapieżników. Paleobiolog R.T. Bakker zauważa, że aż w sześciu różnych liniach ewolucji cała seria cech anatomicznych (jak redukcja przeciwległego palca, wydłużenie kości długich w łapach, ale skrócenie kości palców) podąża „tymi samymi morfologicznymi ścieżkami”. Podsumowuje, że „te niezwykle kwestie powtarzającego się podobieństwa i konwergencji [...] są potężnym argumentem na to, że obserwowalne długoterminowe zmiany w zapisie kopalnym są efektem kierunkowej selekcji naturalnej, a nie przypadkowego spaceru przy pomocy dryfu genetycznego”.⁶⁰

W różnych kontekstach modliszki i szablozębne są interesującymi przykładami konwergencji, jeśli chodzi o przewagę nad swymi ofiarami. Sposób polowania ma jeszcze szersze obszary podobieństw. W opracowaniu, dotyczącym zróżnicowania pomiędzy rybami słodkowodnymi,⁶¹ Kirk Winemiller zwrócił uwagę na powtarzający się wzorzec tego, co nazywa konwergencją ekomorficzną. Jednym z przykładów jest powtarzająca się ewolucja morfologii węgorzowatej z odrębnych filogenetycznie źródeł, jak to widać u neotropikalnych węgorzy bagiennych i afrykańskiego węgorza kolczastego. W kwestii sposobu

⁶⁰ D.J. FUTUYMA (ed.), *Coevolution*, Sinauer, Sunderland, Massachusetts 1983 (słowa: R.T. BAKKER, s. 354 [350-382]; cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 132).

⁶¹ Por. Kirk O. WINEMILLER, „Ecomorphological Diversification in Lowland Freshwater Fish Assemblages from Five Biotic Regions”, *Ecological Monographs* 1991, vol. 61, no. 4, s. 343-365.

polowania, szczególnie przy drapieżnikach atakujących „z wysokości”, także występują przykłady konwergencji na różnych kontynentach, tym razem w kierunku oszczepowatej morfologii, i to ponownie posiadające jedynie dalece spokrewnionych przodków. Wobec tych przykładów konwergencji przestają zaskakiwać inne przykłady powtarzanej ewolucji. Dotyczą one podobnych wzorców uzębienia, jak w przypadku morskich karpiowatych, czy podobne specjalizacje pokarmowe wśród środkowoafrykańskich piełęgnic endemicznych. Ryby są więc także bogatym źródłem wiedzy o konwergencji.



Euphorbia obesa

Astrophytum asterias

Rys. 4. Przykład konwergencji wśród sukulentów. *Euphorbia obesa* (wykorzystano na warunkach licencji GNU Free Documentation License w wersji 1.2 lub nowszej, opublikowanej przez Free Software Foundation. Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/File:E_obesa_symmetrica_ies.jpg [05.05.2009]) i *Astrophytum asterias* (wykorzystano na warunkach licencji Attribution ShareAlike 2.5, opublikowanej przez Creative Commons. Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Astrophytum_asterias1.jpg [05.05.2009]) są dalece spokrewnione, jednak wskutek podobnych warunków życia przybrały podobne formy.

Całkiem innym przykładem konwergencji, związanych z dostosowaniem się do środowiska, są nektarniki i ćmy fruczaki gołąbki (*Ma-*

croglossum stellatarum). Te ptaki i ćmy, żyjące w cieplejszych obszarach Europy i Afryki, charakteryzują się tak dalece idącym podobieństwem, że można je łatwo ze sobą pomylić. Oba są podobnej wielkości, kolorów, posiadają podobnie uformowany narząd, służący spijaniu nektaru z kwiatów, a nawet wydają podobne dźwięki przy lataniu i unoszeniu się przy kwiatach. Nektarniki posiadają także duże podobieństwo do kolibrów, występujących w strefach podzwrotnikowych Ameryki, oraz miodojadów, występujących w Australii. Wszystkie te grupy zwierząt są odlegle spokrewnione (szczególnie dotyczy to ciem), jednak doszły do podobnych złożonych rozwiązań w odpowiedzi na podobne warunki życia i zdobywania pokarmu.

Istnieje też wiele przykładów ze świata roślin. Jednym z nich są sukulenty: północnoamerykański kaktus (*Astrophytum asterias*) oraz afrykańska odmiana wilczomlecza (*Euphorbia obesa*). Ich łodygi są wyraźnie konwergentne (Rys. 4.), z charakterystycznym przekrojem ożebrowania i wcięć. Takie ułożenie reprezentuje złożoną adaptację, ponieważ w okresach poważnej suszy ożebrowanie składa się, chroniąc rowki z porami przed utratą wody. Wnętrza łodyg także są bardzo podobne, z wewnętrznymi komórkami, przechowującymi wodę, i rdzeniem bogatym w skrobię. Podobieństwo między tymi roślinami rozciąga się nawet na czerwony pigment, umiejscowiony zaraz pod powierzchnią, który odpowiada za wygląd, sugerujący śmierć rośliny, co ma zniechęcić zwierzęta zainteresowane w konsumpcji sukulenta. Pomiedzy tymi roślinami istnieją oczywiście różnice, takie jak szczegóły w budowie aparatów szparkowych, które w kaktusie mogą zostać zamknięte rozpuszczalną w wodzie substancją, podczas gdy u wilczomlecza występują krótkie wyrostki, które ograniczają przepływ powietrza, minimalizując w ten sposób straty wody. Jest to zgodne z ogólnym charakterem konwergencji – skala podobieństw jest często zaskakująco duża, ale różnice są zawsze.

Zachowania

W odpowiedzi na wymagania środowiska zwierzęta rozwinęły szereg różnych zachowań. Nie jest zaskakujące, że na podobne zdarzenia różne zwierzęta reagują w podobny sposób. Jednak wśród zwierząt, żyjących pod ziemią, doszło do wykształcenia nie tylko prostych reakcji, ale do stworzenia konwergentnych struktur społecznych. Są to struktury hierarchiczne, z samicą-matką na szczycie, posiadającą monopol na rozmnażanie oraz dostosowanymi do swych ról robotnikami i żołnierzami. W takich społecznościach jednostki całą swoją aktywność poświęcają na rzecz społeczności, rezygnując z działań, zmierzających do reprodukcji. Dobrze znanym przykładem takich społeczności są nie tylko mrówki i termity, ale i afrykańskie ssaki – golce. Te trzy grupy zwierząt wykształciły podobne struktury społeczne w celu najefektywniejszego korzystania z zasobów siły roboczej w pozyskiwaniu pokarmu.

Innym przykładem złożonych zachowań u mrówek jest rolnictwo. Wśród mrówek z rodzaju *Acromyrmex* i *Atta* zaistniała umiejętność uprawy roli we wszystkich znanych ludziom aspektach rolnictwa, od dbania o plantacje, transportu, pielienia, stosowania herbicydów, nawożenia, przycinania, aż po płodozmian. Ich zachowanie jest konwergentne do zachowań ludzkich. Inne mrówki, tym razem znacznie szersza grupa, obejmująca ponad 200 gatunków, należące do pięciu różnych rodzin,⁶² wykształciły zachowania, polegające na formowaniu legionów wysoce zorganizowanych wojowników. Takie wielkie grupy mrówek potrafią opanować rozciągający się na 20 metrów obszar, w obrębie którego atakują wszystkie zwierzęta. Ofiary, które nie zdołają uciec, zostają rozdrobnione, a ich szczątki przeniesione do gniazda w procesie bardzo efektywnej pracy zbiorowej.⁶³

⁶² Por. W.H. GOTWALD, *Army Ants: The Biology of Social Predation*, Cornell University Press, Ithaca 1995 (cyt. za: CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 200).

⁶³ Por. N.R. FRANKS, A.B. SENDOVA-FRANKS, J. SIMMONS and M. MOGIE, „Convergent Evolution, Superefficient Teams and Tempo in Old and New World Army Ants”, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 1999, vol. 266, no. 1429, s. 1697-1701.

Jednak natura pokazuje, że do zachowań społecznych nie jest nawet potrzebne posiadanie układu nerwowego. Złożone formy interakcji międzyosobniczych można znaleźć już u bakterii, czyli bardzo prymitywnych form życia. W artykule „The Evolution of Social Behavior in Microorganisms”⁶⁴ Bernard J. Crespi przeanalizował wiele zachowań, w które kolektywnie angażują się przedstawiciele świata mikroorganizmów. Wśród przykładów takich zachowań są: wspólna budowa schronienia (kolektywne wytwarzanie polimerowego biofilmu, chroniącego przed niebezpiecznymi substancjami i stabilizującego środowisko w bezpośrednim otoczeniu organizmów), zorganizowane ataki (bakterie z rodzaju *Myxococcus xanthus* otaczają inne mikroorganizmy, które są rozkładane przez emitowane enzymy i wspólnie przyswajane; bakterie salmonelli i gronkowca rozpoczynają wytwarzanie szkodliwych substancji dopiero wtedy, gdy wytwarzany przez nie induktor osiągnie odpowiednie zagęszczenie w organizmie ofiary, co pozwala lepiej poradzić sobie z odpowiedzią jej układu nerwowego), reprodukcja (bakterie z rodzaju *Rhizobium* dzielą się na dwie grupy, z których jedna traci zdolność rozmnażania i skupia się na wytwarzaniu żywności), oraz przemieszczanie (bakterie wspólnie tworzą struktury ułatwiające przemieszczanie w wodzie i powietrzu).

Wszystkie powyższe zachowania wymagają odpowiedniego stopnia synchronizacji, a więc bakterie muszą dysponować metodami wpływania na siebie, co Simon nazywa komunikacją. Rolę nośnika spełniają rozmaite substancje chemiczne, określane cząsteczkami sygnałowymi. W wyniku przekroczenia pewnego poziomu zagęszczenia, które zależy od lokalnego zagęszczenia populacji, dochodzi do ekspresji określonych genów, co można interpretować jako reakcje na sygnały od innych bakterii i na środowisko. Taki wzajemny wpływ określa się angielskim terminem *Quorum sensing*.⁶⁵ Za pomocą cząsteczek sygnałowych bakterie komunikują się nie tylko w obrębie gatunku, ale

⁶⁴ Bernard J. Crespi, „The Evolution of Social Behavior in Microorganisms”, *Trends in Ecology & Evolution* 2001, vol. 16, no. 4, s. 178-183.

⁶⁵ Nie znalazłem polskiego odpowiednika tego terminu; można to tłumaczyć jako „wykrywanie zgrupowania”.

i całych rodzajów. Niektóre gatunki bakterii produkują także cząsteczki sygnałowe typowe dla innych gatunków. Takie cząsteczki nie mają wpływu na ekspresję genów w obrębie populacji, ale mogą zaburzyć funkcjonowanie sąsiedniej populacji innego gatunku, której osobniki są na nie wrażliwe.

Wpływ na komunikację między bakteriami, a tym samym na ekspresję określonych genów, prowadzących do produkowania substancji szkodliwych dla nosiciela, może mieć duże znaczenie w lecznictwie. Okazuje się, że takie metody kontroli populacji mikroorganizmów, w tym przypadku *Escherichia coli*, zostały już wykorzystane przez krasnorosty.⁶⁶ Można się spodziewać, że w toku ewolucji wykształciły je też inne istoty wielokomórkowe, które są podatne na ataki komunikatywnych bakterii.

Ograniczenia adaptacyjne

Rozważając ograniczenia, wynikające z wymogów adaptacyjnych do środowiska, Simon Conway Morris zwraca przede wszystkim uwagę na dwie rzeczy: organizmy żywe dążą do jak najlepszego wykorzystania możliwości, jakie dają im dostępne rozwiązania, oraz że zbiór takich najlepszych rozwiązań jest ograniczony, co przejawia się w mnogości występowania zjawiska konwergencji.

Mrówki i golce, korzystając z możliwości, jakie daje im budowa ciała i sposoby komunikacji, wykształciły powtarzalne wzorce organizacji społecznej i pozyskiwania pokarmu. Kręgowce i głowonogi rozwinęły w toku ewolucji oko proste, które jest prawdopodobnie najefektywniejszym narzędziem do odbioru obrazu otoczenia, w kontekście wymagań, wynikających z rodzaju aktywności tych grup zwierząt. Szkielety zwierząt – sztywne struktury, podtrzymująca pozostałe

⁶⁶ Por. Michael MANEFIELD, Ricky DE NYS, Naresh KUMAR, Roger READ, Michael GOVSKOV, Peter STEINBERG and Staffan KJELLEBERG, „Evidence That Halogenated Furanones from *Delisea pulchra* Inhibit Acylated Homoserine Lactone (AHL)-Mediated Gene Expression by Displacing the AHL Signal from Its Receptor Protein”, *Microbiology* 1999, vol. 145, s. 288-289 [283-291].

narządy organizmu – w swej formie odzwierciedlają kompromis między mobilnością a bezpieczeństwem, jaki jest najefektywniejszy dla funkcjonowania danego organizmu.

Autor **Life's Solution** wskazuje, że zakres możliwości faktycznie wykorzystanych przez życie jest ograniczony. Część rozwiązań, jak zostało to opisane w części pierwszej, jest z góry odrzucona, jako nie nadających się do wykorzystania przez życie. Z pozostałych większość zostaje wyeliminowana jako rozwiązania nieoptymalne. „Podejrzewam, że nie tylko ogromna większość dostępnej «przestrzeni» rozwiązań nigdy nie zostanie wykorzystana, ale nawet wykorzystana być nie może”,⁶⁷ pisze Conway Morris. Konsekwencje takiego postrzegania procesu ewolucji zostaną omówione w następnej części.

II. Znaczenie koniecznych rozwiązań życia w teorii Simona Conwaya Morrisa

Ograniczona liczba rozwiązań życia

Simon Conway Morris w książce **Life's Solution** przeanalizował zagadnienie ograniczonej liczby rozwiązań życia. Wyróżnił trzy przyczyny takiego stanu rzeczy: właściwości fizykochemiczne materii ograniczają liczbę możliwych związków do wykorzystania, adaptacja do środowiska wyklucza rozwiązania nieoptymalne, oraz następuje wyczerpanie możliwości (jak w przypadku szkieletów, gdzie wszystkie funkcjonalne kombinacje zostały wykorzystane).

Życie dysponuje niewielką (w stosunku do wszystkich możliwych kombinacji) liczbą związków, które nadają się do wykorzystania w zastosowaniach strukturalnych, enzymatycznych czy jako nośniki informacji. Wynika to z samych właściwości materii, która może spełniać określone funkcje tylko w określonych kombinacjach. Takie ograni-

⁶⁷ CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 127.

czenia dotyczą więc całego życia, od samego początku jego istnienia. Życie jest także ograniczone pod względem substancji, jakie są dla niego dostępne na początku jego istnienia. Nadaje mu to określony kształt, który zachowa się przez kolejne miliardy lat ewolucji.

Wykorzystywanie rozwiązań optymalnych oraz wyczerpanie możliwości prowadzi do powstawania konwergencji. Autor **Life's Solution** starał się pokazać, że w świecie przyrody zjawisko konwergencji jest powszechne i dotyczy niemalże każdego jego aspektu, co wskazuje na bardzo wąski wybór wśród optymalnych rozwiązań, z jakich korzysta życie.

Jednak nadrzędnym celem jego książki było wykazanie, że ograniczenia molekularne i adaptacyjne prowadzą do powstania cech życia, które mają charakter konieczny. Ograniczenia molekularne wpływają na kształt życia i dotyczą go, gdziekolwiek zaistnieje. Natomiast konwergencje zostają wykształcone przez niespokrewnione grupy w toku ewolucji w odpowiedzi na podobne wymagania adaptacyjne.

Nawigacja w hiperprzestrzeni możliwości

Dla zobrazowania zjawiska wybierania przez życie tylko określonych rozwiązań, Simon Conway Morris używa metafory „nawigacji w hiperprzestrzeni [dostępnych rozwiązań]”.⁶⁸ Taka hiperprzestrzeń na przykładzie możliwych do wykorzystania białek⁶⁹ jest określona przez zmienne, charakteryzujące kombinacje i kolejność aminokwasów, oraz właściwości powstałych tak białek, a życie w procesie ewolucji „nawiguje” po trasie białek, nadających się do wykorzystania w strukturach biologicznych. Nawigacja jest rozumiana jako zdolność życia do wyboru tylko określonych rozwiązań, których liczba jest bardzo małą częścią zbioru wszystkich możliwych rozwiązań. Pozostając przy metaforze „hiperprzestrzeni” białek, rolę selekcyjną odgrywają

⁶⁸ CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 8.

⁶⁹ Por. SMITH and MOROWITZ, „Between History and Physics...”.

dwa czynniki: tylko ściśle określone kombinacje aminokwasów, składające się na aktywną część białka, mogą pełnić dane funkcje, oraz tylko białka o określonej budowie mogą eksponować swoje aktywne fragmenty i tym samym spełniać swoją rolę.⁷⁰

Nawigacja prowadząca do konwergencji jest określona przez konieczność wykształcenia funkcjonalnych rozwiązań. Taka konieczność opiera się na założeniu, że rozwiązania alternatywne zostaną odrzucone jako nieoptymalne. Jej „siłą napędową” jest więc selekcja, która eliminuje organizmy z niekorzystnymi cechami w momencie ich konfrontacji z organizmami o lepszych cechach lub zmianą warunków środowiska. W toku ewolucji trwającej 3,5-3,8 miliarda lat takie konfrontacje miały miejsce wielokrotnie, prowadząc do powstania ogromnej liczby konwergencji. Cechy konwergentne występują zarówno wśród współcześnie żyjących zwierząt, jak i wśród świadectw kopalnych. Simon Conway Morris znajduje więc mocne poparcie dla takiego obrazu ewolucji życia na Ziemi.

Autor pozostawił otwartą kwestię „siły napędowej” nawigacji w hiperprzestrzeniach rozwiązań molekularnych. Dla hiperprzestrzeni białkowej, gdzie białko jest złożone ze stu aminokwasów, liczba możliwych kombinacji wynosi 20^{100} . Po przekształceniu daje to ok. $1,27 \times 10^{130}$, czyli o ponad sto rzędów wielkości więcej od przypuszczalnej liczby gwiazd we Wszechświecie.⁷¹ Szacuje się, że obecnie na Ziemi istnieje ok. 5×10^{30} bakterii.⁷² Gdyby wszystkie te bakterie zaczęły syntetyzować kolejne kombinacje w tempie jednego białka na sekundę, uzyskując za każdym razem 5×10^{30} egzemplarzy różnych cząsteczek, to wytworzenie wszystkich możliwych form zajęłoby im

⁷⁰ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 10; por. też Michael DENTON and Craig MARSHALL, „Laws of Form Revisited”, *Nature* 2001, vol. 410, s. 417.

⁷¹ „ESA – Space Science – How Many Stars Are There in the Universe?”, http://www.esa.int/esaSC/SEM75BS1VED_index_0.html (23.07.2009).

⁷² Por. William B. WHITMAN, David C. COLEMAN and William J. WIEBE, „Prokaryotes: The Unseen Majority”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1998, vol. 95, s. 6678 [6578-6583].

ok. $2,5 \times 10^{99}$ sekund, czyli $7,9 \times 10^{91}$ lat. Wszechświat istnieje dopiero ok. $1,35 \times 10^{10}$ lat, czyli o osiemdziesiąt jeden rzędów wielkości za krótko, by wypróbować te wszystkie kombinacje. Należy jeszcze dodać, że cząsteczki białek są zwykle dłuższe, na przykład cząsteczka ludzkiej hemoglobiny, nośnika tlenu we krwi, składa się z czterech białek, z których każde ma od 141 do 146 aminokwasów.

Zasadnie można więc spodziewać się, że istnieje jakiś mechanizm, który stoi za zdolnością życia do wybierania tylko najodpowiedniejszych kombinacji. Istnieje, oczywiście, mechanizm odrzucania wadliwych mutacji – osobnik tworzący białko, które nie spełnia swojej roli, zwykle obniża swoje szanse reprodukcyjne. Niezależnie jednak, czy mechanizm mutacji prowadzi do powstania nowego, użytecznego białka, to możliwości próbkowania hiperprzestrzeni możliwych białek przez taki mechanizm są daleko mniejsze, niż zdolności wspomnianej hipotetycznej armii bakterii.

Jaki mechanizm stoi za zdolnością życia do tak trafnej nawigacji? Takie pytanie stawia Autor **Life's Solution** wielokrotnie,⁷³ jednak pozostawia je bez odpowiedzi, w zamian sugerując program badawczy, który miałby na celu wyjaśnienie tego zagadnienia. Stawia to jego hipotezę w niekorzystnym świetle – Autor postuluje istnienie nowego mechanizmu „napędzającego” dobór naturalny, ale nie proponuje, w jaki sposób ten mechanizm działa:

Życie, zakłada się, jest zwyczajnie zbyt skomplikowane, aby mogło zaistnieć w jakiegokolwiek wiarygodnej skali czasu. Typową odpowiedzią na to jest przywołanie miliona małp, ślepo wybierających alternatywy, z niewidzialną ręką, ukierunkowującą te niezliczone wysiłki w stronę właściwego sonetu Szekspira (czy czegokolwiek innego). To całkowicie mija się z celem, po pierwsze – ponieważ zakłada, że przez cały czas znana jest poprawna wersja, a po drugie – ponieważ odpowiedź ta nie jest w stanie uchwycić problemu niemal nieograniczonych rozmiarów biologicznych „hiperprzestrzeni”. Metafora nawigacji sugeruje jednak bardziej owocny program badań, niż masowe zatrudnienie małp. Jest

⁷³ Por. CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 127, 308.

tak, ponieważ próbuje ona wyjaśnić nie tylko preferowanie trajektorii, prowadzących do rozwiązań optymalnych, ale także niezwykle zdolność ewolucji do poruszania się skrótami poprzez wielowymiarową „hiperprzestrzeń” rzeczywistości biologicznej. Podejrzewam, że taki program badawczy może ujawnić głębsze pokłady [rzeczywistości] w biologii, w których ewolucja [w ujęciu] Darwina pozostaje w działaniu, ale zajmowane miejsca są w praktyce określone od momentu Wielkiego Wybuchu.⁷⁴

Można podać w wątpliwość, czy życie z dostępnych kombinacji aminokwasów wybrało te najlepsze kombinacje. Dostępna ilość kombinacji oznacza, że życie zweryfikowało użyteczność jedynie drobnego ułamka potencjalnych rozwiązań. Na jakiej podstawie Conway Morris uważa, że życie wybrało akurat te najlepsze?

Powszechnie przyjmowana teoria ewolucji także wyjaśnia kwestię „nawigacji w hiperprzestrzeni”. Wobec tak przytłaczającej liczby możliwych kombinacji, nie zakłada się, że życie wybrało rozwiązania najlepsze z możliwych, ale tylko najlepsze z dostępnych. Podstawowy mechanizm ewolucji białek opiera się na duplikowaniu i modyfikacji powstałych kopii w procesie przypadkowej mutacji. Nowe białka podlegają naturalnej selekcji, a przez to także optymalizacji. Zakłada się też, że wszystkie geny, jakie można znaleźć we współczesnych organizmach, „wywodzą się z jednego genu lub zestawu genów, który dostarczył pierwszego programu życia na Ziemi”.⁷⁵ Takie podejście oznacza, że życie w momencie powstania wybrało losowo jedną lub kilka kombinacji z dostępnej puli, takich, które pozwoliły na nabycie podstawowej funkcjonalności, a potem na ich podstawie tworzyło nowe geny i białka, prowadząc tym samym w toku ewolucji do powstania całej współczesnej różnorodności życia.

Przy takim podejściu nie da się też uniknąć roli historii, która determinuje możliwe rozwiązania. Życie nie wybiera rozwiązań z do-

⁷⁴ CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 309-310.

⁷⁵ Douglas J. FUTUYMA, *Ewolucja*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2008, s. 469 (autorem tego rozdziału w książce Futuymy jest Scott V. Edwards).

wolnego miejsca puli, lecz szuka najlepszego rozwiązania w okolicach genu źródłowego. Ze względu na mechanizm takich mutacji, gdzie geny sporadycznie są kopiowane w całości, a znacznie częściej dochodzi do insercji fragmentów jednych genów w obręb innych, proces wytwarzania nowych białek charakteryzuje się dużą dynamiką, wystarczającą do wyjaśnienia wspomnianej różnorodności życia. Wskazana przez Conwaya Morrisa zdolność życia do wybierania drogi „na skróty” przez hiperprzestrzeń możliwości może zostać satysfakcjonująco wyjaśniona mechanizmem duplikacji, insercji, mutacji i selekcji genów. W takim jednak przypadku nie można uzasadnić tego, że życie korzysta z rozwiązań najlepszych, określonych już podczas Wielkiego Wybuchu – wykorzystywane rozwiązania mogą być zaledwie najlepszymi z tych, na które trafiło życie.

Jeśli jednak pominąć wątpliwości, dotyczące koniecznych rozwiązań na poziomie molekularnym, to koncepcja nawigacji oznacza poważną zmianę w oczekiwanych rezultatach procesu ewolucji. Proces ewolucji, nakreślony przez Karola Darwina, jest procesem przypadkowym. W danej populacji istnieją osobniki o różnym stopniu dostosowania do środowiska, a w procesie selekcji naturalnej promowane są te dostosowane najlepiej. Późniejsi ewolucjoniści uzupełnili tę teorię o mechanizmy zmiany – mutację oraz dryf genetyczny. Mutacja prowadzi do powstania nowych cech, z których na drodze selekcji zostają zachowane te dające lepsze dostosowanie organizmów. Dryf genetyczny opiera się na spostrzeżeniu, że w obrębie danej populacji istnieją różnice genetyczne między osobnikami (często niewystarczające jednak, by uczynić jednego osobnika lepiej dostosowanym od innego), z których określony zestaw cech może stać się dominującym, bądź dać początek nowemu gatunkowi. W takim rozumieniu procesu ewolucji zjawisko zmian nie jest celowe. Organizmy mutują w przypadkowych kierunkach, podlegając selekcji naturalnej, jednak nowe cechy powstają z wcześniej istniejących, przy czym większość cech pozostaje niezmiennych (np. geny odpowiadające za regulację najbardziej podstawowych procesów, zachodzących w żywej komórce, nie uległy zmianie od miliardów lat; wszystkie organizmy na Ziemi posiadają je

w bardzo podobnej, jeśli nie identycznej formie). Konsekwencją zjawiska dryfu genetycznego jest przypadkowość zmian, co oznacza, że nie wszystkie zmiany puli genów w określonej populacji muszą prowadzić do zwiększenia dostosowania do środowiska.

Simon Conway Morris twierdzi natomiast, że cechy konwergentne są cechami koniecznymi.⁷⁶ Życie „trafi” na nie za każdym razem, gdy zaistnieją wymagające tego okoliczności, niezależnie od tego, jakim zestawem cech dysponuje grupa organizmów, które mają się dostosować. Ponieważ można oczekiwać, że wyzwania ze strony środowiska będą miały powtarzalny charakter, to także cechy, będące na nie odpowiedzią, pojawią się w sposób nieunikniony za każdym razem. Stąd już jest prosta droga do stwierdzenia, że ewolucja w takim rozumieniu ma charakter celowy. Postulat teleologicznego charakteru ewolucji nie jest niczym nowym, był już postulowany wcześniej w obrębie teorii ortogenezy. Jednak w odróżnieniu od tej teorii, hipoteza „nawigacji w hiperprzestrzeni możliwych rozwiązań” nie sprzeciwia się podstawowym założeniom teorii ewolucji.

Teoria ewolucji zajmuje się wyjaśnianiem procesów ewolucyjnych. Przewiduje, że w wyniku mutacji i dryfu genetycznego powstaną i zaistnieją w populacji nowe cechy, będące losową modyfikacją wcześniej istniejących. Natomiast Simon Conway Morris twierdzi, że natura dąży do konkretnych rezultatów, co ujawnia się przez mnogość konwergencji wśród organizmów żywych. Prowadzi to do jeszcze jednej słabości hipotezy nawigacji – choć możliwym jej świadectwem jest mnogość konwergencji, to jednak historia specjacji oraz ogólna różnorodność życia nie przemawiają za tym, by życie na Ziemi uparcie trzymało się wspólnych rozwiązań.

Jeśli dążenie życia do optymalnych cech uznać za przewidywania hipotezy Simona Conwaya Morrisa, to należałoby się spodziewać istnienia „uniwersalnego roślinożercy” czy „uniwersalnego drapieznika”. Takie istoty byłyby zbiorem najlepszych możliwych cech dla danego

⁷⁶ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 243.

środowiska. Dostęp do takich cech jest możliwy poprzez konwergencję, która „nadpisuje” niedoskonałości w genach. W ten sposób powinien powstać gatunek najlepiej dostosowany do danego środowiska (w tym także zdolny do zmiany w odpowiedzi na zmiany w środowisku). Wystarczy jednak przyrzeć się różnorodności życia w lasach tropikalnych, by zobaczyć, jak dalekie wydaje się życie od wytworzenia takich istot. Tym samym można by sfalsyfikować hipotezę Autora **Life's Solution**.

Słabość teorii Simona Conwaya Morrisa wynika z tego, jakie dane bierze on pod uwagę. Jego książka ukazuje świat życia pełen konwergencji, niemalże całkowicie przemilczawszy występujące, czy możliwe, różnice między cechami i istotami żywymi. Takie różnice mogą być rozmaitego rodzaju. Najłatwiejsze do stwierdzenia są różnice między dwiema danymi cechami, spełniającymi takie same role. Omawiając takie cechy, Autor ogranicza się do stwierdzenia, że istnieją różnice, po czym wymienia dostrzeżone podobieństwa.

Istnieją także potencjalne różnice między cechami istot na Ziemi, a hipotetycznymi istotami żyjącymi na odległej planecie. Wynikają one z różnych warunków początkowych, które mogą prowadzić do różnego zestawu cech podstawowych. Ponieważ nowe cechy powstają poprzez modyfikację już istniejących, takie fundamentalne różnice mogą prowadzić do diametralnie różnego obrazu życia. Dotyczy to szczególnie takich cech, które nie posiadają wersji optymalnej lub gdzie kilka rozwiązań można uznać za optymalne, przez różne rozwiązania posiadają bardzo zbliżoną wartość przystosowawczą. Bez dokładnej analizy życia we wszystkich jego aspektach, od samego jego początku, nie można stwierdzić, kiedy i jakie cechy mogą być różne od tych charakteryzujących życie na Ziemi.

Emergencja inteligencji

Simon Conway Morris poświęcił w książce **Life's Solution** wiele miejsca zjawisku inteligencji. Swoje rozważania zaczął od określenia

elementów istotnych dla zaistnienia inteligencji. Zdaniem Autora, inteligencja jest przede wszystkim zależna od układu nerwowego. Na poziomie molekularnym układ nerwowy musi dysponować mechanizmami pozwalającymi na realizację podstawowej aktywności – transmisji sygnałów. Zauważa przy tym, że takie mechanizmy istnieją już w istotach, które nie posiadają układu nerwowego. Są jednak używane w rolach, które można skojarzyć z rolą układu nerwowego.

Kanał sodowy jest podstawową strukturą, niezbędną do wytworzenia potencjału czynnościowego w komórce. Potencjał taki jest impulsem elektrycznym, biegnącym wzdłuż neuronu i przekazywanym dalej. Aby możliwe było zaistnienie takiego impulsu, do wnętrza komórki muszą zostać „wstrzyknięte” dodatkowo naładowane jony, co doprowadzi do różnicy potencjału między środowiskiem zewnętrznym a cytoplazmą. Do wyboru są w zasadzie tylko trzy metale: potas, sód i wapń. Ze względu na ilość ról, jakie jony potasu i wapnia odgrywają w metabolizmie komórki, wstrzyknięcie takich jonów spowodowałoby dezorganizację procesów metabolicznych i śmierć komórki. Dużo lepszym wyborem jest sód.

Bardzo wcześnie w procesie ewolucji życia musiały powstać selektywne mechanizmy przepuszczające określone jony do i z cytoplazmy poprzez błonę komórkową. Takie kanały jonowe dla potasu i wapnia, ze względu na krytyczną rolę przepuszczanych przez nie jonów, są zapewne jednym z najstarszych wynalazków życia. Aby uzyskać charakterystykę kanału wapniowego, wystarczą dwie podmiany aminokwasów w kluczowych miejscach białka tworzącego kanał sodowy,⁷⁷ co świadczy o wysokim stopniu pokrewieństwa, a także prawdopodobieństwa powstania takiego mechanizmu. Kanały sodowe spotyka się już u jednokomórkowych organizmów, takich jak słonecznice. U tych organizmów sód odgrywa kluczową rolę w procesie chowania igiełek (uzewnętrznione komórkowe elementy szkieletowe, promieniście wy-

⁷⁷ Stefan H. HEINEMANN, Heinrich TERLAU, Walter STÜHMER, Keiji IMOTO and Shosaku NUMA, „Calcium Channel Characteristics Conferred on the Sodium Channel by Single Mutations”, *Nature* 1992, vol. 356, s. 441 [441-443].

chodzące z górnej części organizmu, którym to słonecznice zawdzięczają swoją nazwę) w reakcji na bodziec. Są one też najprymitywniejszym znanym organizmem, który potrafi wytworzyć potencjał czynnościowy.⁷⁸

Podobne rozwiązania da się dostrzec także wśród białek, służących transportowi jonów. Jak zauważa Milton Saier, różne białka transportowe, w tym te zajmujące się transportem jonów,

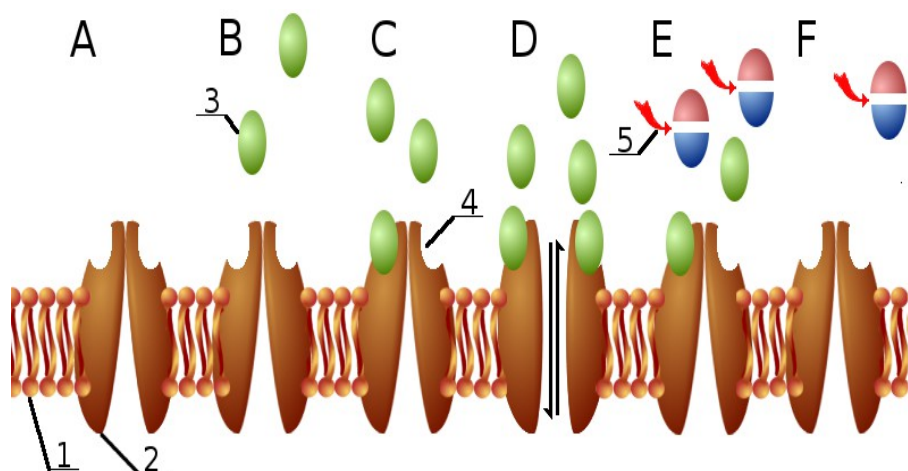
najwyraźniej przejawiają wspólny wzorzec sześciu równolegle ułożonych spiralnych odcinków polipeptydu z aminowymi i karboksylowymi zakończeniami umieszczonymi po cytoplazmatycznej stronie błony. Może być tak, że trójwymiarowa półprzepuszczalna struktura składająca się z sześciu niemal równoległych α -helis jest szczególnie dobrze dostosowana do roli kanałów w półprzepuszczalnych błonach. Takie ograniczenia mogły przyczynić się do zarówno utrzymywania tej struktury mimo ewolucyjnego różnicowania się homologicznych białek transportowych, jak i do ewolucji konwergentnej niespokrewnionych białek transportowych.⁷⁹

Mechanizmy niezbędne do wytworzenia potencjału czynnościowego w neuronie powstały prawdopodobnie jeszcze zanim powstał pierwszy neuron. Tak czy inaczej, natura po raz kolejny wykorzystwała w nowy sposób istniejące już rozwiązanie – istniejący kanał jonowy został wykorzystany do wzbudzania impulsu elektrycznego, podstawowej jednostki informacji w procesach neuronalnych. Podobnie jest w przypadku procesu przekazywania impulsu nerwowego poprzez synapsę, łączącą dwa neurony. Uczestniczące w tym procesie substancje, neuroprzekązniki, uwalniane są, gdy impuls elektryczny dociera do końca neuronu. Występująca w tej roli acetylocholina po dotarciu do

⁷⁸ Por. Colette FEBVRE-CHEVALIER, André BILBAUT, Quentin BONE and Jean FEBVRE, „Sodium-Calcium Action Potential Associated with Contraction in the Heliozoan *Actinocoryne Contractilis*”, *Journal of Experimental Biology* 1986, vol. 122, s. 189 [177-192].

⁷⁹ Milton H. SAIER Jr., „Convergence and Divergence in the Evolution of Transport Proteins”, *Science* 1994, vol. 16, no. 1, s. 28 [23-29].

celu aktywuje pompy sodowe, rozpoczynając w ten sposób proces generowania potencjału czynnościowego u następnego neuronu (Rys. 5).



Rys. 5. Proces aktywacji kanału sodowego przez acetylocholinę. Proces aktywacji kanału sodowego przez acetylocholinę; A: zamknięty kanał sodowy (2), zanurzony w błonie (1); B: wydzielanie przekaźnika (3); C: przekaźnik wiązany przez jedno z miejsc receptorowych (4); D: związanie drugiego miejsca receptorowego i otwarcie kanału, przepływ jonów; E: acetylcholinesteraza (5) rozkłada acetylocholinę, która opuszcza miejsca receptorowe, kanał zamyka się; F: kanał ponownie całkowicie zamknięty. Wykorzystano na warunkach licencji GNU Free Documentation License w wersji 1.2 lub nowszej, opublikowanej przez Free Software Foundation. Źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:So_dium_acetylcholine_channel.png (05.02.2009).

Acetylocholina występuje u żywych organizmów, które nie posiadają układu nerwowego, na przykład u jednokomórkowych orzęsek, pantofelków. Pełni u nich rolę sygnałową w procesie rozpoznawania zgodności genetycznej podczas koniugacji (tj. częściowego zlania cytoplazm w celu wymiany informacji genetycznej).⁸⁰ Interesujące jest

⁸⁰ Por. Maria Umberta Delmonte CORRADO, Huguette POLITI, Marzia OGNIBENE, Cristiano ANGELINI, Francesca TRIELLI, Patrizia BALLARINI and Carla FALUGI, „Synthesis of the Signal Molecule Acetylcholine during the Developmental Cycle of PARAMECIUM PRIMAURELIA

też to, że pantofelki wytwarzają także tę samą substancję, rozkładającą acetylocholinę – acetylocholinesterazę, która również u zwierząt jest wykorzystywana w procesie posygnalowego wychwytu zwrotnego tego neuroprzekaźnika.

Inny element, wskazany przez Simona Conwaya Morrisa jako niezbędny dla funkcjonowania układu nerwowego, to sprawny nośnik tlenu. Układ nerwowy jest bardzo kosztowny pod względem zarówno energetycznym, jak i tlenowym. Do wydajnego transportu tlenu kręgowce wytwarzają hemoglobinę, która zamknięta w czerwonych krwinkach podnosi pojemność tlenową krwi siedemdziesięciokrotnie względem czystej wody (przy 37°C). Jest to cząsteczka, składająca się z czterech podjednostek polipeptydowych, z których każde dodatkowo posiada cząsteczkę hemu. Cząsteczka hemu zbudowana jest z pierścienia porfirynowego, w którym zamknięty jest atom żelaza (niemal identyczna struktura zamyka atom magnezu w cząsteczce chlorofilu). Sposób „wbudowania” atomu żelaza pozostawia tej cząsteczce dwa wolne wiązania, które mogą służyć tymczasowemu przyłączeniu tlenu. Hemoglobiny o podobnej budowie i funkcji zostały „wynalezione” niezależnie w toku ewolucji przez różne gatunki bakterii, roślin i grzybów.⁸¹ Jeśli istotom, aspirującym do wykształcenia inteligencji na obcej planecie, nie uda się wykształcić cząsteczki hemu, mają jeszcze do dyspozycji rozwiązanie oparte na atomie miedzi, które znane są bezkręgowcom w postaci hemocyjanin. Także i przy tym rozwiązaniu można znaleźć przykłady konwergencji.⁸²

(Protista, Ciliophora) and Its Possible Function in Conjugation”, *Journal of Experimental Biology* 2001, vol. 204, s. 1901-1902 [1901-1907].

⁸¹ Por. R.A. WATTS, P.W. HUNT, A.N. HVITVED, M.S. HARGROVE, W.J. PEACOCK and E.S. DENNIS, „A Hemoglobin from Plants Homologous to Truncated Hemoglobins of Microorganisms”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2001, vol. 98, no. 18, s. 10119, 10123 [10119-10124].

⁸² Por. Kensal E. VAN HOLDE, Karen I. MILLER and Heinz DECKERI, „Hemocyanins and Invertebrate Evolution”, *The Journal of Biological Chemistry* 2001, vol. 276, no. 19, s. 15563-15566.

Kolejnym krokiem Simona Conwaya Morrisa było wykazanie, że konwergencja występuje w tworzeniu relacji społecznych u różnych gatunków zwierząt. We wcześniejszym rozdziale został opisany przykład konwergentnych zachowań społecznych u golców i mrówek. Do tego dochodzą jeszcze mikroorganizmy, które pokazują, że zachowania społeczne mogą być realizowane na poziomie niemal molekularnym – przez najdrobniejsze istoty jednokomórkowe, które pozbawione są układu nerwowego i narządów zmysłów.

Do zaistnienia inteligencji niezbędny jest odpowiedniej wielkości mózg. Wcześniejsze etapy ewolucji mózgu są związane z koniecznością dokładniejszej kontroli mięśni i organów wewnętrznych. Jednak jako ewolucyjne źródło powstania dużego mózgu Simon Conway Morris wskazał adaptację wobec zmieniających się warunków środowiska.⁸³ Nie wskazał jednak, w jaki sposób zmiana w środowisku miałyby spowodować właśnie wzrost mózgu. Prawdopodobne jednak jest założenie, że powiększenie mózgu było odpowiedzią na takie wyzwania ze strony środowiska, wobec których nie wystarczy ewolucyjna modyfikacja kończyny czy zmiana funkcjonalności jakiegoś organu w trzewiach zwierzęcia, ale potrzebne jest nowe podejście w wykorzystaniu posiadanych już zasobów.

Geneza dużego mózgu nie wyjaśnia jednak, w jaki sposób tak kosztowny organ utrzymał się w toku ewolucji. Tutaj Autor **Life's Solution** sugeruje rolę zaawansowanych relacji społecznych. Przykłady takich złożonych zachowań zostały wskazane u wszystkich trzech rzędów ssaków, które wykształciły duże mózgi: naczelnych, waleni oraz trąbowców.

W opinii Simona Conwaya Morrisa źródłem presji selekcyjnej na zachowanie dużego mózgu u naczelnych (w szczególności szympanсів i bonobo) oraz u delfinów, było wykształcenie społeczności typu *fission-fusion*. W tym typie społeczności istnieje grupa główna, oraz zorganizowane podgrupy. Grupa główna rozpada się (*fission*) na pod-

⁸³ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 248-249.

grupy w odpowiedzi na wymagania środowiskowe, bądź określone wydarzenia w społeczności. Podgrupy mogą być tworzone spontanicznie, na przykład grupa samców łowców wyrusza w celu zdobycia pokarmu, podczas gdy grupa samic opiekuje się kolektywnie grupą młodych. W określonych okolicznościach podgrupy się łączą (*fusion*), na przykład do snu, choć nie musi dotyczyć to wszystkich osobników na raz, jak podczas okresu godowego.

Osobniki funkcjonujące w takiej grupie muszą charakteryzować się zdolnościami komunikacyjnymi oraz długotrwałą pamięcią. Nie jest to jednak dostateczne wyjaśnienie dla wielkości mózgu. Artykuł pod redakcją Jennifer E. Smith z 2008 r. przedstawia inny gatunek zwierząt, hieny cętkowane, które przyjęły taki typ społeczności ze wszystkimi jej złożonymi cechami.⁸⁴ Zwierzęta te nie posiadają już tak masywnego mózgu, jak naczelnie czy walenie, łączy je z nimi jednak inna cecha – względna długowieczność. Być może więc ten typ społeczności może powstać wśród takich gatunków, gdzie osobniki po przekroczeniu wieku rozrodczego nadal odgrywają konstytutywną rolę w danej grupie, choćby przez przekazywanie zachowań poprzez dostępne środki komunikacji, a nie tylko przez geny.⁸⁵ Społeczeństwo *fission-fusion* i wiedza przekazywana przez starsze pokolenia, która zwiększa dostosowanie do środowiska, tworzyłyby presję selekcyjną na długowieczność i zdolności komunikacyjne. Warto tutaj dodać, że hieny posiadają wyjątkowe zdolności, przekraczające zdolności szympanсів, do współpracy i rozwiązywania zadań, jakich nie znają ze środowiska naturalnego.

Simon Conway Morris nie wyjaśnił, w jaki sposób ze zdolności do lepszego wykorzystania posiadanych zasobów mózg doszedł w toku ewolucji do myślenia abstrakcyjnego lub samoświadomości. Można się jednak domyślić, że kluczową rolę odgrywała w tym presja selek-

⁸⁴ Por. Jennifer E. SMITH, Joseph M. KOŁOWSKI, Katharine E. GRAHAMA, Stephanie E. DAMESA and Kay E. HOLEKAMP, „Social and Ecological Determinants of Fission–Fusion Dynamics in the Spotted Hyaena”, *Animal Behaviour* 2008, vol. 76, no. 3, s. 619 [619-636].

⁸⁵ Por. CONWAY MORRIS, *Life’s Solution...*, s. 258.

cyjna na rozwój komunikacji i zdolności do przekazywania wiedzy, oparta na istniejących już strukturach społecznych. A te umiejętności są cechami konwergentnymi, istniejącymi u słoni, delfinów butlonosych oraz wielu małych naczelnych (bonobo, szimpansów, goryli oraz orangutanów).

Kluczowa dla komunikacji wydaje się wokalizacja. Dźwięki, jako nośnik informacji, posiadają oczywistą przewagę nad sygnałami wizualnymi czy zapachowymi, jeśli chodzi o możliwe zróżnicowanie i zasięg. Słonie dysponują relatywnie niewielkim zestawem dźwięków, jednak ich zdolności do wykrywania dźwięków o bardzo niskich częstotliwościach, pozwalają im na komunikację o zasięgu nawet dziesięciu kilometrów.⁸⁶ Zwierzęta te charakteryzują się też dużą zależnością od komunikacji. Młode rodzą się z mniejszą ilością zachowań instynktownych i są bardziej zależne od nauk wychowujących je samice, niż jest to w przypadku zwierząt o mniej złożonych mózgach.

Więszym stopniem wyrafinowania w komunikacji charakteryzują się przedstawiciele waleni. Dysponują one szeroką gamą dźwięków, układających się często w długie melodie, które niosą się na jeszcze większe dystanse, niż dźwięki wydawane przez słonie. Odległe geograficznie grupy przedstawicieli tego samego gatunku waleni często charakteryzują się własnymi dialektami.⁸⁷ Dodatkowo badania nad delfinem butlonosym ujawniły jego zdolność do rozumienia języka symbolicznego.⁸⁸

⁸⁶ David LAROM, Michael GASTRANG, Katharine PAYNE, Richard RASPET and Malan LINDEQUE, „The Influence of Surface Atmospheric Conditions on the Range and Area Reached by Animal Vocalizations”, *The Journal of Experimental Biology* 1997, vol. 200, s. 421 [421-431].

⁸⁷ Por. Patrick J. O. MILLER and David E. BAIN, „Within-Pod Variation in the Sound Production of a Pod of Killer Whales, *Orcinus orca*”, *Animal Behaviour* 2000, vol. 60, no. 5, s. 617 [617-628].

⁸⁸ Por. Brenda McCOWAN, Lori MARINO, Erik VANCE, Leah WALKE and Diana REISS, „Bubble Ring Play of Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*): Implications for Cognition”, *Journal of Comparative Psychology* 2000, vol. 114, no. 1, s. 98-106.

Zdolność do komunikacji nie jest obca innym zwierzętom, a nawet mikroorganizmom, jednak wspomniani przedstawiciele trąbowców, waleni i naczelnych potrafią coś, co przez długi czas wydawało się wyróżniać człowieka nad pozostałymi istotami – rozpoznają się w lustrze. Test lustra polega na umieszczeniu na ciele zwierzęcia oznaczenia w takim miejscu, żeby nie było w polu widzenia jego wzroku. Zwierze jest potem konfrontowane ze swoim obrazem w lustrze, na którym widzi siebie razem z umieszczonym oznaczeniem. Na podstawie zaobserwowanej reakcji można stwierdzić, czy zwierzę jest świadome tego, że obserwuje samo siebie. Na przykład słoń sięga trąbą do namalowanego na czole znaku, a delfin „przegląda” się w lustrze eksponując przy tym oznaczony barwnikiem obszar ciała. Test ten opiera się na założeniu, że zwierzęta świadome swojego istnienia będą w stanie rozpoznać się w lustrze.

Kolejnym elementem istotnym dla zjawiska inteligencji jest posiadanie struktur neuronowych, umożliwiających tworzenie map poznawczych, które służą odpowiedniemu grupowaniu doświadczeń. Choć obrazy świata, tworzone za pomocą echolokacji u nietoperzy czy zmysłu węchu u psów, mogą być dla nas, wzrokowców, całkowicie nie do wyobrażenia, to jednak ich ugruntowanie na podobnych systemach neuronowych, jak i towarzyszących im istotnie podobnych białek, pozwalają Conwayowi Morrisowi sądzić, że wytworzone mapy poznawcze są w swej istocie podobne, niezależnie od tego, z jakich zmysłów się wywodzą.⁸⁹ Innymi słowy, w jego opinii źródła sygnałów są różne, ale ich interpretacja, zależna od struktury mózgu, jest już podobna.

Ważnym etapem rozwoju mentalnego istot żywych jest nabycie zdolności do posługiwania się narzędziami. Tutaj zwierzęta wodne znajdują się w niekorzystnej pozycji – ze względu na charakter środowiska dostęp do potencjalnych narzędzi i możliwości manipulacji nimi są mocno ograniczone. Kończyny chwytne, zdolne do precyzyjnej manipulacji przedmiotami, powstałyby prawdopodobnie kosztem zdolności pływackich, a postęp w rozwoju narzędzi ostatecznie zatrzy-

⁸⁹ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 265-266.

małby się na metalurgii. Także słonie nie są znane z ekstensywnego użycia narzędzi, mimo że dysponują trąbą, zdolną do precyzyjnych manipulacji. Najbardziej w tej kwestii zbliżoną do naczelną grupą zwierząt są krukowate. Ich zachowania związane z używaniem narzędzi rozciągają się na takie zjawiska, jak: wytwarzanie narzędzi do określonych celów, standaryzację narzędzi, a nawet transmisję kulturową wiedzy o sposobach wytwarzania i wykorzystania narzędzi.

Zdolność tworzenia i wykorzystania narzędzi wśród małp, według Conwaya Morrisa, wykształciła się przynajmniej dwukrotnie. Gałęzie rozwoju małp Starego i Nowego Świata rozdzieliły się razem z kontynentami, to jest około trzydziestu milionów lat temu. Kapucynki, przedstawiciele małp Nowego Świata, charakteryzują się umiejętnościami celowego wytwarzania i wykorzystywania narzędzi, która dorównuje najbardziej rozwiniętym (poza ludźmi) człekokształtnym – szympansom. W artykule, podsumowującym zdolności kapucynek, Gregory Westergaard z kolegami zaznacza: „nie twierdzimy, że paralele pomiędzy kapucynkami z jednej strony oraz szympanсами i ludźmi z drugiej wynikają ze wspólnego procesu. Zamiast tego uważamy, że cały zakres behawioralnych podobieństw, w tym dzielenie się pokarmem i używanie narzędzi, wyewoluowały poprzez proces konwergentny u *Cebus* [tj. kapucynek] oraz u wspólnego przodka szympanсів i ludzi”.⁹⁰

Jednak do w pełni rozwiniętej zdolności posługiwania się narzędziami potrzebna jest dwunożność. Także ta cecha wykształciła się wielokrotnie, nie tylko wśród dinozaurów, ale także wśród naczelných. *Oreopithecus* to rodzaj naczelných, który wymarł około trzy i pół miliona lat temu. Ślady kopalne oreopiteków wskazują na to, że przybrali oni wyprostowaną postawę oraz posiadali dłoń o budowie, przypominającej tę znaną u wczesnych australopiteków, co znaczy, że posiadali cechy żyjących kilka milionów lat później *Homo sapiens*.

⁹⁰ Gregory Charles WESTERGAARD, Michael Katherine HAYNIE, Andrew L. LUNDQUIST and Stephen J. SUOMI, „Carrying, Sharing, and Hand Preference in Tufted Capuchins (*Cebus apella*)”, *International Journal of Primatology* 1999, vol. 20, no. 1, s. 161 [153-162].

Żyli na odizolowanej od drapieżników wyspie, dzisiejszej Toskanii. Szanse oreopiteków przepadły z chwilą połączenia wyspy mostem lądowym z Europą i Afryką podczas zlodowacenia, co otworzyło drogę dla dużych drapieżników. Także inne naczelne pozostawiły po sobie świadectwa, sugerujące ich zejście z drzew. Simon Conway Morris wskazuje tutaj na hominida *Sahelanthropus* sprzed sześciu milionów lat, żyjącego w obecnym Czadzie, oraz, z tego samego okresu, *Orrorina*, mieszkającego na terenie obecnej Kenii. Niezmiennie jednak mamy do czynienia z konwergentnymi zmianami sposobu lokomocji.⁹¹

Simon Conway Morris uważa, że narzędzia sprzed dwóch i pół miliona lat, pozostawione przez kulturę olduwajską, wyznaczają ostateczny moment startu wzrostu mózgu, prowadzący do obecnych rozmiarów. Wytwarzanie narzędzi pozwoliło na dostęp do wysokokalorycznego pokarmu, jakim jest mięso. Ludzkie ciało potrzebuje 2000 kcal dziennie na procesy związane z pracą serca, oddychaniem, podtrzymywaniem temperatury ciała i chodzeniem. Dodatkowe procesy myślowe znacznie jednak zwiększają zapotrzebowanie energetyczne organizmu. Z drugiej strony, to właśnie określony pułap rozwoju w wytwarzaniu narzędzi, który otwiera dostęp do takich odzwierzęcych kalorii, może być właśnie motorem rozwoju mózgu. Tę niejednoznaczność obrazuje Sarah Elton: „Wytwarzanie i używanie kamiennych narzędzi, które otworzyło drogę do jedzenia mięsa, mogło być decydującym czynnikiem w postępie wzrostu mózgu. Jest też możliwe, że wzrost konsumpcji mięsa i wykorzystanie innych nowodostępnych zasobów zaistniało, ponieważ istniejące już zdolności poznawcze i umiejętności manualne umożliwiły hominidom tworzenie narzędzi i tym samym zdobywanie mięsa”.⁹² W tym samym artykule, co jest jeszcze bardziej interesujące z punktu widzenia Conwaya Morrisa, autorka wykazuje, że do podobnego wzrostu objętości mózgu doszło

⁹¹ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 270-275.

⁹² Sarah ELTON, Laura C. BISHOP and Bernard WOOD, „Comparative Context of Plio-Pleistocene Hominin Brain Evolution”, *Journal of Human Evolution* 2001, vol. 41, no. 1, s. 23-24 [1-27].

równolegle u grupy *Paranthropus*, siostrzanej grupy *Homo*, także wytwarzającej narzędzia. W tym czasie istniała też jeszcze trzecia grupa hominidów – *Theropithecus* – jakkolwiek odlegle spokrewniona z *Homo* i *Paranthropus*, która nie pozostawiła po sobie narzędzi. U tej grupy wzrost mózgu nie wystąpił, co dodatkowo wspiera założoną korelację między wytwarzaniem narzędzi, lepszym dostępem do mięsa oraz wzrostem mózgu.

W ten sposób dochodzimy do sytuacji, kiedy przed człowiekiem staje otworem droga do wytwarzania coraz bardziej złożonych narzędzi, uprawy roli, tworzenia miast, nauki pisma, prowadzenia wyścigu zbrojeń i wszystkiego innego, co kojarzy się z cywilizacją. Simon Conway Morris wskazuje jednak na mnogość konwergencji na każdym etapie emergencji inteligencji. Oznacza to, że ludzie nie są wyjątkowym (lub „dziwacznym”) wytworem ewolucji, ale rezultatem powtarzających się konwergencji. „Możesz puszczać taśmę życia tak często, jak chcesz, a końcowy rezultat wciąż będzie prawie identyczny. Na Ziemi wypadło akurat na ludzi, [...]. Lecz co z tego?”⁹³ zamyka swe dociekania Autor.

Uniwersalny charakter biologii i teorii ewolucji

Powszechność zjawiska konwergencji poprowadziła Simona Conwaya Morrisa do wniosku, że życie posiada „szczególną tendencję do «nawigowania» między określonymi rozwiązaniami w odpowiedzi na wyzwania adaptacyjne”.⁹⁴ Stwierdził on także, że „nawigacja w hiperprzestrzeni” nie jest wypadkową cechą życia, ale immanentną, wynikającą z właściwości materii i określoną już w momencie Wielkiego Wybuchu,⁹⁵ a zjawisko konwergencji wynika wprost z tej cechy i ta-

⁹³ CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 282.

⁹⁴ CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 308.

⁹⁵ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution...*, s. 310.

kie rozwiązania są rozwiązaniami koniecznymi.⁹⁶ Podstawowe prawa fizyczne, które ograniczają wybór rozwiązań, jakimi dysponuje życie, także mają charakter uniwersalny – będą dotyczyć życia w każdym miejscu wszechświata, w którym powstanie. Niezależnie też, ile razy ewolucja miałaby zaczynać swój proces od nowa, to rezultaty będą do siebie bardzo podobne.

W ten sposób biologia, w rozumieniu Autora **Life's Solution** przestaje być nauką, która bada i klasyfikuje jedynie życie na Ziemi. Jej granice rozszerzają się na wszelkie wystąpienia skupisk organicznych, zdolnych do wykorzystania energii w celu lokalnego ograniczenia entropii (a więc wzrostu uporządkowania) i ewolucji. Za każdym razem, gdy zaistnieje tak zorganizowana materia, to będzie rządzić się prawami znanymi ziemskim biologom.⁹⁷

Ze względu na charakter ograniczeń, jakie dotyczą życia we wszelkich jego przejawach, Simon Conway Morris przedstawił także wiele przewidywań wobec form życia pozaziemskiego. Przytacza on opinie innych autorów, dotyczące podobieństw w przypuszczalnej strukturze kwasu DNA, cząsteczki chlorofilu, czy nawet niezbędnego w procesie widzenia białka, rodopsyny. Sam wysuwa przepuszczenie idące jeszcze dalej. Przy omawianiu konwergencji, związanych ze zmysłem wzroku, Autor zauważa m.in.:

Na odległych planetach mogą (ale nie muszą) istnieć owado-ocy obcy, ale jeśli będą tam żyć astronomowie, niemal z pewnością będą wyposażeni w oczy soczewkowe. Przypuszczalnie będą też dwuoczni, co jest rozsądnym założeniem, biorąc pod uwagę konwergencję takiego rozwiązania u ssaków i ptaków. [...] Ograniczenia form biologicznych i rzeczywistość adaptacyjnych wzorców dostarcza rozsądnego przybliżenia do tego, czego możemy się spodziewać „tam”. Możemy nawet przypuszczać, że nasz obcy posiada na pewno oczy soczewkowe, ale mogą one być osadzone na małych wieżyczkach i zdolne do niezależ-

⁹⁶ Por. CONWAY MORRIS, **Life's Solution...**, s. 127.

⁹⁷ Por. CONWAY MORRIS, **Life's Solution**, s. 76.

nych obrotów. Ponownie znajdujemy uderzające konwergencje tutaj, na Ziemi.⁹⁸

W ostatnim rozdziale książki przedstawia on też hipotetyczną wizytę pozaziemskich istot. W jego wyobrażeniu istoty te charakteryzują się taką mnogością podobieństw z ludźmi, że odróżnia je właściwie jedynie zielona skóra (wyobrażeni obcy posiadają zdolność fotosyntezy za pomocą tej samej cząsteczki, co ziemskie rośliny). Daje to pogląd na to, jak bardzo ograniczone są drogi życia w przekonaniu Simona Conwaya Morrisa.



Michał Nowosad

⁹⁸ Por. CONWAY MORRIS, *Life's Solution*, s. 163-164.