



David Snoke

Biologia systemowa jako program badawczy teorii inteligentnego projektu *

Wprowadzenie

Przeciwnicy teorii inteligentnego projektu często argumentowali, że teoria ta jest jałowa naukowo — nie umożliwia dokonywania odkryć naukowych. W odpowiedzi na tę argumentację, do której przez lata odwoływano się w licznych publikacjach, ¹ w 2001 roku napisałem:

Teoria projektu zasadniczo może formułować przewidywania i być ujęta ilościowo. Na przykład producent chipów komputerowych, który rozbiera na części chip wyprodukowany przez konkurencyjną firmę, zakłada, że obwody chipu zostały dobrze zaprojektowane. Założenie to nie prowadzi do zakończenia dociekań, lecz napędza badanie chipu. Założenie dobrego projektu prowadzi do szczegółowych przewidywań i zastosowań, na przykład do przewidywania, że znalezienie w chipie przewodów, które niczemu nie służą, jest mało prawdopodobne, a więc że w chipie powinno być niewiele niefunkcyjnych przewodów, zaś temu przewidywaniu towarzyszy konsekwencja praktyczna — badanie dowolnego przewodu najprawdopodobniej doprowadzi do odkrycia jego funkcji. Założenie kiepskiego projektu (na przykład, że producent chipu losowo utworzył wiele obwodów i dopiero później wybrał obwody funkcjonalne) prowadziłyby do zupełnie odmiennych przewidywań. ²

* David SNOKE, „Systems Biology as a Research Program for Intelligent Design”, *BIO-Complexity* 2014, no. 3, s. 1-11, <http://bio-complexity.org/ojs/index.php/main/article/view/BIO-C.2014.3/BIO-C.2014.3> (25.09.2015), doi: 10.5048/BIO-C.2013.1. Za zgodą Autora z języka angielskiego przełożył: Dariusz SAGAN.

¹ Por. np. B. FORREST and P.R. GROSS, *Creationism's Trojan Horse*, Oxford University Press, Oxford 2004.

² D. SNOKE, „In Favor of God-of-the-Gaps Reasoning”, *Perspectives on Science and Chris-*

W tamtym czasie, nie będąc biologiem, nie miałem pojęcia o istnieniu biologii systemowej i o rewolucyjnych nowych badaniach, jakie zaczęto przeprowadzać w ramach tej dyscypliny. Dziesięć lat później biologia systemowa spektakularnie potwierdziła zarysowany przeze mnie obraz badań bazujących na idei projektu.

Zanim przystąpimy do szczegółowego omówienia tego nowego paradygmatu biologii systemowej, warto powiedzieć trochę więcej o tym, jakie konsekwencje praktyczne niesłaby teoria inteligentnego projektu dla biologii. Teoria ta zakłada, że w pewnym momencie przeszłości nastąpiło co najmniej jedno inteligentnie kierowane zdarzenie, którego nie da się opisać znanymi prawami fizycznymi i któremu nie można przypisać rozsądnie dużego prawdopodobieństwa. Jak takie zdarzenie lub zdarzenia nastąpiły, jest sprawą drugorzędą: niektórzy teoretycy projektu przywołują cudowne interwencje w historii Wszechświata, w takich zjawiskach jak eksplozja kambryjska,³ zaś inni nie postulują takich interwencji, to jest nieciągłości w działaniu praw fizycznych w trakcie rozwoju Wszechświata, lecz powołują się na wyjątkowo precyzyjne zestrojenie na początku istnienia Wszechświata.⁴ Ujęcie darwinowskie zakłada natomiast, że w pewnym momencie przeszłości mechanizm losowych zmian i doboru naturalnego doprowadził do powstania obecnie istniejących układów biologicznych z rozsądnie dużym prawdopodobieństwem.⁵

Chociaż teoria inteligentnego projektu i neodarwinizm przyjmują zupełnie odmienne założenia na temat odległej przeszłości, to głównym przedmiotem zainteresowania obu tych koncepcji są materialne procesy zachodzące we współczesnych układach biologicznych. Przekonanie, że przyjęcie teorii inteligentnego projektu byłoby równoznaczne całkowitemu zaprzestaniu poszukiwania materialnych przyczyn, przywoływaniu cudu na każdym kroku, jest fałszywe. Teo-

tian Faith 2001, vol. 53, s. 152-158.

³ Prof. S. MEYER, **Darwin's Doubt: The Explosive Origin of Animal Life and the Case for Intelligent Design**, HarperCollins, New York 2013.

⁴ Prof. M. BEHE, **The Edge of Evolution: The Search for the Limits of Evolution**, Free Press, New York 2007.

⁵ Prof. M.W. KIRSCHNER and J.C. GERHART, **The Plausibility of Life: Resolving Darwin's Dilemma**, Yale University Press, New Haven 2005, s. 10.

retycy projektu opierają swoją argumentację na przyczynowości materialnej, przekonując, że sieć istniejących, znanych przyczyn i skutków w biologii najlepiej opisać jako produkt przeszłych działań inteligentnego projektanta. W istocie, często krytykują oni neodarwinistów za przywoływanie zbyt wielu nieznanych i tajemniczych przyczyn, jak na przykład powstawanie genów *de novo*.⁶ Biologia darwinowska także skupia się głównie na obecnie istniejących przyczynach i skutkach, ale ze znacznie bardziej prozaicznych powodów — biologia przynosi korzyści finansowe, kiedy zajmuje się tym, co jest użyteczne i możliwe do przekształcania teraz, a nie tym, co już nie istnieje.

Skoro obie te teorie koncentrują się przede wszystkim na materialnych przyczynach i skutkach w aktualnie istniejących układach, to czym różnią się ich przewidywania? Rozważmy dwa omówione wyżej przypadki — bardzo dobrego i bardzo kiepskiego ludzkiego projektanta. Kiepski projektant może być, na przykład, projektantem darwinowskim, który po prostu wypróbowuje wszystkie możliwości i odrzuca te, które są nieudane. Jakich różnic możemy oczekiwać po wytworach obu projektantów?

Spodziewalibyśmy się przede wszystkim, że dobry projektant tworzyłby projekty z nielicznymi niefunkcjonalnymi elementami. Ma to związek z przewidywaniem, że dobry projekt będzie cechować się dużym stopniem optymalizacji, czyli wydajności.

Można sobie wyobrazić, że kiepski projektant byłby w stanie uzyskać pewien stopień optymalizacji dzięki podjęciu po prostu wielu prób i zachowywaniu zawsze najwydajniejszego projektu. Tak przedstawia się darwinowskie wyjaśnienie wydajności, jaką mają obecnie istniejące układy biologiczne. Kiepski projektant może dokonywać losowych zmian w istniejących już projektach i za każdym razem odrzucać mniej optymalne wersje. Jednak nawet pobieżna analiza podpowiada, że przy takim podejściu najprawdopodobniej powstałyby *jakieś* niefunkcjonalne lub nieoptymalne elementy i że spodziewalibyśmy się znaleźć ich *więcej* niż w układzie naprawdę dobrze zaprojektowanym. Dlatego zwolen-

⁶ POE. MEYER, *Darwin's Doubt...*

nicy darwinizmu argumentowali na rzecz istnienia „śmieci” w układach ożywiających, takich jak narządy „szczątkowe” czy „śmieciowe” DNA.⁷

Założenie dobrego projektu prowadzi do przewidywania również innych atrybutów poza brakiem niefunkcjonalnych elementów. W układach dobrze zaprojektowanych spodziewamy się odnaleźć *subtelne* i *eleganckie* metody. Natomiast w układach kiepsko zaprojektowanych oczekujemy odnalezienia „topornych” i „prostych” metod, czyli metod cechujących się dużymi niedoskonałościami, ale umożliwiającymi wykonanie zadania. Zwolennicy darwinizmu często argumentowali, że toporne, proste metody obserwowane w świecie biologicznym stanowią świadectwo, że układy biologiczne nie zostały zaprojektowane przez inteligentny czynnik.⁸

Założenie dobrego projektu skłania też do myślenia w kategoriach *celu* projektanta, to jest do myślenia o *teleologii*. Przy dobrym projekcie widzimy, do czego coś służy, zaś przy kiepskim projekcie musimy zastanawiać się, „co oni mieli na myśli?”, podobnie jak ktoś, kto odkrywa źle wykonaną instalację elektryczną i wodno-kanalizacyjną przez poprzedniego właściciela domu. Dobry projekt ma dla nas sens, ponieważ dobrze spełnia wyznaczone mu cele. Darwinizm — jak wskazuje jego historia — odrzucał jednak każdy teleologiczny sposób myślenia.⁹

Niektórzy mogą nie zgodzić się z moim sposobem przedstawienia tej sytuacji. Jednak niezależnie od tego, jak wyglądają szczegóły, powinno być łatwo zauważalne, że te dwa różne ujęcia historii organizmów żywych prowadzą do zupełnie odmiennych przewidywań na temat tego, jakie rodzaje mechanizmów

⁷ Por. J. BERGMAN, „The Functions of Introns: From Junk DNA to Designed DNA”, *Perspectives on Science and Christian Faith* 2001, vol. 53, s. 170-178; J. WELLS, **The Myth of Junk DNA**, Discovery Institute, Seattle 2011.

Choć koncepcja „śmieciowego” DNA straciła na popularności, nadal jest często propagowana (por. T. GHOSE, „«Junk» DNA Mystery Solved: It's Not Needed”, *LiveScience* 12 May 2013, <http://www.livescience.com/31939-junk-dna-mystery-solved.html> [25.09.2015]).

⁸ Por. S.J. GOULD, **The Panda's Thumb: More Reflections in Natural History**, W.W. Norton, New York 1980.

⁹ Por. J.D. BARROW and F.J. TIPLER, **The Anthropic Cosmological Principle**, Oxford University Press, Oxford 1988, rozdz. 3.

działają w tych organizmach obecnie. Co może nam powiedzieć dzisiejsza biologia systemowa w perspektywie tych różnych ujęć i odmiennych oczekiwań? Który paradygmat lepiej pasuje do faktycznego sposobu uprawiania biologii systemowej?

Rewolucja w biologii systemowej

W 2009 roku uczestniczyłem w Marcowym Spotkaniu American Physical Society (APS) w Pittsburghu, największej dorocznej konferencji fizycznej w Stanach Zjednoczonych. W jej ramach odbyło się co najmniej dziesięć dwugodzinnych sesji dotyczących biologii systemowej. Wyczuwało się ekscytację tą dyscypliną. Prelegent za prelegentem mówił o tym, że po raz pierwszy w historii umożliwia ona formułowanie ilościowych, matematycznych przewidywań z zakresu biofizyki, które wielokrotnie potwierdzano eksperymentalnie.

Ekscytacja ta znalazła swój wyraz również w literaturze. W ciągu kilku ostatnich lat założono co najmniej trzy nowe czasopisma (*BMC Systems Biology*, *IET Systems Biology* i *Systems and Synthetic Biology*). Bud Mishra z New York University napisał w artykule przeglądowym dla Royal Society, że „Biologia systemowa, jako temat, zawładnęła wyobraźnią zarówno biologów, jak i teoretyków systemów”.¹⁰ Koepl i Setti piszą podobnie, że „Biologia systemowa i biologia syntetyczna to dwie wyłaniające się dyscypliny, które — odpowiednio — obiecują zrewolucjonizować nasze rozumienie układów biologicznych i zwiastują nową erę programowalnego hardware’u”.¹¹ Allarakhia i Wensley deklarują, że „Od czasu ukończenia projektu poznania genomu ludzkiego pojawił się nowy paradygmat biologiczny, mianowicie biologia systemowa”.¹² I wresz-

¹⁰ B. MISHRA, „Intelligently Deciphering Unintelligible Designs: Algorithmic Algebraic Model Checking in Systems Biology”, *Journal of The Royal Society Interface* 2009, vol. 6, s. 575-597, doi: 10.1098/rsif.2008.0546.

¹¹ K. KOEPL and G. SETTI, „Analysis and Design of Biological Circuits and Systems”, *IEEE International Symposium on Circuits and Systems* 2009, s. 297-300, doi: 10.1109/ISCAS.2009.5117744.

¹² M. ALLARAKHIA and A. WENSLEY, „Systems Biology: A Disruptive Biopharmaceutical Research Paradigm”, *Technological Forecasting and Social Change* 2007, vol. 74, s. 1643-1660, doi: 10.1016/j.techfore.2006.07.012.

cie, Hiroaki Kitano obwieszcza, że „Zastosowanie biologii systemowej w praktyce lekarskiej stanowi przyszłość medycyny”.¹³

Cała ta ekscytacja rodzi jednak pytanie, czym jest ten nowy paradygmat? Biologię systemową jako całość można zdefiniować jako badanie „szerszej perspektywy” w biologii komórkowej polegające na rozpatrywaniu całych układów i sposobów ich działania, nie zaś na stosowaniu podejścia „oddolnego”, w którym funkcję usiłuje się wydedukować z molekularnych oddziaływań. Powszechnie stosuje się tu terminy „holistyczny” lub „emergentny”.¹⁴ Naukowcy zajmujący się biologią systemową odrzucają redukcjonistyczny pogląd na biologię, zgodnie z którym adekwatne zrozumienie można uzyskać, wychodząc od fizyki procesów mikroskopowych i docierając do procesów wyższego poziomu.

Nowy paradygmat w dyscyplinie, która przykuwa tak wiele uwagi, nie polega jedynie na tym, że przedmiotem zainteresowania są większe układy, lecz oferuje nowy sposób patrzenia na te układy. W szczególności, nowy paradygmat badania układów biologicznych ma korzystać z metod *inżynierii* systemów. R. Rushmer pisze, że

Wraz z nową erą badań naukowych pojawi się zupełnie nowy typ inżyniera, a Zjednoczone Królestwo wejdzie w okres nazywany przez ekspertów trzecią rewolucją przemysłową po rewolucji w technologii informacyjnej. Biologia i inżynieria zbiegają się ze sobą, tworząc nową dyscyplinę zwaną biologią systemową. Zapożycza ona techniki i narzędzia z inżynierii systemów w celu budowania i testowania modeli elementów biologicznych, takich jak narządy i komórki. Eksperci przewidują, że biologia systemowa zrewolucjonizuje sektor medyczny. Odkrycia w dziedzinie zdrowia publicznego doprowadzą do dalszych badań, dzięki którym przemysł maszynowy pozyska nowe materiały, biopaliwa i potencjał wytwórczy.¹⁵

¹³ H. KITANO, „Computational Systems Biology”, *Nature* 2002, vol. 420, s. 206-210, doi: 10.1038/nature01254.

¹⁴ Por. F. CONTI, M.C. VALERIO, J.P. ZBILUT, and A. GIULIANI, „Will Systems Biology Offer New Holistic Paradigms to Life Sciences?”, *Systems and Synthetic Biology* 2007, vol. 1, s. 161-165, doi: 10.1007/s11693-008-9016-1; H.W. ENGL, C. FLAMM, P. KUGLER, J. LU, S. MULLER, and P. SCHUSTER, „Inverse Problems in Systems Biology”, *Inverse Problems* 2009, vol. 25, s. 123014, doi: 10.1088/0266-5611/25/12/123014; D. GATHERER, „So What Do We Really Mean When We Say That Systems Biology Is Holistic?”, *BMC Systems Biology* 2010, vol. 4, s. 22, doi: 10.1186/1752-0509-4-22.

¹⁵ R. RUSHMER, „All Systems Go [System Biology]”, *Professional Engineering* 2007, vol. 20, s. 37-38.

Biologowie i biofizycy, badając układy biologiczne, uczą się teraz myśleć jak *inżynierowie*.

Musimy tu poczynić ważne rozróżnienie. Chociaż dla wielu ludzi inżynieria i fizyka są zasadniczo podobne, ponieważ inżynieria korzysta z licznych zasad fizyki, w praktyce podejścia tych dyscyplin są zupełnie odmienne. Świat fizyki zdominowało myślenie oddolne, wychodzące od pierwszych zasad. W wielu przypadkach sprowadzało się to do obrania mikroskopowych elementów układu za punkt wyjścia, ale nawet w dyscyplinach fizycznych, które zajmują się sferą makroskopową, głównym przedmiotem zainteresowania były elementarne, uniwersalne zasady, takie jak „prawa skalowania”. Zgodnie z nadrzędnym paradygmatem w fizyce proste, nieteleologiczne reguły w końcu wyjaśniają wszystko. Nawet emergentne zachowanie w złożonych układach traktuje się jako wynik prostych oddziaływań.¹⁶

Inżynieria przyjmuje natomiast podejście odgórne, które jest jawnie teleologiczne. Określa się cel i części organizuje się tak, by ten cel osiągnąć. Można korzystać z podstawowych zasad fizycznych lub nie, co uzależnia się od tego, czy są one pomocne. Zasady inżynieryjne są zasadniczo zasadami *projektowymi*, nie zaś redukjonistycznymi. Studenci inżynierii uczą się dobrych sposobów rozwiązywania problemów, aby osiągnąć ustalone wcześniej cele, tak samo jak studenci fizyki uczą się uniwersalnych praw fizycznych.

Podejście redukjonistyczne, podobne do przyjmowanego w fizyce, było dominującym paradygmatem w biologii od Oświecenia, ale biologowie systemowi argumentują, że redukjonizm osiągnął już kres swojej użyteczności.¹⁷ Nawet ten rodzaj redukjonistycznej fizyki, który koncentruje się na uniwersalnych zachowaniach, jak prawa skalowania, ma ograniczoną wartość w biologii.¹⁸ Natomiast nowy paradygmat nawołuje do przyjęcia podejścia wyraźnie

¹⁶ Por. G. NICOLIS and I. PRIGOGINE, **Self-Organization in Non-Equilibrium Systems. Dissipative Structures to Order through Fluctuations**, John Wiley and Sons, New York 1977; I. PRIGOGINE i I. STENGERS, **Z chaosu ku porządkowi. Nowy dialog człowieka z przyrodą**, przeł. Katarzyna Lipszyc, *Biblioteka Myśli Współczesnej*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1990.

¹⁷ Por. M. MORANGE, „The Death of Molecular Biology?”, *History and Philosophy of the Life Sciences* 2008, vol. 30, s. 31-42; H.-J. RHEINBERGER, „What Happened to Molecular Biology?”, *BioSocieties* 2008, vol. 3, s. 303-310, doi: 10.1017/S1745855208006212.

¹⁸ Por. E.F. KELLER, „A Clash of Two Cultures”, *Nature* 2007, vol. 445, s. 603, doi: 10.1038/445603a.

przypominającego podejście inżynierskie, w którym mówi się o celach projektowych. Choć nie wszyscy przedstawiciele tej dyscypliny zgadzają się na korzystanie z terminologii inżynierskiej, to nawet ci, którzy nie lubią słowa „inżynieria”, i tak posługują się teleologicznymi terminami przypominającymi terminy inżynierskie. Na przykład Wolkenhauer i Mesarovic, w eseju krytykującym posługiwanie się terminami inżynierskimi, piszą:

Musimy przede wszystkim być świadomi, że aby coś kontrolować, regulować lub koordynować, należy zadbać o adaptację, utrzymanie, optymalizację. Milcząco przyjmujemy więc, że musi istnieć jakiś *cel* lub *przedmiot do osiągnięcia*.¹⁹

Holistyczne czy emergentystyczne podejście biologii systemowej nie polega zatem jedynie na tym, że uwagę skupia się na większych układach lub oddziaływaniach między częściami. Ten płodny nowy paradygmat ma również umożliwiać patrzenie na większe układy z perspektywy inżyniera poszukującego jakiegoś celu. W 2001 roku argumentowałem, że do przyjęcia takiej właśnie perspektywy powinna powodzić teoria inteligentnego projektu.

Metody inżynierskie w biologii systemowej

Poszukiwanie układów biologicznych, które mają cechy skomplikowanych systemów inżynierskich, czyli takich, które wyglądają jak układy wytworzone metodami rozwijanymi przez ludzkich inżynierów przez ostatnie kilkadziesiąt lat do realizowania skomplikowanych zadań, stało się niezwykle płodnym paradygmatem w biologii.

Stabilność działania dzięki ujemnemu sprzężeniu zwrotnemu

Każdy, kto odbył kurs wprowadzający do elektroniki, wie o wszechobecnym narzędziu inżynierskim, jakim jest ujemne sprzężenie zwrotne. Przypuśćmy, że chcemy wzmocnić słaby sygnał wejściowy. W przypadku układu o dużym wzmocnieniu można wyobrazić sobie, że niewielkie zmiany we wzmacniaczu, na przykład spowodowane fluktuacjami temperatury, mogą prowadzić do

¹⁹ O. WOLKENHAUER and M. MESAROVIC, „Feedback Dynamics and Cell Function: Why Systems Biology Is Called Systems Biology”, *Molecular BioSystems* 2005, vol. 1, s. 14-16, doi: 10.1039/B502088N [wyróżnienie w oryginale].

dużych zmian na wyjściu. W układzie z ujemnym sprzężeniem zwrotnym mała część tego, co jest na wyjściu, jest czerpana i odejmowana z tego, co jest na wejściu. Jeśli więc wielkość na wyjściu za bardzo się zwiększy, natychmiast zmaleje ona na wejściu, co z kolei zmniejszy wielkość na wyjściu; a jeżeli wielkość na wyjściu będzie zbyt mała, to wielkość na wejściu wzrośnie, przez to znowu zwiększając ją na wyjściu. W rezultacie uzyskuje się stabilne wzmocnienie, które cechuje się mniejszą czułością na zmiany warunków środowiska. W świecie biologii istnieje wiele takich układów.²⁰

Progowanie i odróżnianie

Z drugiej strony inną wszechobecną metodą inżynierską jest stosowanie dodatniego sprzężenia zwrotnego, gdzie siła wyjścia jest dodawana do siły wejścia, a nie odejmowana. Choć w niektórych przypadkach takie rozwiązanie może prowadzić do niepożądanych skutków (na przykład do znanego wszystkim pisku mikrofonu, gdy przejmie zbyt silny sygnał z głośników w pomieszczeniu), to jest też bardzo przydatne w układach, ponieważ umożliwia progowanie pozwalające na odróżnianie sygnałów od szumu tła. W metodzie tej ustawia się poziom progów, a sygnały przekraczające ten poziom są silnie wzmacniane, zaś te, które znajdują się poniżej tego poziomu, są ignorowane. Dzięki temu układy mogą podejmować decyzje nawet w obecności niewyraźnych lub zaszumionych sygnałów na wejściu.²¹

Wiele układów biologicznych wykorzystuje bardzo skomplikowane metody progowania, w których poziom progów nie jest stały, lecz zmienia się w zależności od potrzeb układu w danym czasie. Na przykład ludzkie oczy i wiele innych

²⁰ Por. KITANO, „Computational Systems Biology...”; L.P. KADANOFF, „Hip Bone Is Connected to... II”, *Physics Today* 2009, vol. 62, s. 8-9, doi: 10.1063/1.3099588; K.C. TU, T. LONG, S.L. SVENNINGSEN, N.S. WINGREEN, and B.L. BASSIER, „Negative Feedback Loops Involving Small Regulatory RNAs Precisely Control the *Vibrio harveyi* Quorum-Sensing Response”, *Molecular Cell* 2010, vol. 37, s. 567-579, doi: 10.1016/j.molcel.2010.01.022.

²¹ Por. Y.B. ZHANG, K. CHEN, J. WANG, A. CHEN, and T. ZHOU, „Positive Feedback-Assisted Short/Long-Range Cell Signalings in MAPK Cascades”, *International Journal of Modern Physics C* 2009, vol. 20, s. 1769-1787, doi: 10.1142/S0129183109014722.

detektorów w organizmach żywych zwiększa swoją czułość przy słabych sygnałach, a zmniejsza, gdy sygnały są silne.²²

Filtrowanie częstotliwości

Jednym ze sposobów wydobycia sygnału z szumu tła jest wykorzystanie filtrowania amplitudy w wyżej opisanym układzie progowym. Jeszcze innym jest filtrowanie częstotliwości, w którym wzmacniane są tylko sygnały o pewnej okresowości. Inżynierowie dobrze znają tę metodę pod nazwą detekcji „fazozczulej” (*lock-in*). Dzieje się to także w układach ożywionych.²³

Kontrola i sygnalizowanie

Wszystkie rodzaje układów inżynierskich posiadają systemy kontroli i regulacji, dzięki którym wykrywane są warunki otoczenia, a układ reaguje, wysyłając odpowiednie sygnały do podsystemów w celu wywołania odpowiedzi. W układach biologicznych i tym razem dostrzegamy liczne przykłady wszystkich tych aspektów kontroli: detekcję, decyzje i sygnalizowanie innym układom, aby spowodować reakcję.²⁴ Mechanizmy kontrolne bardzo często opisy-

²² Por. C.H. HANSEN, R.G. ENDRES, and N.S. WINGREEN, „Chemotaxis in *Escherichia coli*: A Molecular Model for Robust Precise Adaptation”, *PLoS Computational Biology* 2008, vol. 4, s. e1, doi: 10.1371/journal.pcbi.0040001; R.G. ENDRES and N.S. WINGREEN, „Precise Adaptation in Bacterial Chemotaxis Through «Assistance Neighborhoods»”, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 2006, vol. 103, s. 13040-13044, doi: 10.1073/pnas.0603101103.

²³ Por. Y.X. LI and A. GOLDBETER, „Pulsatile Signaling in Intercellular Communication — Periodic Stimuli Are More Efficient than Random or Chaotic Signals in a Model Based on Receptor Desensitization”, *Biophysical Journal* 1992, vol. 61, s. 161-171, doi: 10.1016/S0006-3495(92)81824-6; M. MARHL and V. GRUBELNIK, „Role of Cascades in Converting Oscillatory Signals into Stationary Step-Like Responses”, *Biosystems* 2007, vol. 87, s. 58-67, doi: 10.1016/j.biosystems.2006.03.004; A. GOLDBETER, „Oscillations and Waves of Cyclic AMP in *Dicyostelium*: A Prototype for Spatio-Temporal Organization and Pulsatile Intercellular Communication”, *Bulletin of Mathematical Biology* 2006, vol. 68, s. 1095-1109, doi: 10.1007/s11538-006-9090-z.

²⁴ Por. C.L. WEI, X.H. WANG, M. CHEN, K.F. OUYANG, M. ZHENG, and H.P. CHENG, „Flickering Calcium Microdomains Signal Turning of Migrating Cells”, *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 2010, vol. 88, s. 105-110, doi: 10.1139/Y09-118; M. STEVENSE, T. MURAMOTO, I. MULLER, and J.R. CHUBB, „Digital Nature of the Immediate-Early Transcriptional Response”, *Development* 2010, vol. 137, s. 579-584, doi: 10.1242/dev.043836.

wane są w kategoriach „podejmowania decyzji” przez układ, to jest stosownych odpowiedzi nakierowanych na realizację jakiegoś celu.

Przechowywanie informacji

Istnienie sygnałów kontrolnych zakłada informowanie. Układy biologiczne także przechowują informację dla późniejszego użytku. W każdym takim wypadku informacja „reprezentuje” jakiś stan fizyczny, który nie jest zrealizowany.²⁵

Tezę, że układy biologiczne korzystają z informacji, uznawano niekiedy za kontrowersyjną.²⁶ Rewolucja w biologii systemowej zakłada, że układy biologiczne zarówno wykorzystują, jak i przechowują informacje w różnorodnych sytuacjach. Vincent, Bogatyreva i Bogatyrev piszą, że „Podczas gdy technologia wykorzystuje energię jako główny środek rozwiązywania problemów technicznych, biologia wykorzystuje informację i strukturę”.²⁷ Bill Bialek twierdzi, że „Pokolenie fizyków, którzy w latach trzydziestych dwudziestego wieku zwrócili się w stronę zjawisk życia, uświadomiło sobie, że zrozumienie tych zjawisk wymaga prześledzenia nie tylko przepływu energii (jak w przypadku układów nieożywionych), ale i przepływu informacji”.²⁸ Allarakhia i Wensley piszą, że

Przemysł farmaceutyczny stopniowo ewoluował z paradygmatu opartego wyłącznie na chemii w paradygmat oparty na informacji. Wraz z ukończeniem projektu poznania genomu ludzkiego wiedzę związaną z odkrywaniem leków coraz częściej uznaje się za część biologii systemowej. Biologia systemowa nie koncentruje się na pojedynczych

²⁵ Por. T.C. NI and M.A. SAVAGEAU, „Application of Biochemical Systems Theory to Metabolism in Human Red Blood Cells — Signal Propagation and Accuracy of Representation”, *The Journal of Biological Chemistry* 1996, vol. 271, s. 7927-7941, doi: 10.1074/jbc.271.14.7927; H.H. PATTEE, „Epistemic, Evolutionary, and Physical Conditions for Biological Information”, *Biosemiotics* 2013, vol. 6, s. 9-31, doi: 10.1007/s12304-012-9150-8.

²⁶ Por. S. MEYER, **Signature in the Cell**, HarperCollins, New York 2009, s. 85-111.

²⁷ J.F.V. VINCENT, O. BOGATYREVA, and N. BOGATYREV, „Biology Doesn't Waste Energy: That's Really Smart”, *Proceedings of SPIE* 2006, vol. 6168, s. 616801, doi: 10.1117/12.682174.

²⁸ W. BIALEK, „Optimizing Information Flow in Biological Networks”, *Bulletin of the American Physical Society* 2009, vol. 54, s. W7/1.

bitach informacji w danym czasie, lecz rozpatruje zachowanie i związki wszystkich jednostek informacji w danym układzie biologicznym z perspektywy funkcjonalnej.²⁹

oraz że

Ten paradygmat [biologii systemowej] wspiera pogląd, że biologia *jest zasadniczo nauką informacyjną*, w której informacja działa na wielu hierarchicznych poziomach oraz w złożonych sieciach.³⁰

Kolch pisze:

Czym jest biologia systemowa i — co ważniejsze — do czego może nam się przydać? Oto pogląd biochemika, który pracując nad komórkowymi szlakami transdukcji sygnału jest coraz bardziej zdumiony pewną bardzo paradoksalną obserwacją. Szlaki sygnału transdukcji gromadzą liczne rodzaje informacji w postaci hormonów, czynników wzrostu lub bezpośrednich sygnałów poprzez kontakt z sąsiednimi komórkami. Te różne rodzaje informacji są przekazywane, przetwarzane i integrowane przez enzymy i ich biochemiczne reakcje, które tworzą hardware szlaków sygnałowych. Wreszcie, zwykle istnieje specyficzna i powtarzalna odpowiedź biologiczna, która jest stosowna do bodźca, a także wpasowuje się w szerszy kontekst tkanki lub organizmu. Oto Święty Graal, który spędza nam sen z powiek: zrozumieć biochemiczną podstawę biologicznego procesu podejmowania decyzji.³¹

W literaturze biologii systemowej znaleźć można tak wiele podobnych cytatów wskazujących, że argumentowanie, iż informacja nie jest właściwym pojęciem w odniesieniu do układów biologicznych, po prostu nie ma sensu. Biologia systemowa korzysta w szczególności z nowych paradygmatów wypracowanych w ramach teorii informacji i inżynierii komputerowej.

²⁹ M. ALLARAKHIA and A. WENSLEY, „Systems Biology: Melting the Boundaries in Drug Discovery Research. Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries”, *IEEE* 2005, Cat. No. 05CH37666, s. 262-274, doi: 10.1109/PICMET.2005.1509700.

³⁰ ALLARAKHIA and WENSLEY, „Systems Biology: A Disruptive...” [wyróżnienie dodane].

³¹ W. KOLCH, „Defining Systems Biology: Through the Eyes of a Biochemist”, *IET Systems Biology* 2008, vol. 2, s. 5-7, doi: 10.1049/iet-syb:20070060.

Taktowanie i synchronizacja

Jak w każdym systemie obliczeniowym, który wykonuje działania w odpowiedzi na zewnętrzne bodźce oraz przechowywaną wewnątrz informację, taktowanie i kolejność są czynnikami kluczowymi. Układy biologiczne mają zatem zegary i wyszukaną strukturę odpowiadającą za synchronizację różnych procesów, gdzie równocześnie działają włączniki, opóźniacze i różne cykle zegarowe.³²

Adresowanie

Aby sygnały były użyteczne, muszą docierać do zamierzonych celów. Sygnały biologiczne bardzo rzadko po prostu krążą dokoła, aż trafią do zamierzonego celu wskutek losowego ruchu. Zwykle są one oznaczone adresami i zmierzają do swoich celów, podobnie jak układy inżynierskie w rodzaju systemu dostawczego Federal Express dostarczają przesyłki do punktów docelowych.³³ Wprawdzie cząsteczki wykonują losowe ruchy termiczne i jest to ważny czynnik w komórkach, ale te losowe ruchy są ograniczane i wykorzystywane przez układy biologiczne do bardzo szczególnych zadań, pełniąc na przykład rolę zapadek termalnych, które przetwarzają ruch losowy na jednokierunkowy, albo portali przepuszczających tylko obiekty o określonych konfiguracjach.

³² Por. D. AUBEL and M. FUSSENEGGER, „Watch the Clock — Engineering Biological Systems to Be on Time”, *Current Opinion in Genetics & Development* 2010, vol. 20, s. 634-643, doi: 10.1016/j.gde.2010.09.003; F. DI CARA and K. KING-JONES, „How Clocks and Hormones Act in Concert to Control the Timing of Insect Development”, w: A.E. ROUGVIE and M.B. O’CONNOR (eds.), *Current Topics in Developmental Biology*, vol. 105, Academic Press, New York 2013, s. 1-36, doi: 10.1016/B978-0-12-396968-2.00001-4.

³³ Por. P. ROBINET, L. MOLLET, P. GONZALEZ, T. NORMAND, S. CHARPENTIER *et al.*, „The Mitogalin Protein Is Addressed to the Nucleus via a Non-Classical Localization Signal”, *Biochemical and Biophysical Research Communications* 2010, vol. 392, s. 53-57, doi: 10.1016/j.bbrc.2009.12.162; M. KERSZBERG, „Genes, Neurons and Codes: Remarks on Biological Communication”, *Bioessays* 2003, vol. 25, s. 699-708, doi: 10.1002/bies.10304; A. SOZA, A. NORAMBUENA, J. CANCINO, E. DE LA FUENTE, P. HENKLEIN, and A. GONZALEZ, „Sorting Competition with Membrane-Permeable Peptides in Intact Epithelial Cells Revealed Discrimination of Transmembrane Proteins Not Only at the Trans-Golgi Network But Also at Pre-Golgi Stages”, *The Journal of Biological Chemistry* 2004, vol. 279, s. 17376-17383, doi: 10.1074/jbc.M313197200.

Hierarchie funkcji

Każdy programista komputerowy i każdy projektant układów elektronicznych zna znaczenie modułowości, czyli tworzenia urządzeń, które wykonują podzadania i które można włączyć do struktur wyższego poziomu, które z kolei da się włączyć do struktur jeszcze wyższego poziomu. Początkujący użytkownicy komputerów znają inną tego odmianę: zdolność do przechowywania danych w folderach, które można umieścić w innych folderach, co umożliwi łatwe posługiwanie się dużymi zbiorami danych. Ten sam rodzaj struktury występuje w układach biologicznych.³⁴

Redundancja

Układy dobrze zaprojektowane mają systemy zapasowe lub bezpieczeństwa na wypadek dysfunkcji istotnych układów. Tak samo jest w układach biologicznych, w przypadku których często nazywane jest to „degeneracją”.³⁵ Oczywiście redundancja występuje w biologii na poziomie narządów (dwie nerki, dwa jajniki i tak dalej), ale też na poziomie mikroskopowym. W wielu przypadkach najsensowniej jest polegać na systemach zapasowych dopiero wtedy, gdy zawiedzie główny układ. Wymaga to dodatkowych systemów detekcji i włączników. Z redundancją wiąże się projektowa równowaga, ponieważ zbyt duża redundancja pociąga za sobą zbyt duże koszty utrzymywania nieużywanych systemów.

³⁴ POŁ. Y. MILEYKO, H. EDELSBRUNNER, C.A. PRICE, and J.S. WEITZ, „Hierarchical Ordering of Reticular Networks”, *PLoS One* 2012, vol. 7, s. e36715, doi: 10.1371/journal.pone.0036715; R. SUBRAMANIAM and C. RAMPITSCH, „Towards Systems Biology of Mycotoxin Regulation”, *Toxins* 2013, vol. 5, s. 675-682, doi: 10.3390/toxins5040675; M. BERTOLASO, „Breaking Down Levels of Biological Organization”, *Theoretical Biology Forum* 2013, vol. 106, s. 49-71.

³⁵ POŁ. G.M. EDELMAN and J.A. GALY, „Degeneracy and Complexity in Biological Systems”, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 2001, vol. 98, s. 13763-13768, doi: 10.1073/pnas.231499798; J. WHITACRE and A. BENDER, „Degeneracy: A Design Principle for Achieving Robustness and Evolvability”, *Journal of Theoretical Biology* 2010, vol. 263, s. 143-153, doi: 10.1016/j.jtbi.2009.11.008.

Adaptacja

Być może najbardziej wyrafinowanym typem inżynierii jest inżynieria adaptacyjna (na przykład „materiały inteligentne”), w której układ jest zaprogramowany do zmiany swojej ogólnej konfiguracji w odpowiedzi na zmiany środowiska.

Ta adaptacyjna odpowiedź może się nawet rozciągać na procesy długo uznawane za procesy ewolucyjne. James Shapiro³⁶ z University of Chicago oraz Michael Deem³⁷ z Rice University argumentowali, że duża część adaptacji obserwowanych we współczesnych układach ożywionych, na przykład odporność bakterii, nie powstała wskutek procesów losowych, lecz jest produktem bardzo wyrafinowanych układów rozwiązywania problemów. Układy te posługują się randomizacją kontrolowaną przez supersystemy, podobnie jak układ immunologiczny wykorzystuje randomizację w sposób ściśle kontrolowany. W przypadku odporności bakterii, jak również układu immunologicznego i być może wielu innych systemów, układ nie pozwala na losowe zmiany i jest dość stabilny (na przykład dzięki korygowaniu błędów w genach), aż do momentu wykrycia jakiejś zewnętrznej presji. Gdy taka presja się pojawi, układ uruchamia nowy proces, który generuje losowe rozwiązania. Jedynie część układu może zmieniać się losowo, zaś reszta pozostaje niemal bez zmian. Kiedy dzięki tej wysoce równoległej metodzie rozwiązywania problemów zostanie znalezione dobre rozwiązanie, sygnał rozpoznający uzyskanie pożądanego skutku wyłącza proces randomizacji. Deem sugeruje, że ten rodzaj układu adaptacyjnego, który obecnie wygląda na skomplikowany wytwór projektu, powstał w wyniku znacznie wcześniejszych, niewykrywalnych procesów ewolucyjnych. W kategoriach inżynierskich takie układy zostałyby uznane jednak za wysoce wyrafinowane produkty inżynierii adaptacyjnej.

³⁶ Por. J. SHAPIRO, *Evolution: A View From the 21st Century*, FT Press/Pearson, Upper Saddle River, New Jersey 2011, s. 2.

³⁷ Por. M. DEEM, „Life Has Evolved to Evolve”, *Bulletin of the American Physical Society* 2006, vol. 51, s. R7/2.

Ogólne założenia inżynieryjne w biologii systemowej

Wszystkie wyżej omówione metody reprezentują szczególne projektowe elementy, jakie biologia systemowa zaczęła wydobywać z danych. Ten postęp nastąpił, gdy przedstawiciele biologii systemowej za punkt wyjścia przyjęli podstawowe koncepcje inżynieryjne i poszukiwali podobnych procesów w układach biologicznych. Wymaga to przyjęcia różnych założeń lub oczekiwań na temat rozpatrywanego rodzaju układu. Założenia te funkcjonują jako podstawowe „prawa”, które umożliwiają formułowanie przewidywań dotyczących układów biologicznych.

Teleologia

Cały paradygmat biologii systemowej polega na analizie układów i ustalaniu, „do czego” one służą. Jest to paradygmat myślenia „odgórnego”, a nie „odolnego” — punktem wyjścia jest jakiś cel, po czym rozumuje się wstecz, aby dowiedzieć się, co jest niezbędne i użyteczne do jego osiągnięcia.

Obecnie w biologii systemowej jawnie i powszechnie wykorzystywany jest język teleologii. Nawet samo słowo „teleologia” zyskuje coraz większą akceptację. Bud Mishra sądzi, że „kwestie teleologiczne [...] najprawdopodobniej znajdują się w centrum naszej uwagi, gdy będziemy rozważać ostateczne przyczyny w biologii”.³⁸ Warto przytoczyć dłuższy fragment eseju Arthura Landera, zatytułowanego „A Calculus of Purpose” [Rachunek celu]:

Dlaczego niebo jest niebieskie? Odpowiadając na to pytanie, każdy naukowiec wskaże odpowiedni mechanizm: gaz atmosferyczny rozprasza pewne długości fali światła bardziej niż inne. Naukowemu umysłowi nie przyszłoby na myśl odpowiedź wskazująca na celowość tego zjawiska — na przykład, że niebo jest niebieskie, aby uszczęśliwić ludzi. Ale w biologii często stawiamy pytania „dlaczego”, w których interesuje nas cel, a nie mechanizm. Pytanie „dlaczego oko ma soczewkę?” najczęściej wymaga odpowiedzi, że zadaniem soczewki jest skupianie promieni świetlnych, a tylko rzadko udziela się odpowiedzi, że w oku jest soczewka, ponieważ komórki soczewki powstają pod wpływem siatkówki z przylegającej ektodermy.

³⁸ MISHRA, „Intelligently Deciphering Unintelligible Designs...”.

[...] Jako grupa, biologowie molekularni stronią od kwestii teleologicznych, być może dlatego, że wczesne postawy w biologii molekularnej ukształtowali fizycy i chemicy. Nawet genetycy rygorystycznie definiują funkcję nie ze względu na to, że geny robią użyteczne rzeczy, lecz skupiając się na tym, co się dzieje, gdy gen ulega zmianie. Biologia molekularna i genetyka molekularna nadal mogłyby unikać kwestii teleologicznych, gdyby nie zdumiewające ostatnie sukcesy tych dyscyplin. Mechanistyczne informacje na temat działania i wzajemnego oddziaływania wielości genów i ich produktów gromadzone są teraz w tak szybkim tempie, że nasza niezdolność do dokonania syntezy tych informacji w spójną całość wywołuje coraz większą frustrację. Regulacja genów, wewnątrzkomórkowe szlaki sygnalizacyjne, sieci metaboliczne, programy rozwojowe — obecny zalew informacji ujawnia tak dużą złożoność, że biologowie molekularni muszą zmagać się z pytaniem teleologicznym: jaki cel ma cała ta złożoność?

[...] Badania takich sieci koncentrują się nie na dokładnych wartościach danych wyjściowych, lecz na jakościowym zachowaniu, na przykład, czy dana sieć działa jako „przełącznik”, „filtr”, „oscylator”, „regulator zakresu dynamicznego”, „generator prązków” i tak dalej. Badając, jak takie zachowania zmieniają się przy różnych ustawieniach parametrów — co nazywane jest „eksploracją przestrzeni parametrów” — uzyskujemy pełny obraz wszystkich możliwych rodzajów zachowań takich sieci. Jeżeli jedno takie zachowanie wydaje się użyteczne (dla organizmu), to staje się ono kandydatem do wyjaśnienia, dlaczego wybrana została sama sieć, to jest postrzega się je jako potencjalny cel tej sieci. Jeśli następnie eksperymenty potwierdzają przynależność obserwowanych wartości parametrów do zakresu przestrzeni parametrów, które generują takie zachowanie, to ów potencjalny cel staje się prawdopodobny.

[...] Na podstawie tych i innych przykładów z literatury można zacząć dostrzegać różne elementy, które, gdy występują razem, wnoszą badania biologii obliczeniowej na poziom wchodzący w obszar poważnego zainteresowania zwykłych biologów. Takimi elementami są między innymi topologie sieciowe zakotwiczone w danych eksperymentalnych, precyzyjna eksploracja dużych przestrzeni parametrów, identyfikacja „użytecznych” zachowań sieci oraz oparte na hipotezach analizy matematycznych lub statystycznych podstaw takich zachowań. Elementy te można uznać za fundament nowego rachunku celu, umożliwiającego biologom zbadanie tak bardzo pomijanej teleologicznej strony biologii molekularnej. Pytanie „jaki cel ma cała ta złożoność?” może wkrótce przestać być pytaniem, które ośmielają się stawiać tylko nieliczni biologowie, a stać się pytaniem cisnącym się na usta wszystkich.³⁹

³⁹ A.D. LANDER, „A Calculus of Purpose”, *PLoS Biology* 2004, vol. 2, s. e164, doi: 10.1371/journal.pbio.0020164.

Dzięki biologii systemowej staje się empirycznym faktem, że pytanie o to, „do czego” coś służy, i rozumowanie wstecz, by sprawdzić, jak to działa, to użyteczny paradygmat badawczy.

Optymalizacja

Oczekiwanie, że układy ożywione mają cel, to część ogólniejszego założenia, że takie układy są niemal optymalnie dostosowane do określonych sposobów działania. Innymi słowy, rozpatrując jakąś część lub jakieś nieznanne działanie, zakłada się, że mają one jakiś cel. Kryje się za tym przypuszczenie, że niemalże wszystko w komórce rzeczywiście odgrywa jakąś rolę, to znaczy, że komórka zawiera niewiele „śmieci”.

Niektórzy biologowie systemowi wychodzą poza założenie, że każdy, nawet najmniejszy, element służy pewnemu celowi. Argumentują oni nie tylko, że każdy element spełnia swój cel, lecz *również, że jest on fizycznie możliwy*.

Bill Bialek, biofizyk z Princeton, z ewangelicznym zacięciem propagował ten pogląd podczas publicznych przemówień w całym kraju. Przywołując takie przykłady jak słuch nietoperza (mający nanosekundową rozdzielczość, czyli tak dobrą, jak to tylko możliwe, zważywszy na fizyczne ograniczenia fal dźwiękowych w powietrzu) czy sygnalizacja segmentacji zarodka (ze zdolnością do detekcji pojedynczych cząsteczek), argumentuje on, że działanie prawie wszystkich układów biologicznych jest niemalże najlepsze z możliwych. Przy wielu celach funkcjonalnych optymalizacja stanowi najlepszy możliwy kompromis, a jeżeli cele nie są ze sobą sprzeczne, to optymalizację ograniczają wyłącznie fizyczne uwarunkowania narzucane przez prawa przyrody. Według Bialka nie jest to tylko nieuzasadnione przypuszczenie, lecz fakt potwierdzony eksperymentalnie przez liczne udane ilościowe przewidywania. Jest to „rzeczywista” teoria biologiczna:

Choć ideę, że przepływ informacji jest zoptymalizowany, niekiedy przesłaniają rozważania na temat poszczególnych układów, jest ona czymś więcej niż tylko zbiorem sparametryzowanych modeli — to kandydatka na rzeczywistą teorię sieci biologicznych.⁴⁰

⁴⁰ BIALEK, „Optimizing Information Flow...”.

Uzyskanie [...] optymalnej wydajności informacyjnej wymagałoby, aby wykorzystywany przez komórkę zakres dynamiczny koncentracji TF [czynnika transkrypcyjnego — *transcription factor*], związek między wejściem a wyjściem modułu regulacyjnego oraz zakłócenia ekspresji genów spełniały pewne odkrywane przez nas relacje skojarzeniowe. Na tej podstawie można formułować niesparametryzowane, ilościowe przewidywania łączące niezależnie mierzalne wielkości. Chociaż rozważyliśmy tylko uproszczony problem jednego genu reagującego na jeden TF, okazuje się, że te przewidywania są zdumiewająco zgodne z wynikami ostatnich eksperymentów.⁴¹

Założenie optymalizacji umożliwia, jak nigdy dotąd, ilościowe, predykcyjne modelowanie układów biologicznych, ponieważ pozwala na wykorzystanie wszystkich stosowanych w inżynierii systemów metod ograniczonej optymalizacji.⁴² Można zdefiniować ograniczenia, próbować odgadnąć funkcjonalny cel (teleologię) i następnie stworzyć numeryczny model, aby osiągnąć ten cel w ramach założonych ograniczeń. Posługując się językiem matematyki, należy stwierdzić, że umożliwia to ustalenie pierwszych pochodnych równych zero. Jeżeli jest więcej celów niż jeden, można obliczyć względny koszt kompromisu między różnymi celami. Jak wyraził się J.R. BANGA w artykule „Optimization in Computational Systems Biology” [Optymalizacja w obliczeniowej biologii systemowej]:

Kluczowe elementy matematycznych problemów optymalizacji to zmienne decyzyjne (te, które mogą się zmieniać w trakcie poszukiwania najlepszego rozwiązania), funkcja celu (wskaźnik wykonania, który określa ilościowo jakość rozwiązania zdefiniowanego przez zbiór zmiennych decyzyjnych i który można zmaksymalizować lub zminimalizować) oraz ograniczenia (wymogi, które muszą być spełnione, wyrażane zwykle w postaci równości lub nierówności).⁴³

⁴¹ G. TKACIK, G.G. CALLAN, and W. BIALEK, „Information Flow and Optimization in Transcriptional Regulation”, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 2008, vol. 105, s. 12265-12270, doi: 10.1073/pnas.0806077105.

⁴² Por. E. BALSALCANTO and J.R. BANGA, „AMIGO, a Toolbox for Advanced Model Identification in Systems Biology Using Global Optimization”, *Bioinformatics* 2011, vol. 27, s. 2311-2313, doi: 10.1093/bioinformatics/btr370; E. BALSALCANTO, J.R. BANGA, J.A. EGEA, A. FERNANDEZ-VILLAVARDE, and G.M. DE HUAS-LISTE, „Global Optimization in Systems Biology: Stochastic Methods and Their Applications”, w: I.I. GORYANIN and A.B. GORYACHEV (eds.), *Advances in Systems Biology, Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 736, Springer, Berlin 2012, s. 409-424, doi: 10.1007/978-1-4419-7210-1_24.

⁴³ J.R. BANGA, „Optimization in Computational Systems Biology”, *BMC Systems Biology*

Innymi słowy, zakłada się, że niezwykle złożone układy biologiczne są złożone dlatego, że jest to najlepszy sposób osiągnięcia celów organizmu. Nie zakłada się, że układy te mają bezużyteczne lub dysfunkcjonalne części.

Oczywiście wielu badaczy, jak Avise,⁴⁴ stanowczo argumentowało, że układy biologiczne na ogół nie są zoptymalizowane, co ma przemawiać przeciwko teorii inteligentnego projektu. Jak już kiedyś przekonywałem,⁴⁵ pewien stopień suboptymalności jest spodziewany w każdym układzie inżynieryjnym. Możemy dojść do wniosku, że projekt układu nie jest optymalny albo 1) dlatego, że nie wiemy, jakie były wszystkie cele projektu (na przykład kołpaki Mercedesa Benz mogą nie być tak aerodynamiczne, jak byśmy chcieli, ale mogły być zaprojektowane tak, aby ładnie wyglądały), albo 2) dlatego, że układ z czasem uległ częściowej degeneracji. Problem optymalności nadal stanowi przedmiot sporów, jednak w biologii systemowej zauważalna jest tendencja do coraz większego szacunku dla przybliżonej optymalności układów ożywionych.

Wytrzymałość

Konsekwencją dobrego projektu jest wytrzymałość: zdolność układu do przetrwania zmian środowiska i stabilnego funkcjonowania. Jest to również założenie biologii systemowej. Jak pisze Lander:

Ponieważ rzeczywiste organizmy stają w obliczu zmieniających się wartości parametrów — czy to na skutek niestabilnych warunków środowiskowych, czy ze względu na mutacje prowadzące do dezaktywacji jednego allelu genu — wytrzymałość stanowi niezwykle wartościową cechę sieci biologicznych, wartościową w takim wielkim stopniu, że niektórzy uznają ją za warunek konieczny. W istocie głównym przesłaniem artykułu von Dassowa było to, że autorzy odkryli „wytrzymały moduł rozwojowy”, który może zagwarantować utworzenie odpowiedniego wzorca u odlegle spokrewnionych

2008, vol. 2, s. 47, doi: 10.1186/1752-0509-2-47.

⁴⁴ Por. J.C. AVISE, *Inside the Human Genome: A Case for Non-Intelligent Design*, Oxford University Press, Oxford 2010.

⁴⁵ Por. D.W. SNOKE, „Jak w zaprojektowanym Wszechświecie zdefiniować to, co niezaprojektowane”, przeł. Dariusz Sagan, *Filozoficzne Aspekty Genezy* 2009/2010, t. 6/7, s. 117-137, <http://www.nauka-a-religia.uz.zgora.pl/images/FAG/2009-2010.t.6-7/art.09.pdf> (29.09.2015).

gatunków owadów, u których najwcześniejsze etapy embriogenezy bardzo się od siebie różnią.⁴⁶

Wytrzymałość przejawia się nie tylko w zdolności pojedynczego organizmu do funkcjonowania w zmieniającym się środowisku, ale również w zdolności określonego rodzaju organizmów do przetrwania w wielu formach i w różnych ekosystemach. Spektakularnym tego przykładem są pewne typy owadów, które mimo bardzo różnych rozmiarów (różniących się o rzędy wielkości) mają bardzo podobne plany budowy ciała. Może wydawać się to niezbyt zaskakujące, ale w istocie jest dość trudne do zrealizowania. Każda komórka jajowa jest na początku jednorodną kulką, a dzieli się na segmenty owadziego ciała dzięki sygnałowi chemicznemu, który rozpoczyna swoje funkcjonowanie na jednym końcu komórki jajowej i uruchamia różnicowanie się pewnych komórek, gdy sygnał spada poniżej wstępnie ustalonej koncentracji. Jeśli komórka jajowa jest większa i jeśli sygnał się nie zmienia, to przedyfunduje on wzdłuż komórki jajowej tę samą odległość, która będzie proporcjonalnie mniejsza od długości komórki. Z tego wynika, że wielkość segmentów nie będzie odpowiadać wielkości komórki jajowej, chyba że sygnał chemiczny zostanie zmieniony tak, by odpowiadał także wielkości komórki jajowej. Tak oczywiście dzieje się w rzeczywistości, ale sygnał chemiczny generowany jest przez inny mechanizm w ciele matki, co stanowi kolejny przykład ewidentnego subtelnego zestrojania.

Blisko związane z pojęciem wytrzymałości jest pojęcie „projektu z dużą rezerwą” (*overdesign*). Niektóre układy mogą być zaprojektowane tak, by funkcjonować w warunkach daleko wykraczających poza spodziewane warunki normalnego działania. Zwykle tak zaprojektowane podsystemy to te, które są istotne dla działania całego układu. Z takim zjawiskiem mamy do czynienia na wszystkich poziomach w układach biologicznych.

Inżynieria odwrotna

Wszystkie te inżynieryjne paradygmaty zastosowane do biologii mają cechy „inżynierii odwrotnej”, która jest wielkim celem biologii systemowej, o czym

⁴⁶ LANDER, „A Calculus of Purpose...”.

świadczy częste jawne używanie tego terminu.⁴⁷ Inżynieria odwrotna to metoda, często stosowana w przemyśle, polegająca na analizowaniu układu zaprojektowanego przez kogoś innego w próbie zrozumienia, jak on działa. W kontekście biologii inżynieria odwrotna układów ożywionych niesie potencjalną korzyść, gdyż może prowadzić do nowych projektów układów wzorowanych na projektach odkrywanych w biologii. Biologia systemowa jest ściśle powiązana z biologią syntetyczną, w której nowe odmiany układów biologicznych są tworzone dla konkretnych celów człowieka.

Inżynieria odwrotna zakłada nie tylko, że układy biologiczne są tak dobre jak te zaprojektowane przez ludzi, ale i że w wielu wypadkach mogą być one lepsze, a w związku z tym dzięki analizowaniu istniejących układów biologicznych możemy nauczyć się nowych sztuczek w tworzeniu dobrych projektów.

Język projektu

Wszystko, co zostało powiedziane wyżej, można zaklasyfikować jako „język projektu”, a i specjaliści w tej dyscyplinie nie unikają słowa „projekt”. Na przykład Brailard pisze:

Przedstawiam przykład czegoś, co można nazwać wyjaśnieniem projektowym, i pokazuję, czym różni się ono od klasycznych wyjaśnień mechanistycznych. Po pierwsze, jest to nieprzyczynowy typ wyjaśnienia, które nie wskazuje, jak jakiś mechanizm tworzy daną funkcję, lecz ilustruje, jak funkcja układu determinuje jego strukturę. Po drugie, wskazuje ono na ogólne zasady projektowe, które w dużym stopniu nie zależą od ewolucyjnej przystosowości [...] Chociaż pewne aspekty biologii systemowej wpasowują się w mechanistyczny układ odniesienia, wyjaśnienia stosowane przez czynnych na-

⁴⁷ Por. VINCENT, BOGATYREVA, and BOGATYREV, „Biology Doesn't Waste Energy...”; BANGA, „Optimization in Computational Systems Biology...”; M.E. CSETE and J.C. DOYLE, „Reverse Engineering of Biological Complexity”, *Science* 2002, vol. 295 s. 1664-1669, doi: 10.1126/science.1069981; P. ZOPPOLI, S. MORGANELLA, and M. CECCARELLI, „TimeDelay-ARACNE: Reverse Engineering of Gene Networks from Time-Course Data by an Information Theoretic Approach”, *BMC Bioinformatics* 2010, vol. 11, s. 154, doi: 10.1186/1471-2105-11-154; S. POLSTRA, T.E. PRONK, A.D. PIMENTEL, and T.M. BREIT, „Towards Design Space Exploration for Biological Systems”, *Journal of Computers* 2008, vol. 3, s. 1-9, doi: 10.4304/jcp.3.2.1-9; J. BRANDER, „Bio-Inspiration Not Bio-Imitation”, *Proceedings of SPIE* 2008, vol. 6964, s. 696403, doi: 10.1117/12.771762.

Poza tymi pozycjami w literaturze można znaleźć dziesiątki publikacji, w których występuje termin „inżynieria odwrotna”.

ukowców nie zawsze korespondują z tradycyjnymi definicjami wyjaśnień mechanicznych oferowanymi przez filozofów [...] Ten rodzaj wyjaśnienia nazywam *wyjaśnieniem projektowym*.⁴⁸

Soyer idzie jeszcze dalej, zadając pytanie:

Czy możemy wykorzystać wiedzę o poszczególnych przypadkach do odcyfrowania „zasad projektu” stosowalnych do wszystkich układów biologicznych? Dostarczenie pozytywnej odpowiedzi na to pytanie stanowi jedno z najważniejszych przyszłych zadań biologii systemowej.⁴⁹

Starsze pokolenie czasem posługiwało się językiem projektu, czując jednak, że projekt można traktować wyłącznie jako pojęcie estetyczne niemające wpływu na naukę. Francis Crick stwierdził, że „Biologowie muszą ciągle pamiętać, że to, co obserwują, nie jest rezultatem projektu, lecz wyewoluowało”.⁵⁰ Dawkins słynie z następującej wypowiedzi: „Biologia zajmuje się obiektami złożonymi, tworzącymi wrażenie celowego zamysłu”.⁵¹ Powyższy przegląd najnowszych ustaleń biologii systemowej dowodzi jednak, że koncepcje projektu nie sprowadzają się wyłącznie do zastosowania barwnego języka, lecz pozwalają utworzyć nadzwyczaj wpływowe paradygmaty.

Czy nowy paradygmat biologii systemowej można uznać za skuteczne przewidywanie teorii inteligentnego projektu?

Nie trzeba specjalnie przekonywać, że paradygmat, w ramach którego biologowie mają myśleć jak inżynierowie, to znaczy poszukiwać projektu przy analizie układów ożywionych, jest zgodny z przekonaniem, że jakiś stwórca zapro-

⁴⁸ P.-A. BRAILLARD, „Systems Biology and the Mechanistic Framework”, *History and Philosophy of the Life Sciences* 2010, vol. 32, s. 43-62 [wyróżnienie w oryginale].

⁴⁹ O.S. SOYER, „The Promise of Evolutionary Systems Biology: Lessons from Bacterial Chemotaxis”, *Science Signaling* 2010, vol. 39, s. pe23, doi: 10.1126/scisignal/3128pe23.

⁵⁰ F. CRICK, **What Mad Pursuit**, Basic Books, New York 1990, s. 138.

⁵¹ R. DAWKINS, **Ślepy zegarmistrz, czyli jak ewolucja dowodzi, że świat nie został zaplanowany**, przeł. Antoni Hoffman, *Biblioteka Myśli Współczesnej*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1994, s. 21.

jektował procesy w tych układach i zrealizował je, czy to za sprawą cudownej interwencji, czy poprzez subtelne zestrojenie struktury praw fizycznych. „Inżynieria odwrotna” zdaje się implikować, że w ogóle doszło do jakiejś „inżynierii”. Układy zaprojektowane przez inteligentne istoty ludzkie cechują się tym, że ich części służą w nich jakiemuś celowi. W im większym stopniu coś jest zaprojektowane, w tym większym stopniu odkrywamy, że każda część pełni jakąś funkcję. Rozsądnie jest oczekiwać, że inteligencja stwórcy jest podobna do naszej, a nawet lepsza niż nasza, a tym samym każda część układów powinna odgrywać ważną rolę w pełnieniu danej funkcji.

Nowy ruch biologii systemowej nie wywodzi się jednak ze społeczności zwolenników teorii inteligentnego projektu. Jego główni rzecznicy mają na ogół jawnie darwinowskie preferencje, a sama ta dyscyplina — z politycznej i społecznej perspektywy — jest względnie niekontrowersyjna, ponieważ wszyscy jej przedstawiciele dobry projekt przypisują niekierowanej ewolucji. Determinacja, z jaką niektórzy autorzy piszący o wrażeniu projektu starają się usunąć jakiegokolwiek odniesienia do stwarzającego projektanta, jest czasem niemal komiczna, jak na przykład w następującym cytacie:

Sieci metaboliczne, które szeroko badano przez dziesięciolecia, symbolizują sposób kształtowania przez ewolucję optymalnego funkcjonowania układów biologicznych [...] Podręczniki biochemii opisują metabolizm jako produkt ewolucji „wysocze zintegrowany” i sprawiający wrażenie „spójnego projektu”. Badamy zarówno ważne „projektowe” (*co nie implikuje „projektanta”*) cechy metabolizmu, jak i sens, w jakim sama zasada stechiometrii umożliwiła wysokie uporządkowanie i optymalizację zakresu tolerancji i kompromisu (HOT) dla takich wymogów funkcjonalnych jak elastyczność, wydajność, wytrzymałość i ewoluowalność, będąc ograniczona zasadą zachowania energii, zasadą równowagi redoksowej i zasadą równego podziału.⁵²

Układy biologiczne określane są mianem „byстрыch”,⁵³ „wyszukanych”⁵⁴

⁵² R. TANAKA, M. CSETE, and J. DOYLE, „Highly Optimised Global Organisation of Metabolic Networks”, *IEEE Proceedings in Systems Biology* 2005, vol. 152, s. 179-184, doi: 10.1049/ip-syb :20050042 [wyróżnienia dodane].

⁵³ Por. VINCENT, BOGATYREVA, and BOGATYREV, „Biology Doesn’t Waste Energy...”.

⁵⁴ Por. R. NUSSINOV and C. ALEMAN, „Nanobiology: From Physics and Engineering to Biology”, *Physical Biology* 2006, vol. 3, s. 2, doi: 10.1088/1478-3967/3/1/E01.

i „pomysłowych”,⁵⁵ ale zakłada się, że cała ta pomysłowość powstała w wyniku działania losowych przyczyn i doboru naturalnego.

Istnieją dwa główne powody powstania ruchu biologii systemowej. Pierwszym jest to, że biologia pozostaje dyscypliną zdecydowanie empiryczną, a wyjaśnianie danych w coraz większym stopniu wymaga przyjęcia podejścia projektowego. Podczas gdy darwinowskie założenia mogły skłonić wielu naukowców do oczekiwania znacznie większej ilości „śmieci” w układach ożywionych, większość biologów woli podążać za danymi, dokądkolwiek one prowadzą, niż trzymać się kurczowo poszczególnych modeli ewolucyjnych. Podejście biologii systemowej rozwija się, ponieważ doprowadziło do udanych, ilościowych przewidywań, i większości biologów w zupełności to wystarczy, mimo iż niektórzy zakłopotani są użyciem języka teleologicznego.

Drugi powód rozkwitu paradygmatu dobrego projektu w biologii systemowej związany jest z tym, że w biologii i medycynie długo żywiono przekonanie, że każda część układów ożywionych pełni jakąś funkcję. To przekonanie, lub paradygmat, sięga przynajmniej czasów Williama Harveya, uznawanego za ojca współczesnej medycyny, który następująco opisał swoje odkrycie układu krążenia w organizmie:

Tak przezorna przyczyna jak natura nie utworzyłaby tak wielu zastawek bez projektu. I żaden projekt nie wydaje się prawdopodobniejszy niż ten, ponieważ krew nie mogłaby, ze względu na przeciwstawnie zwrócone zastawki, być dobrze wysłana do kończyn. Powinna być wysyłana przez tętnice, a powracać żyłami, których zastawki nie opierają się jej biegowi w ten sposób.⁵⁶

Badanie ciał zwierząt zawsze sprawiało mi przyjemność. Myślałem, że dzięki temu nie tylko możemy poznać tajemnice natury, ale też dostrzec coś w rodzaju obrazu lub odbicia samego wszechmocnego Stwórcy.⁵⁷

⁵⁵ Por. A. ARKIN, „Playing Practical Games with Bacteria and Viruses: Exploring the Molecular Mechanisms Behind Clever Cellular Stratagems”, w: **Bio-, Micro-, and Nanosystems 2003: ASM Conferences (IEEE)**, s. 12, doi: 10.1109/BMN.2003.1220594.

⁵⁶ Cyt. za: R. BOYLE, **Disquisition about the Final Causes of Natural Things**, w: **Works of Robert Boyle**, vol. 5, Pickering and Chatto, London 1999, s. 427.

⁵⁷ W. HARVEY, „Dr. Ent’s Epistle Dedicatory to the *Exertationes de Generatione Animalium*”, w: **Works of William Harvey**, Sydenham Society, London 1847, s. 146.

Chociaż wiele pisano o „szczątkowych”, czyli niefunkcjonalnych lub nieoptymalnych narządach, na ogół medycyna nie postępowała zgodnie z założeniem, że duża część ciała ma charakter szczątkowy. W medycynie i biologii przyjmowano założenie robocze Harveya, zgodnie z którym jeśli coś jest w ciele, to prawdopodobnie pełni to jakąś funkcję i nie jest żadnym śmieciem. Założenie to wywodziło się pierwotnie z jawnie teistycznego paradygmatu projektowego. Biologię systemową, i ogólnie biologię, można postrzegać jako wieloletnie, skuteczne wypracowywanie hipotezy dobrego projektu rozwijanej przez Harveya i innych podobnych mu chrześcijan. Badania biologiczne, zwłaszcza dotyczące biologii człowieka w ramach medycyny, prowadzono przed Darwinem i zasługi w nich ma wielu innych badaczy.

Można zadać zasadnicze pytanie, czy gdyby nie ta długa historia sukcesów empirycznych w poszukiwaniu celu nieznanymi częściami układów ożywionych (której początek dał Harvey), spodziewano by się, że teoria losowej ewolucji przewidzi wysoki stopień optymalizacji i integracji układów. Odkrycie, że wszystko jest tak niezwykle dobrze zoptymalizowane i zintegrowane, wydaje się sprzeczne z przekonaniem, że ewolucja przebiega drogą licznych pchnięć na ślepo, których rezultaty są z czasem po prostu odsiewane.

Jak powiedziano we wprowadzeniu, w ramach standardowego scenariusza ewolucji darwinowskiej jest miejsce na mechanizmy, które zwiększają optymalność i wydajność. Jeśli na przykład w organizmie znajdują się niewydajne i bezużyteczne elementy, będzie on mniej dostosowany i bardziej narażony na śmierć, umożliwiając wydajniejszym organizmom rozprzestrzenienie się i stanie się większą częścią populacji. Jednakże większość ewolucjonistów argumentowała przez ostatnie 150 lat, że teoria ewolucji przewiduje „kiepski projekt”, zawierający wiele „śmieci”, narządów „szczątkowych” lub innych bezużytecznych części,⁵⁸ a elementy sprawiające wrażenie bezużytecznych traktowano jako świadectwo niekierowanej ewolucji. Termin „śmieciowe DNA” zaczął popadać w niełaskę dopiero niedawno, gdy coraz częściej odkrywano funkcje niekodują-

⁵⁸ Por. K. MILLER, *Only a Theory: Evolution and the Battle for America's Soul*, Viking, New York 2008, s. 37, 96-97; P. KITCHER, *Living with Darwin*, Oxford University Press, Oxford 2007, s. 57.

cego DNA.⁵⁹ (Ostatni gwoździł do trumny zadał najprawdopodobniej projekt ENCODE,⁶⁰ chociaż niektórzy nadal stanowczo argumentują, że duża część DNA jest „śmieciowa”, a za podstawę tego twierdzenia przyjmują obserwację, że pewne małe organizmy mają go bardzo mało.⁶¹) Niektórzy próbowali przekonywać, że biologowie tak naprawdę nie postrzegali śmieciowego DNA jako „śmieciowego”, ale przez 30 lat uczestniczyłem w konferencjach biofizycznych i biologicznych i mogę poświadczyć, że w latach osiemdziesiątych wielu prelegentów naprawdę wysuwało argument, że istnienie śmieciowego DNA dowodzi, iż układy ożywione są niechlujne i nieoptymalne, a więc nie stanowią świadectwa działania stwórcy. W ostatniej książce Avise’a⁶² znajduje się zasadniczo podobna, choć bardziej zaawansowana, argumentacja.⁶³

Racją dla tego oczekiwania, z punktu widzenia darwinizmu, jest to, że chociaż standardowy model ewolucji zakłada pewną presję w kierunku optymalizacji, to inne czynniki przeciwdziałają osiągnięciu wysokiego stopnia optymalności. Jeśli koszt energii wydatkowanej na przenoszenie bezużytecznych lub suboptymalnych struktur jest zbyt duży, to nigdy nie powstaną nowe struktury. Za-

⁵⁹ Por. MEYER, *Signature in the Cell...*, s. 125, 407.

⁶⁰ Por. J.R. ECKER, „Serving Up a Genome Feast”, *Nature* 2012, vol. 489, s. 52-55, doi: 10.1038/489052a; I. BARROSO, „Non-Coding But Functional”, *Nature* 2012, vol. 489, s. 52-55, doi: 10.1038/489052a; J.A. SHAPIRO, „Bob Dylan, ENCODE, and Evolutionary Theory: The Times They Are A-Changin’”, *Huffington Post* 9 December 2012, http://www.huffingtonpost.com/james-a-shapiro/bob-dylan-encode-and-evol_b_1873935.html (30.09.2015).

⁶¹ Por. GHOSE, „«Junk» DNA Mystery Solved...”; E. IBARRA-LACLETTE, E. LYONS, G. HERNANDEZ-GUZMAN, C. ANAHI PEREZ-TORRES, L. CARRETERO-PAULET *et al.*, „Architecture and Evolution of a Minute Plant Genome”, *Nature* 2013, vol. 498, s. 94-98, doi: 10.1038/nature12132.

⁶² Por. AVISE, *Inside the Human Genome...*

⁶³ Kluczowymi świadectwami przemawiającymi za tym, że życie nie mogło zostać zaprojektowane, są dla Avise’a: „zawodność” (fakt, że układy mogą przestać funkcjonować), „barokowość” (zbędna dodatkowa złożoność) oraz marnotrawstwo (redundancja). Najwyraźniej żaden układ zaprojektowany przez człowieka nie ma takich cech! Jak wykazał C.G. Hunter (por. C.G. HUNTER, *Darwin’s God: Evolution and the Problem of Evil*, Brazos Press, Ada, Michigan 2001), przeciwnicy wnioskowania o inteligentnym projekcie życia powołują się na teologiczne założenia na temat sposobu działania Boga. Te założenia podnoszą poprzeczkę znacznie powyżej prostego pojęcia projektu, wskazując na koncepcję projektu niemal doskonałego, idealnego. Apologeci przyjmujący teorię inteligentnego projektu uznają, że rozpad i „dewolucja” istnieją, że barokowe życie, jak barokowa sztuka, może zadowalać Boga i że absolutna maksymalizacja wydajności może nie być jedynym celem projektu.

łożywszy, że nowe struktury o nowych funkcjach muszą być tworzone z kilku oddzielnych części, a żadna z nich z osobna nie jest korzystna dla przetrwania, gatunek musi przez jakiś czas przenosić różne bezużyteczne lub suboptymalne części, zanim pojawią się części umożliwiające otrzymanie nowej, zoptymalizowanej funkcji. Ponadto wydaje się, że dobór naturalny bardziej nagradza pierwszy sukces niż sukces najefektywniejszy. Dobór przeciwdziała każdej zmianie, która obniża wydajność funkcji, nawet jeśli jest krokiem do ostatecznego osiągnięcia bardziej optymalnego rozwiązania.

Przegląd różnych dróg do optymalizacji i dobrego projektu dopuszczalnych w teorii ewolucji wykracza poza zakres niniejszego artykułu. Wysuwano na przykład różne propozycje, jak przekroczyć „doliny dostosowania” między różnymi lokalnymi szczytami dostosowania, między innymi poprzez „hartowanie” (*annealing*) (szybkie losowe zmiany środowiska) oraz przypadkowe łączenie dwóch lub więcej oddzielnych funkcji.⁶⁴ Jest jednak historycznym faktem, że teoria ewolucji skłaniała do oczekiwania kiepskiego projektu, śmieci i suboptymalności, podczas gdy kontynuatorzy projektowej perspektywy Harveya mieli tendencję do poszukiwania celu dla każdego elementu układów ożywionych.

Fakt, że paradygmat projektowy w biologii systemowej nie jest bezpośrednim tworem badaczy oficjalnie łączonych z ruchem inteligentnego projektu, nie jest zaskakujący. Obecnie zaplecze badawcze teorii inteligentnego projektu jest niewielkie: dosłownie pół tuzina lub mniej badaczy, którzy nie mają publicznego finansowania i aktualnie są w stanie napisać 2-3 artykuły rocznie dzięki prywatnym funduszom. Świecką biologią systemową zajmują się natomiast tysiące dobrze finansowanych badaczy, którzy mają do dyspozycji laboratoria. A jednak mimo politycznej niepoprawności ruchu inteligentnego projektu, w świecie świeckiej biologii systemowej „projekt”, o ile tylko nie dodaje się słowa „inteligentny”, stał się odnoszącym sukcesy paradygmatem.

⁶⁴ Por. R. STAFFORD, „Crossing Fitness Valleys During the Evolution of Limpet Homing Behaviour”, *Central European Journal of Biology* 2009, vol. 5, s. 274-282, doi: 10.2478/s11535-010-0001-9.

Zakończenie

Dla wielu przeciwników ruchu inteligentnego projektu stwierdzenie, że układy ożywione „wyglądają na zaprojektowane”, jest puste, równoważne stwierdzeniu „nie rozumiem tego, a więc powołam się na cud”. Biologia systemowa pokazuje jednak, że to pierwsze stwierdzenie jest sensowne i prowadzi do ilościowych przewidywań. Nawet jeśli komuś nie odpowiada metafizyka połączona ze stwierdzeniem, że jeśli coś wygląda na zaprojektowane, to jest zaprojektowane, nadszedł czas, by poniechać zarzutu, że stwierdzenie, że życie „wygląda na zaprojektowane”, jest puste.

W ciągu ostatnich dziesięciu lat stało się jasne, że pojęcie projektu nie jest zaledwie dodatkowym, pozbawionym konsekwencji naukowych metaopisem układów biologicznych, lecz w istocie napędza badania naukowe. Cała kohorta młodych naukowców uczona jest „myślenia jak inżynierowie” przy rozpatrywaniu układów biologicznych i posługiwania się terminami jawnie związanymi z pojęciami projektu inżynieryjnego: projekt, cel, optymalne kompromisy przy wielu celach, informacja, kontrola, podejmowanie decyzji i tak dalej. Podejście to powszechnie uważa się za odnoszącą sukcesy, umożliwiającą formułowanie ilościowych przewidywań teorię biologiczną.

Być może równie uderzające jest to, że nowi biologowie systemowi na ogół *nie czynią prawie żadnych odniesień do historii organizmów*. W wielu przypadkach znanego nam „kiepskiego projektu” historia ma dość duże znaczenie. Na przykład powszechnie uważa się, że „ewolucja” licznych wersji systemu operacyjnego Windows przyniosła kiepski, lub chociażby wysoce suboptymalny, projekt. Należyte zrozumienie tego systemu wymaga, aby dobry technik komputerowy rozumiał wszystkie kwestie „dziedziczne” — zrobiono to a to, aby umożliwić zgodność z oprogramowaniem wykorzystywanym w starszych wersjach, niektóre fragmenty kodu skopiowano w całości z poprzednich wersji i w rzeczywistości nie są one optymalnie dostosowane do nowych elementów i tak dalej. Tak samo osoba natykająca się na rezultaty kiepskich napraw domowych często musi zapoznać się z ich historią — ta warstwa kabli została położona na nieusuniętą starą warstwę i tak dalej. Jest zrozumiałe, że teoria podkreślająca znaczenie historii zmian, mianowicie darwinizm, wymaga przynajmniej równie dużego

zrozumienia dawnych stadiów. Jednak we współczesnej biologii systemowej taki typ analizy jest niemal zupełnie nieobecny, pominąwszy zagadnienie małych zmian występujących na najniższym poziomie. Dysponujemy zatem programem, w którym koncepcje dobrego projektu są bardzo użyteczne, a koncepcje dotyczące poprzednich, historycznych wersji są w dużej mierze nieistotne dla rozpatrywanych problemów.⁶⁵

Ten paradygmat jest ewidentnie zgodny z przekonaniem o inteligentnym projekcie. Pytanie tylko, czy jest też spójny z przekonaniem o darwinowskiej ewolucji, jeśli uwzględnimy znane w tym układzie odniesienia mechanizmy optymalizacyjne. Ogólnie możemy powiedzieć, że różnica między tymi dwoma podejściami nie sprowadza się do alternatywy „wszystko albo nic”. Paradygmat dobrego projektu (związany z teorią inteligentnego projektu) dopuszcza mechanizmy tworzące suboptymalne elementy, a paradygmat darwinowski obejmuje siły prowadzące do wzrostu optymalności. We wprowadzeniu była jednak mowa o tym, że oczekiwany *stopień* optymalności lub dobrego projektu zależy w znacznej mierze od przyjętego modelu. Historycznie rzecz biorąc, darwiniści argumentowali, że suboptymalność i „śmieciowość” to świadectwa na rzecz ich poglądu.

Nasza ocena, który paradygmat lepiej opisuje układy biologiczne, będzie uzależniona głównie od tego, czy układy te uznamy za rozwiązania w większości nieeleganckie, pełne śmieci i zawierające nieliczne optymalne części, czy też za dobrze zaprojektowane, zoptymalizowane i posiadające niewiele suboptymalnych elementów. Społeczność biologów systemowych szybko skłania się do tego drugiego poglądu, przede wszystkim dlatego, że okazał się on użyteczny.

Wielu krytyków żądało, aby paradygmat teorii inteligentnego projektu dostarczył odnoszący sukcesy, a także umożliwiający formułowanie ilości-

⁶⁵ Jak wspomniano wcześniej, J.A. Shapiro i M. Deem argumentują, że obecnie obserwowane adaptacje, takie jak odporność bakterii i inne przystosowania do presji środowiska, są wytworem niezmiennego się układu, który wykorzystuje kontrolowaną randomizację jako metodę poszukiwania rozwiązań. Deem przekonywał (por. DEEM, „Life Has Evolved to Evolve...”), że wcześniejsze struktury, które doprowadziły do powstania tego układu, już nie istnieją i nie można ich badać.

wych przewidywać program dla biologii, ale wygląda na to, że taki program już istnieje i mamy go tuż przed naszymi nosami.



David Snoke

Systems Biology as a Research Program for Intelligent Design

Summary

Opponents of the intelligent design (ID) approach to biology have sometimes argued that the ID perspective discourages scientific investigation. To the contrary, it can be argued that the most productive new paradigm in systems biology is actually much more compatible with a belief in the intelligent design of life than with a belief in neo-Darwinian evolution. This new paradigm in system biology, which has arisen in the past ten years or so, analyzes living systems in terms of systems engineering concepts such as design, information processing, optimization, and other explicitly teleological concepts. This new paradigm offers a successful, quantitative, predictive theory for biology. Although the main practitioners of the field attribute the presence of such things to the outworking of natural selection, they cannot avoid using design language and design concepts in their research, and a straightforward look at the field indicates it is really a design approach altogether.

Keywords: paradigm in systems biology, engineering, Darwinism, bottom-up approach, top-down approach, design, teleology, information, optimization.

Słowa kluczowe: paradygmat biologii systemowej, inżynieria, darwinizm, podejście od-dolne, podejście odgórne, projekt, teleologia, informacja, optymalizacja.