

**TYGODNIK
POWSZECHNY**

Nr 50/2017

**WIELKIE
PYTANIA 8**



Copernicus
Center

**PRZEŁOMY
W BIOLOGII**

Charles Darwin



03 Spór o człowieka MATEUSZ HOHOL

Alfred Wallace: współodkrywcą doboru naturalnego i „heretyk na dworze Darwina”



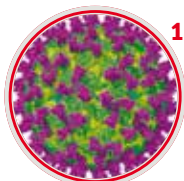
06 Przygody biologii ewolucyjnej z dziedzicznością ADAM ŁOMNICKI

Historia pogodzenia teorii Darwina i Mendla



12 Rodzice założyciele INFOGRAFIKA

Na przełomie XIX i XX w. narodziło się wiele gałęzi biologii



14 Życie pod mikroskopem ANNA BARTOSIK

Każda komórka to prawdziwy mikrokosmos



16 Biologia uprawiana łotkiem ŁUKASZ KWIATEK

Jak rozwijała się paleontologia



19 Zrozumieć pierwotniaka ŁUKASZ LAMŻA

Niezwykły świat Antoniego van Leeuwenhoek



22 Rewolucja w medycynie MAGDALENA RICHTER

Jak wynaleźliśmy antybiotyki



25 O czym nie śnił Darwin SZYMON DROBNIK

Biologia rozwoju stawia w nowym świetle podstawy tej dziedziny nauki

Redakcja: Łukasz Kwiatek, Łukasz Lamża

Projekt graficzny: Marek Zalejski

Fotoedycja: Edward Augustyn, Grażyna Makara

Skład: Artur Strzelecki, Andrzej Leśniak

Okładka: Marek Zalejski

Współwydawca: Fundacja Centrum Kopernika



ŁUKASZ KWIATEK

Jeżeli zwierzę ma kończyny drapieżnika, powinno mieć także szczękę drapieżnika – głosiła jedna z wielu zasad wypracowanych przez anatomię porównawczą. Ale dlaczego właściwie tak jest? Arystoteles powiedziałby, że po to, aby skutecznie polować, i całkowicie zadowoliliby się takim wyjaśnieniem. Jest to oczywiście poprawna odpowiedź, ale bardzo niepełna. Większość biologów z przełomu XVIII i XIX w., gdy powstała anatomia porównawcza, powiedziała, że ta zgodność cech anatomicznych odzwierciedla perfekcję boskiego planu realizowanego w przyrodzie. To niewykluczone, ale poprzestawanie na takiej odpowiedzi oznacza niedopuszczalną kapitulację nauki.

Jean-Baptiste de Lamarck słusznie zwróciłby uwagę na kwestię pochodzenia szczęk i kończyn, błędnie jednak uznając, że przodkowie danego zwierzęcia po prostu często używali szczęk i łap w polowaniach, co prowadziło do rozwoju tych organów.

Dopiero Karol Darwin podał w pełni satysfakcjonujące i naturalistyczne wyjaśnienie. Cechy anatomiczne, zwłaszcza tak wyróżniające się jak silne szczęki czy potężne łapy, są efektem stopniowego przystosowania do środowiska, które od wielu pokoleń zajmuje dana populacja (gatunek). Rozpowszechniły się w tej populacji, ponieważ obdarzone nimi osobniki były w stanie dłużej przeżyć i spłodzić więcej potomstwa, którym te cechy zostały przekazane.

W okresie od końca XVIII do początku XX w. w myśleniu o ożywionej przyrodzie oraz sposobie jej badania dokonała się fundamentalna zmiana. W niniejszym dodatku staramy się pokazać jej główne elementy, z rozwojem darwinizmu na czele. Zastanawiamy się także nad jej współczesnymi echem i ewolucją samej teorii ewolucji.

To były ciekawe czasy.

© ⊕

„Wielkie Pytania: cz. II: Przetomy w nauce”

– zadanie realizowane przez Fundację Centrum Kopernika, finansowane w ramach umowy 538/P-DUN/2017 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.



Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Spór o człowieka

MATEUSZ HOHOL

Idea doboru naturalnego miała współodkrywcę – Alfreda Russela Wallace’a. Nie zgadzał się on jednak z Darwinem w kwestii ewolucji człowieka.

Ewolucyjne spojrzenie na świat nie jest intelektualnym wynalazkiem czasów nowożytnych, ale teza o zmienności gatunków nie była wcześniej teoretycznym fundamentem biologii. Więcej: na taką tezę w biologii po prostu nie było miejsca.

Starożytny gmach

Pierwszym wielkim architektem biologii był Arystoteles, a jej fundamentem – zbiór jego pism „*Historia animalium*”. Arystoteles opisuje w nich m.in. „drabiny bytów” (*scala naturae*), czyli hierarchiczne uporządkowanie organizmów od najprymitywniejszych do najbardziej złożonych, wskazuje na celowościowe urządzenie przyrody (organizmy realizują „zakodowane” w nich możliwości), a także daje podwaliny pod systematykę zwierząt i określa, czym jest gatunek i rodzaj. W księdze pierwszej pisze: „przez rodzaj (...) rozumiem np. ptaka lub rybę, bo każda z tych grup zawiera cechę wyróżniającą ją z [własnego] gatunku; toteż istnieje większa liczba gatunków ryb i ptaków”. Dla Stagiryty gatunki nie są tylko konwencjonalnymi nazwami. Każdy gatunek charakteryzuje jego istota – dany organizm przynależy do określonego gatunku ze względu na stałe (niepodlegające żadnym zmianom) cechy esencjalne. Nie ma tu miejsca na ewolucję.

Pod przemożnym wpływem Arystotelesa znalazło się nie tylko średniowiecze, które nadało jego koncepcjom interpretację teologiczną, ale również wielu przyrodników nowożytnych. Wypracowaną przez niego siatkę pojęciową przyjmowali choćby francuski zoolog i paleontolog George Cuvier, angielski anatom i paleontolog Richard Owen czy szwedzki biolog, twórca wielkiego systemu klasyfikacji organizmów Karol Linneusz. Ten ostatni wierzył zresztą, że wszystkie gatunki zostały stworzone przez Boga „za jednym zamachem” (choć u kresu życia dopuszczał, że na drodze krzyżowania obecnych form powstawać mogą nowe gatunki), a celem klasyfikacji dokonanej przez niego w słyn-

nym dziele „*Systema naturae*” było lepsze zrozumienie boskiego planu. Biolodzy przez stulecia pozostawali również pod wpływem Arystotelesowej doktryny o celowości (teleologii), która zachęca do formułowania prostych, zdroworozsądkowych „wyjaśnień” faktów biologicznych, np. pajak tka sieci, aby złapać muchę; człowiek ma dłonie, aby chwycić przedmiot. Tego typu rozumowanie nie skłania do poszukiwania głębszych (ewolucyjnych) przyczyn. Zdaniem Arystotelesa tzw. przyczynowość celowa stanowiła bowiem fundamentalny składnik rzeczywistości, nie tylko biologicznej (oparł na niej swoiste „prawo grawitacji”, które głosiło, że wszystko dąży do swojego miejsca naturalnego, które dla ciężkich rzeczy znajduje się na dole, a dla lekkich – u góry), ale z nieożywionej przyrody skutecznie wypędził ją Izaak Newton, dzięki „*Matematycznym zasadom filozofii przyrody*” (z 1687 r.). Biologia pozostawała ostatnim bastionem teleologii jeszcze przez ponad 170 lat, aż do czasu opublikowania przez Darwina „*O powstawaniu gatunków*”. →

Kadr z filmu „2001: Odyseja kosmiczna”, reż. Stanley Kubrick (1968)



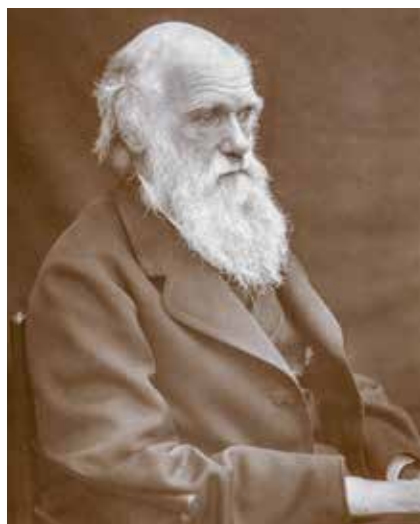
Boski plan

→ W 1802 r. angielski duchowny William Paley opublikował książkę „Teologia naturalna”, w której wyraził ideę, że organizmy, oraz tworzące je struktury biologiczne, wyglądają na zaprojektowane do pełnienia określonych celów w konkretnym środowisku. Znaleziony na odludnej wyspie zegarek, służący odmierzaniu czasu, skonstruowany musiał zostać przez zegarmistrza. Skoro organizmy żywe są zaprojektowane, wyjaśnieniem istnienia projektu jest istnienie projektanta. W ten sposób obserwacja świata przyrody zaprowadziła Paleya do postulatu istnienia Boga. Gdy Karol Darwin, który swoje życie poświęcił karierze anglikańskiego duchownego, studiował w Cambridge, teologia naturalna – obok jeździectwa i kolekcjonowania chrząszczy – stanowiła jedno z jego głównych zainteresowań. Darwina pociągały logika wyводу Paleya oraz jego zdecydowany język. Wizja przyrody jako wspaniałego projektu wręcz owładnęła jego umysłem. Późniejsze obserwacje, w szczególności poczynione w trakcie prawie pięcioletniej podróży (w latach 1831-36) na HMS Beagle w roli okrętowego przyrodnika, doprowadziły jednak Darwina do przekonania, że ów wspaniały projekt domaga się wyjaśnienia w kategoriach przyrodzonych (naturalnych). Darwina zainteresowała szczególnie obserwowana, i sumiennie opisana w notatkach, różnorodność przyrody.

Przykładowo, słynne żyby Darwina zamieszujące różne wyspy archipelagu Galapagos różniły się od siebie pod względem wyglądu dziobów oraz preferencji pokarmowych; zaobserwował on również różnice w morfologii będących przysmakami załogi żółwi słoniowatych na poszczególnych wyspach. Być może właśnie wtedy w jego głowie zakiełkowała idea, że wszystkie gatunki pochodzą od wspólnego przodka, a ich oddzielanie się, i w konsekwencji obserwowane zróżnicowanie, jest wynikiem przystosowywania się do różnych nisz środowiskowych.

Nieudany projekt

Darwin mógłby zadowolić się propozycją teoretyczną swojego wielkiego poprzednika Jeana-Baptiste'a de Lamarcka, który w opublikowanej w 1809 r. „Filozofii zoologii” stwierdził, że Arystotelesowska *scala naturae* nie jest sztywna i niezmienna. Lamarck odszedł radykalnie od poglądów Stagiryty również wtedy, gdy stwierdził,



Karol Darwin

że gatunki w rzeczywistości nie istnieją. Inspirując się najprawdopodobniej tradycją średniowiecznego nominalizmu twierdził, że termin „gatunek” to jedynie nazwa użyteczna w przyrodoznawstwie, lecz nie stoi za nią żaden zestaw cech esencjalnych. „Gatunki”, które opisują biologowie, nie są odwieczne, ale nieustannie powstają. Krzyżując się, osobniki wydają potomstwo, które z pokolenia na pokolenia upodabnia się do siebie. W tym kontekście Lamarck umieścił popularny w jego czasach pogląd, że cechy nabyte w ciągu życia osobnika podlegają dziedziczeniu (np. przodkowie współczesnych żyraf mieli krótkie szyje, ale ze względu na to, że wyciągali je, by dosięgnąć do liści drzew, z pokolenia na pokolenie długość szyi się zwiększała). Lamarck nie przyjmował pochodzenia od wspólnego przodka, był jednak – w sensie szerokim – ewolucjonista. Według niego ewolucja dokonuje się drogą powolnych i dziedzicznych przemian, które powodowane są przez niekorzystne warunki życia organizmów, przy czym krzyżując się organizmy „wymieniają cechy”, a dzieci otrzymują „uśrednione” cechy każdego z rodziców. W jego teorii pobrzmiewały wciąż jednak echa arystotelizmu – Lamarck akcentował wewnętrzną tendencję przyrody do różnorodności gatunkowej, co odczytywać można jako przekonanie o swoiście rozumianej celowości.

Poszukiwanie mechanizmu

Karol Darwin przyjął po Lamarcku ogólną ideę ewolucji, ale nie zgadzał się ze szczegółami jego koncepcji. Poszukiwał mechanizmu, który odpowiada za zróżnicowanie gatunków.

Darwin zauważał podobieństwa przyrody i uprzemysłowionej Anglii: „dobór naturalny prawdopodobnie faworyzuje rośliny i zwierzęta, które są bardziej zróżnicowane, tak jakby natura była fabryką, w której praca jest wydajniejsza, gdy poszczególni robotnicy wykonują różne zadania (...) najbardziej udany wariant (...) potrafi zając dotąd nieeksploatowane miejsce lub nieobsadzaną rolę w gospodarce przyrody”. W 1838 r. po lekturze pracy „*An Essay on the Principle of Population*”, autorstwa ekonomisty i anglikańskiego duchownego Thomasa Malthusa, Darwin zanotował, że jego wizja przyrody zbieżna jest z zawartymi w nim tezami na temat przeludnienia.

Malthus twierdził, że produkcja żywności nie nadąza za przyrostem populacji, co prowadzi do głodu. To naprowadziło Darwina na trop idei „walki o byt” – skoro zasoby są skończone, organizmy muszą o nie konkurować. W konkurencji tej będą zwyciężać osobniki wyposażone w przydatne cechy. Zdaniem Darwina „zmiany korzystne będą wykazywać tendencję do utrzymywania się, a niekorzystne – do zanikania”. Niekwestionowanie oryginalna idea Darwina, zwana teorią doboru naturalnego, zerwała związki biologii z Arystotelesowską celowością przyrody. Przyroda sprawia wrażenie wspaniałego projektu, gdyż populacje nieustannie dostosowują się do warunków środowiskowych. Pewne cechy, które umożliwiają osobnikom przeżycie oraz reprodukcję, przekazywane są kolejnym pokoleniom, a te, które nie spełniają tego zadania, zanikają. Dzięki temu procesowi powstawać mogą zupełnie nowe gatunki, np. wtedy, gdy populacje są od siebie izolowane geograficznie.

Kamień węgielny

Od czasu lektury przez Darwina eseju Malthusa do publikacji „O powstawaniu gatunków” upłynąć musiało jednak ponad 20 lat. Jeszcze dłużej trzeba było czekać, by idea ewolucji odniesiona została do człowieka. Historycy nauki zwykle wyjaśniają tę zwłokę po części obawą Darwina przed kontrowersjami światopoglądowymi, jakie teoria ta wywołać miała w wiktoriańskiej Anglii, po części zaś jego usposobieniem i stylem uprawiania nauki – przed publikacją chciał on doprowadzić swoją ideę do perfekcji i poprzeć ją jak największą liczbą obserwacji. W 1844 r. spisał na własny użytek rozprawę, która wylądowała w szufladzie, a w 1856 r. zaczął pisać szkic nieukończonej nigdy książki pod roboczym tytułem „Dobór naturalny”. Dwa

lata później otrzymał od 35-letniego angielskiego przyrodnika Alfreda Russela Wallace'a manuskrypt pewnej pracy. „To najlepszy skrót mojej teorii” – stwierdził po lekturze.

W trakcie podróży oraz badań fauny i flory Archipelagu Malajskiego Wallace zgromadził dane, które doprowadziły go – ponoć w trakcie gorączki tropikalnej – do sformułowania zupełnie niezależnie od Darwina idei doboru naturalnego. W tym samym roku Darwin i Wallace przedstawili wspólnie swoje koncepcje na posiedzeniu Towarzystwa Linneuszowskiego w Londynie. Darwin zaś przygotował „skrót” swojej nieukończonej książki. Tym skrótem stał się opublikowany 22 listopada 1859 r. blisko 500-stronicowy tom „O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego, czyli o utrzymywaniu się doskonalszych ras w walce o byt”.

Początkowo między Darwinem i Wallace'em nie było konkurencji. Ten ostatni określał się zresztą jako „darwinista”. Darwin pisał jednak kolejne prace, rozszerzając zasięg swojego rozumowania ewolucyjnego. Choć już w „O powstawaniu gatunków” wieszczyl, iż „psychologia oprze się z pewnością na nowym poglądzie, że każda umiejętność i każda zdolność umysłowa można osiągnąć jedynie stopniowo”, to unikał formowania kategorycznych sądów w kwestiach związanych z antropogenezą aż do 1871 r., kiedy ukazała się jego książka „O pochodzeniu człowieka i doborze w odniesieniu do płci”. Jej głównym celem było wykazanie ewolucyjnej ciągłości między ludźmi a (innymi) zwierzętami. I to nie tylko w odniesieniu do cech morfologicznych, ale również cech umysłowych i predyspozycji do określonych zachowań. W tym kontekście Darwin wprowadził również komplementarne do doboru naturalnego pojęcie doboru płciowego – mechanizmu selekcji cech (takich jak np. jaskrawe upierzenie ptaków), które nie ułatwiają wprost przetrwania, ale są zachowywane ze względu na preferencje partnerów i partnerek. Ciągłym dalszym „O pochodzeniu człowieka” była opublikowana rok później rozprawa „O wyrażaniu emocji u człowieka i zwierząt”.

Pęknięcie

Co na to wszystko Wallace? W książce „Darwinizm” stwierdził: „w pełni podzielał poglądy p. Darwina co do zasadniczej zgodności budowy anatomicznej człowieka i wyższych ssaków oraz jego pochodzenia od form ancestralnych, wspólnych dla



Alfred Russel Wallace

człowieka i małą czelkoksztaltnych”. Jego zgoda kończy się jednak na ewolucji cech anatomicznych. Wallace wątpił, by wyższe cechy umysłowe człowieka, zmysł moralny, zdolności matematyczne i artystyczne czy poczucie humoru mogły mieć genezę ewolucyjną. Wskazywał na pozabiologiczny „pierwiastek duchowy” człowieka. Píše, że „przyjmując tę hipotezę o duchowej naturze człowieka, dodanej jakby do naszej zwierzęcej kondycji, możemy zrozumieć wiele skądinąd tajemniczych lub niepojętych zjawisk, takich jak ogromny wpływ idei, zasad moralnych i wierzeń na całe nasze życie i zachowania”. Jego zdaniem jedynie przyjęcie takiej właśnie optyki pozwala zrozumieć „poświęcenie męczennika”, „bezinteresowność filantropa” czy „oddanie patrioty”. Do tego momentu poglądy Wallace'a można uznać za ugruntowane we współczesnym mu stanie wiedzy. Systematyczne ewolucyjne badania nad genezą poczucia humoru, zdolności matematycznych czy percepcją sztuki podjęte zostały dopiero w drugiej połowie XX w., podobnie zresztą jak dopiero wtedy opracowane zostały powszechnie akceptowane w świecie naukowym teorie genezy altruizmu.

Wallace nie tylko okazał się w tej kwestii dzieckiem swoich czasów, ale wkroczył także na teren obcych Darwinowi spekulacji metafizycznych: „my, którzy wierzymy w istnienie świata ducha, możemy spoglądać na cały kosmos jak na jedną niepodzielną całość, której wszystkie części służą rozwojowi duchowych istot zdolnych do wiecznego życia i doskonałości. Dla nas jedynym celem, jedynym *raison d'être* świata – z całą złożonością jego fizycznej struktury, zawilosciami jego geologicznych dziejów, powolną

ewolucją jego roślin i zwierząt oraz ostatecznym nadejściem człowieka – było powstanie ludzkiego ducha i ciała”. Nieco upraszczając: zdaniem Wallace'a historię naturalną traktować można jako dążenie do celu, jakim było „osiedlenie się” unikalnie ludzkiego ducha w strukturach biologicznych.

W stosunku do Darwina Wallace zrobił więc krok wstecz – nawiązał wprost do celowościowej wizji świata. Co ciekawe, angażując się coraz bardziej w spirytualizm i metafizykę, Wallace twierdził, że broni darwinizmu przed samym Darwinem-naturalistą, który jakoby sprzeniewierzył się własnemu dziełu.

Niedokończony spór?

Odkrywając mechanizmy selekcyjne, Darwin wyjaśnił wspaniały projekt. Wallace był postacią pełną sprzeczności – zarazem „darwinistą doskonałym” (jak pisze Marcin Ryszkiewicz) i upatrującym w przyrodzie celowości „heretykiem na dworze Darwina” (to tytuł jednej z jego biografii). Choć dalsze etapy budowy gmachu biologii przebiegały na darwinowskich fundamentach, a celowość przyrody znalazła swoje zasłużone miejsce na cmentarzystku idei, to jednak spór ewolucyjnych ojców założycieli o genezę ludzkiego umysłu i moralności na gruncie nauki toczy się do dziś, choć na innym poziomie. Wallace stał na stanowisku, że to, co u człowieka wyjątkowe, jest dziełem czynników nadprzyrodzonych – na co we współczesnej nauce w żadnym razie nie ma miejsca, ale często podkreśla się dziś, że produkty działania doboru naturalnego i płciowego „dostrajane” są na drodze przekazu kulturowego, czego efektem jest np. powstawanie wyrafinowanych, ale i nie zawsze do siebie przystających systemów moralnych. Biologia to nie wszystko – trzeba pamiętać o kulturze. Inni odpowiadają jednak, że ewolucja kulturowa nie pojawiła się niczym królik z kapelusza, ale jest produktem pewnych adaptacji biologicznych, więc ostatecznie racja leży po stronie Darwina.

Echa sporu o granice wyjaśniania ewolucyjnego, który rozpętał Wallace, w pewnym sensie usłyszeć można także i dziś. ©

MATEUSZ HOHOL

Autor jest adiunktem w Instytucie Filozofii i Socjologii PAN oraz członkiem Centrum Kopernika. Na www.CopernicusCollege.pl prowadzi otwarty kurs „Ewolucja w kulturze”.

Przygody biologii ewolucyjnej z dziedzicznością

ADAM ŁOMNICKI

Współczesna biologia ewolucyjna to wspólne dziedzictwo Karola Darwina i Gregora Mendla. Wykazanie, że ich odkrycia nie są sprzeczne, wymagało jednak olbrzymiego wysiłku – i zastosowania matematyki.

Choć książka Karola Darwina „O pochodzeniu gatunków drogą doboru naturalnego, czyli o utrzymywaniu się doskonalszych ras w walce o byt” stanowiła przełom w naukach o życiu, to jednak nie wymagała od swych czytelników żadnej specjalnej wiedzy biologicznej. Jej przesłanie wydaje się proste: (1) osobniki roślin i zwierząt nawet tego samego gatunku różnią się między sobą także takimi cechami, które są przekazywane ich potomkom, (2) więcej zwierząt i roślin rodzi się, niż dożywa do czasu reprodukcji, a ci, którzy dożywają, mogą mieć więcej lub mniej potomstwa, (3) jeśli różnice między poszczególnymi osobnikami mają wpływ na ich szanse przeżycia i liczbę wydanego potomstwa, to musi dochodzić do zmiany proporcji cech w populacji wspomnianych osobników, aczkolwiek zmiany te mogą być niewielkie i wymagać długiego czasu.

Niemniej całkiem proste to nie było, bo wcześniejsi uczeni na to nie wpadli.

Publikacja dzieła Darwina okazała się nie tylko ogromnym sukcesem wydawniczym – spowodowała również u wielu ludzi, i to nie tylko przyrodników, zmianę sposobu myślenia o otaczającym nas świecie roślin i zwierząt. Ogromne bogactwo gatunków spotkanych przy odkryciach geograficznych oraz dane paleontologiczne otrzymały wreszcie koncepcję teo-

retyczną, wyjaśniającą ich istnienie, a naukowcy – zachętę do dalszych badań przyrodniczych.

Pierwsze kłopoty



Fleeming Jenkin (1833-1885)

Wspaniałe przyjęcie dzieła Darwina mogło być zagrożone już za jego życia, za sprawą Fleeminga Jenkina, profesora nauk technicznych na Uniwersytecie w Edynburgu. W XIX w. panowało przekonanie, że cechy potomstwa są średnią cech obu rodziców. Jak zauważył Jenkin, takie mieszanie się cech bardzo szybko redukuje zmienność (różnorodność), bez której naturalna selekcja byłaby niemożliwa. To tak, jakby dysponować pojemnikami z różnymi farbami i losowo mieszać farby z dwóch pojemników, tworząc



W książce „Tak zwane zło” Konrad Lorenz opisał typy zachowań zwierząt wobec osobników swojego gatunku: od agresywnych, przez takie, w których agresja jest udawana, aż po sytuacje, gdy zwierzęta sobie pomagają. Ewolucję zachowania wyjaśnił dobrem gatunku.

W przypadku agresji i ostrej konkurencji wygrywają osobniki silniejsze – w populacji zostaną więc ci zdrowsi i sprawniejsi, co jest dobre dla gatunku. Z kolei jeśli osobniki sobie pomagają, a nie walczą ze sobą, to mniej z nich ginie i wydadzą więcej potomstwa – gatunek ma zatem szansę na długie trwanie.

Jest to jednak wyjaśnienie, które wszystko tłumaczy, ale niczego nie przewiduje.

→ nową mieszaninę w następnych dwóch potomnych pojemnikach. Jeśli powtórzymy to samo z otrzymanymi pojemnikami przez kilka pokoleń, w końcu zostaniey z wieloma pojemnikami i w każdym będzie taki sam szaro-bury kolor.

Aby obronić teorię Darwina przed zarzutami Jenkina, należało odrzucić teorię mieszania się cech rodziców u potomstwa i zastąpić ją lepszą teorią dziedziczenia. Taka teoria w zasadzie już wówczas powstała. Czeski mnich Gregor Mendel sformułował prawa dziedziczenia w połowie lat 60. XIX w., jednak opublikował je w prowincjonalnym czasopiśmie i jego odkrycie przeszło bez większego echa. Co ciekawe, choć zgodnie z teorią Mendla potomstwo wcale nie dziedziczy średniej cech obu rodziców, to i ona z początku zachwiała wiarą w słuszność koncepcji Darwina.

Mendel na nowo odkryty



Gregor Mendel (1822-1884)

Prace Mendla zostały ponownie odkryte na początku XX w. Wyniki jego badań nad dziedziczeniem koloru kwiatów grochu (na ilustracji) stały się przełomem w zrozumieniu sposobu dziedziczenia cech między rodzicami i potomstwem. Efekty tego odkrycia wydawały się dla darwinowskiej teorii zabójcze.

Angielski biolog William Bateson, który spopularyzował odkrycia Mendla w krajach anglosaskich i jest autorem terminu „genetyka”, tak się wyraził w 1913 r.: „Przeksztalcenie populacji przez drobne zmiany kierowane doбором jest tak sprzeczne z faktami, że możemy tylko podziwiać adwokacką zręczność, dzięki której tłumaczenie to mogło przez pewien czas uchodzić za możliwe do przyjęcia”. Duński botanik, fizjolog i genetyk, twórca terminów „fenotyp” i „genotyp”, Wilhelm Johannsen stwierdził w 1915 r., że „jest rzeczą zupełnie oczywistą, iż genetyka pozbawiła podstaw darwinowską teorię doboru naturalnego”. Nie były to głosy odosobnione.

Jednocześnie dla wielu przyrodników teoria Darwina była najlepszym wyjaśnieniem różnorodności spotykanej w przyrodzie. Pomiedzy ewolucjonistami i genetykami narastała napięcia.

Genetyka okazała się nauką z poważnymi osiągnięciami. Po pierwsze, genetycy wyjaśnili, w jaki sposób zasady dziedziczenia cech jakościowych, takich jak barwy kwiatów, mogą być zastosowane do wyjaśnienia cech ilościowych, takich jak wielkość nasion fasoli. Po drugie, odrzucili oni ostatecznie dziedziczenie cech nabytych. Pojawianie się nowych cech wiązało z zachodzącymi losowo (i bardzo rzadko) mutacjami

w materiale genetycznym, przekazywanym z pokolenia na pokolenie. Po trzecie, potrafili odróżnić zmienność zdeterminowaną genetycznie od zmienności środowiskowej, co wydaje się szczególnie ważne przy badaniu cech ilościowych, i potrafili wykazać, że cecha niezdzeterminowana genetycznie, a jedynie zmienna środowiskowo, nie jest przekazywana potomstwu, nie podlega zatem naturalnej selekcji.

Te wszystkie stwierdzenia genetyki oparte były na poprawnie przeprowadzonych eksperymentach, w świetle których argumenty ewolucjonistów wyglądały jak „takie sobie bajeczki”, niemające poparcia w biologii jako nauce empirycznej. Odrzucenie darwinowskiej teorii przez genetyków w pierwszych latach XX w. było możliwe, ponieważ badano wówczas jedynie pojedyncze osobniki i rezultaty ich rozmnażania. Podejście populacyjne, które pozwoliło ostatecznie pogodzić obie wielkie teorie, wymagało stosowania matematyki, co było raczej rzadkie w naukach biologicznych.

Sam Darwin miał dobre matematyczne intuicje. Wiemy z jego wspomnień, że w doświadczeniu do teorii naturalnej selekcji bardzo pomocna była lektura dzieła Thomasa Malthusa o populacji człowieka. Narzekał też, że brakuje mu znajomości matematyki, co świadczy, że zdawał sobie sprawę, iż w badaniu procesów ewolucyjnych mamy do czynienia z dużymi populacjami, w których losy pojedynczego osobnika mogą nie być przesądzone, ale z pomocą matematyki można przewidywać, co stanie się w całej populacji. Właśnie tę intuicję rozwinęła stworzona w XX w. genetyka populacyjna.

Ratunek ze strony matematyki



Godfrey H. Hardy (1877-1947)

W 1908 r. angielski matematyk Godfrey H. Hardy i niemiecki biolog Wilhelm Weinberg zastosowali prawa Mendla, niezależnie od siebie opisując, jak kształtuje się proporcja trzech różnych genotypów zdeterminowanych przez dwa różne geny w całej populacji przy założeniu, że te genotypy nie podlegają selekcji, a tworzące je geny nie podlegają mutacji. Kształtowanie się tych proporcji znane pod nazwą reguły Hardy’ego i Weinberga jednoznacznie pokazuje, że przy biologicznym dziedziczeniu cech nie zachodzi spadek zmienności postulowany przez Fleeminga Jenkina, z tym że nie wydaje się, aby właśnie autorzy tej reguły to zauważyli. Zrobił to dopiero i dołącznie opisał Ronald Fisher. Z reguły Hardy’ego i Weinberga wynika, że cechy określone genetycznie nie są zmienne stopniowo, tak jak przy mieszaniu cech, ale w niepodzielnych pakietach. Przykładem może być pośrednia, np. różowa barwa kwiatów u heterozygot pochodzą-



Wilhelm Weinberg (1862-1937)

cych od rodziców z białą i czerwoną barwą. Ta różowa barwa jest zdeterminowana przez geny białości i czerwoności, które mogą dawać białą i czerwoną barwę w następnych pokoleniach.



Ronald Fisher (1890-1962)

Ze względu na słabe zdrowie i problemy ze wzrokiem Ronald Fisher nie podzielił losów swojego brata, poległego na froncie I wojny światowej. Ronald był matematycznym geniuszem zainteresowanym przyrodą i procesami ewolucji. Podobno gdy dostał nagrodę za osiągnięcia w matematyce, przeznaczył ją w całości na zakup wszystkich dzieł Karola Darwina. Był wybitnym probabilistą i statystykiem, który wymyślił analizę wariancji – podstawowe dotychczas narzędzie analizy danych empirycznych w rolnictwie, biologii, medycynie, psychologii i innych dziedzinach wiedzy. Uniwersytet w Cambridge nie poznał się od razu na swoim genialnym wychowanku. Pierwsze 14 lat po opuszczeniu uczelni Fischer pracował w rolniczej stacji doświadczalnej.

W badaniach relacji między genetyką a teorią ewolucji drogą naturalnej selekcji Ronald Fisher miał chyba największe zasługi. Jego niewielka książeczka „*The Genetical Theory of Natural Selection*”, wydana po raz pierwszy w 1929 r., wyjaśnia wszystkie kwestie, jakie w teorię doboru wniosła genetyka, i wszystkie problemy teorii ewolucji, które przyciągały badaczy w okresie międzywojennym. Fisher dał po prostu matematyczny opis selekcji naturalnej, który okazał się różny od intuicyjnego opisu proponowanego przez biologów, w tym także genetyków.

Dla klasycznego biologa mutacja, która pojawia się z częstotliwością 1 na 10 tys., jest tak rzadka, że można ją zaniedbać i uznać, że nowe cechy nie mogą się pojawić, lecz jedynie być eliminowane przez selekcję. Ponieważ ewolucja drogą naturalnej selekcji wymaga zmienności, a selekcja redukuje zmienność, to zaniechanie mutacji zmienność wyklucza. Tym samym – zmiany ewolucyjne przez naturalną selekcję.

Niemniej, gdy zaczniemy liczyć, to okazuje się, że w bardzo dużych populacjach nowe mutacje w każdym z genów pojawiają się w każdym pokoleniu wielokrotnie, a dziedziczenie przy istnieniu płciowości uniemożliwia ich rychłe eliminowanie przez selekcję. Natomiast proporcje mutacji korzystnych mogą dzięki naturalnej selekcji wzrastać z pokolenia na pokolenie.

Różnice w szansie przeżycia i wydania potomstwa nosicieli jednego genotypu w stosunku do innego okazały się być niewielkie, ale nawet one dają bardzo wyraźne efekty. Obliczenia wskazują, że wynikiem selekcji jest kumulowanie się korzystnych cech, co przyspiesza pojawianie się wyraźnych efektów selekcji. Z kolei badania terenowe współpracownika Fishera, Edmunda B. Forda, nad motylami wykazały, że w warunkach naturalnych różnice w szansie przeżycia wynikające z różnych wariantów genów wcale nie muszą być takie małe – mogą znacznie przekraczać 10 proc.



J.B.S. Haldane (1892-1964)

Oprócz Fishera genetyczne aspekty selekcji naturalnej rozpatrywali w tym samym czasie inni badacze, tacy jak Anglik John B.S. Haldane, słabiej niż Fisher znający matematykę, ale bardziej doświadczony w różnorodnych badaniach biologicznych. Trzecim wielkim twórcą syntetycznej teorii ewolucji – spójnego matematycznego opisu darwinizmu z perspektywy genetyki – był Amerykanin

Sewall Wright, znany głównie za sprawą opisanego tzw. dryfu genetycznego.



Sewall Wright (1889-1988)

Polega on na tym, że proporcje genów w populacjach, zwłaszcza małych, mogą się zmieniać w losowy sposób (bez związku z mutacjami ani selekcją), gdyż udział potomstwa jednego osobnika może z losowych przyczyn stać się niewspółmiernie duży lub niewspółmiernie mały. Zjawisko to występuje we wszystkich populacjach i ma poważne znaczenie nie tylko w warunkach naturalnych, ale także przy prowadzeniu eksperymentów ewolucyjnych w laboratorium.

Syntetyczna teoria ewolucji nie tylko obaliła z pomocą matematyki zastrzeżenia i wątpliwości pierwszych genetyków, ale też otworzyła nowe drogi dla lepszego zrozumienia i postępu w darwinowskiej ewolucji drogą naturalnej selekcji. Jeśli w przyrodzie mamy do czynienia ze zjawiskiem, którego nie rozumiemy, to możemy wzorem fizyków konstruować jego model matematyczny, aby założenia tego modelu i jego konsekwencje sprawdzić w przyrodzie. Tak właśnie postępowali Fisher i inni twórcy syntetycznej teorii ewolucji.

Osobnik typowy

Gdy obserwujemy zwierzęta hodowane przez człowieka, takie jak psy lub kury, to okazują się one bardzo zmienne w obrębie tego samego gatunku, natomiast osobniki należące do gatunków żyjących na wolności, np. wilki lub wróble, wydają się być identyczne. Stąd w XIX w. pojawiło się pojęcie osobnika typowego dla danego gatunku, na podstawie którego opisano ten gatunek, zaś po powstaniu genetyki – pojęcie typu dzikiego lub genotypu dzikiego, który w naturze jest identyczny u wszystkich osobników, w odróżnieniu od zwierząt hodowlanych lub od nosicieli mutacji utrzymywanych zwykle w laboratoriach.

Kryło się za tym przekonanie, że jest jeden najlepszy sposób odpowiedzi naturalnej selekcji na wymagania danego gatunku w dzikiej przyrodzie i dopiero sztucznie wprowadzona przez człowieka selekcja w hodowli lub utrzymywanie w laboratorium osobników z mutacjami zapobiega powrotom do typu dzikiego.

Genetyka pokazała coś zupełnie innego – utrzymywanie się w warunkach naturalnych różnych wersji genów umieszczonych w tych samych miejscach genowych u różnych osobników w tej samej populacji (tzw. poliformizm genowy). Dane empiryczne pochodzące z badań nad zmiennością, np. ślimaka wstężyka gajowego, potwierdzają utrzymywanie się takiego polimorfizmu z pokolenia na pokolenie. W latach 60. potwierdzono także taką zmienność na poziomie białek u wielu różnych gatunków; obecnie bada się ją w łańcuchach DNA.

Matematyczne modele opisujące polimorfizm genetyczny generują kilka różnych hipotez, ale najciekawsza ekologicznie jest wielokrotnie potwierdzana empirycznie w terenie hipoteza selekcji zależnej od częstości danego genotypu. Bierze ona pod uwagę, że genotypy rzadkie mają przewagę na częstymi, ponieważ są rzadziej atakowane przez drapieżniki niż genotypy częste i typowe, a jeśli mają nieco odmienne wymagania od większości osobników tego samego gatunku, to mogą korzystać z zasobów niedostępnych dla innych. Pozwoliło to m.in. wyjaśnić, dlaczego w tropikach, gdzie konkurencja z innymi →

→ osobnikami jest silniejsza niż nacisk siedliska fizycznego, liczba gatunków jest bez porównania większa niż bliżej biegunów.

Nie wszyscy biolodzy powołujący się na darwinowską teorię doboru naturalnego zrozumieli książkę Fishera. Przestali jednak krytykować darwinowską teorię zdając sobie sprawę, że ich koledzy lepiej znający matematykę wyjaśnili wszystkie wątpliwości tej teorii i należy ją przyjąć, tak jak przyjmujemy teorię Kopernika o obrotach Ziemi wokół Słońca, nie znając wszystkich argumentów za nią.

Opowiadał mi pewien Amerykanin, że w latach 50. na Uniwersytecie Harvarda odbyło się seminarium naukowe, w którym uczestniczyli profesorowie zoologii najlepszego amerykańskiego uniwersytetu, a Ronald Fisher przedstawiał wyniki swych dociekań z zakresu teorii ewolucji. Fisher nie tylko mówił, ale też zapełnił czarną tablicę licznymi wzorami i równaniami przydatnymi w jego argumentacji. Gdy skończył, przewodniczący zwrócił się do uczestników z prośbą o pytania i komentarze, jednak zapadła martwa cisza. Na szczęście przewodniczący zebrania był człowiekiem bywałym i wiedział, jak zapobiec tej trudnej sytuacji. Wskazując na jedną z greckich literek na tablicy, zapytał: „Panie profesorze Fisher, czy ta litera to alfa, czy gamma?”. Gdy Fisher odpowiedział, że to gamma, przewodniczącemu nie pozostało nic innego, jak tylko podziękować za wykład i dodatkowe wyjaśnienie.

Zawiłe losy selekcji grupowej



Konrad Lorenz
(1903–1989)

Austriacki badacz zachowania zwierząt i laureat Nagrody Nobla – Konrad Lorenz – opublikował w 1963 r. książkę pod tytułem „Tak zwane zło”. Opisał on typy zachowań zwierząt wobec osobników swojego gatunku: od agresywnych, przez takie, w których agresja jest udawana, aż po sytuacje, gdy zwierzęta sobie pomagają.

Można profesorowi Lorenzowi wierzyć, że jest tak, jak on to opisał, nie wiadomo tylko, dlaczego tak jest. Lorenz podał jedno generalne wyjaśnienie: dane zachowanie jest dobre dla gatunku.

W przypadku agresji i ostrej konkurencji wygrywają osobniki silniejsze – w populacji zostaną więc ci zdrowsi i sprawniejsi, co jest dobre dla gatunku. Z kolei jeśli osobniki sobie pomagają, a nie walczą ze sobą, to mniej z nich ginie i wydadzą więcej potomstwa – gatunek ma zatem szansę na długie trwanie. Jest to jednak wyjaśnienie, które wszystko tłumaczy, ale niczego nie przewiduje. A jak pouczał nas Karl Popper, dobre nauki empiryczne muszą ze swych teorii wyprowadzać przewidywania, aby wartość tych teorii można było sprawdzić, czyli je falsyfikować.

Argument dobra gatunku był powszechnie wówczas używany przez wielu biologów i nawet teraz powtarzany jest w popularnych audycjach przyrodniczych. Nawet wielki Ronald Fisher użył go raz, aby wytłumaczyć istnienie płciowości w przyrodzie. Argumentował, że gatunki rozmnażające się bezpłciowo były mniej zmienne, ich przystosowywanie się do nowych warunków drogą naturalnej selekcji było mniej efektywne i dlatego przegrały z formami płciowymi. Jest coś na rzeczy, ale sprawa okazała się znacznie bardziej skomplikowana...

W ekologii w połowie XX w. dyskutowane było zagadnienie regulacji zagęszczenia naturalnych populacji w przyrodzie. Ponieważ przy wysokim zagęszczeniu (czyli dużej liczbie osobników przypadających na małe terytorium) obserwowano często spadek liczby potomstwa i migrację na mniej korzystne terytoria, wielu ekologów doszło do wniosku, że populacje w naturze zdolne są do samoregulacji, która np. wymaga zmniejszenia u osobników szansy na przeżycie i wydanie potomstwa.

Byłoby to jednak sprzeczne z darwinowską zasadą naturalnej selekcji, która przede wszystkim działa na poziomie osobników.



Veró C. Wynne-Edwards
(1906–1997)

Brytyjski ornitolog i zoolog Veró C. Wynne-Edwards nie uciekał w dwuznaczne wyjaśnianie zjawiska regulacji zagęszczenia dobrem gatunku, ale podjął odważną próbę uzupełnienia darwinowskiej selekcji naturalnej między osobnikami ideą selekcji grupowej. Niestety, Wynne-Edwards nie miał takiej wiedzy matematycznej jak twórcy syntetycznej teorii ewolucji, dlatego nie zaproponował modelu matematycznego selekcji grupowej, ograniczając się do opisu różnych zjawisk przyrodniczych potwierdzających jego koncept i słowną argumentację.



John Maynard Smith
(1920–2004)

Prosty matematyczny model takiej grupowej selekcji dał John Maynard Smith, a wynikało z niego, że selekcja grupowa, prowadząca do regulacji zagęszczenia populacji, jest w przyrodzie bardzo mało prawdopodobna.

Niemniej, choć główny nurt biologii ewolucyjnej odrzucił selekcję grupową jako ważną siłę kształtującą przyrodę, to obecnie wiemy, że w niektórych sytuacjach selekcja grupowa może mieć znaczenie, a jej związki z innymi procesami selekcyjnymi warte są uwagi.

Złoty okres

Po odrzuceniu koncepcji selekcji grupowej darwinizm wydał się sprzeczny z istniejącym w przyrodzie altruizmem, współpracą i ograniczoną agresją między zwierzętami tego samego gatunku.



William D. Hamilton
(1936–2000)

W 1964 r. ukazała się jednak przełomowa praca doktorska Williama D. Hamiltona „*The Genetical Evolution of Social Behaviour*”. Posługując się matematyką, autor wykazał, że naturalna selekcja będzie promować altruizm wobec osobników spokrewnionych, jeśli spokrewnienie r będzie dostatecznie bliskie, straty dawcy aktu altruistycznego c nie zbyt wysokie, a zyski odbiorcy altruizmu b

dostatecznie duże, tak że spełniona jest nierówność $rb > c$. Odkrycie Hamiltona nosi nazwę selekcji krewniczej. Przed publikacją jego pracy, jeśli ktoś obserwował jednoznaczny akt altruistyczny między zwierzętami, to albo nie interpretował tej obserwacji właściwie, albo powinien uznać, że ewolucja drogą naturalnej selekcji jest teorią błędną. Dlatego wiele osób nie traktowało wiedzy o ewolucji na serio i opierało się na intuicyjnych wrażeniach na podstawie tego, co sami obserwowali. Publikacja Hamiltona wszystko zmieniła.



George Price
(1922–1975)

niętego niezrozumiałymi matematycznymi modelami. Bill powiedział mi wówczas, że jedynym człowiekiem zajmującym się na serio ewolucją w Londynie jest George Price.

Price był Amerykaninem, przez pewien czas studiował na Uniwersytecie Harvarda, a doktorat z chemii uzyskał na Uniwersytecie w Chicago. Interesowało go wiele spraw społecznych i politycznych, a pod koniec życia przeniósł się do Anglii, gdzie dostał możliwość pracy naukowej w Londynie. Był dobrze zorientowany w rozwijanej wówczas w Ameryce dziedzinie wiedzy znanej pod nazwą „teoria gier”, która była stosowana w ekonomii i naukach politycznych. Price zastosował ją do badania zachowania społecznego zwierząt. Artykuł, który przygotował i przesłał do pisma „Nature”, dotyczył konfliktów między osobnikami i stosowania teorii gier oraz symulacji komputerowych dla określenia efektów selekcji indywidualnej, dających korzystne rozwiązania także dla innych osobników. Najpoważniejszym angielskim badaczem, który stosował matematykę w biologii ewolucyjnej, był w tym czasie wspomniany już John Maynard Smith, któremu wysłano do recenzji tekst Price’a. Maynard Smith uznał go za zbyt skomplikowany dla ówczesnego czytelnika. Ostatecznie po poprawkach został on opublikowany jako wspólna praca Maynarda Smitha i Price’a.



Robert Trivers
(ur. 1943)

Zastosowanie teorii gier w biologii ewolucyjnej, którą później zajmował się głównie Maynard Smith, okazało się bardzo owocne i doprowadziło m.in. do powstania koncepcji strategii ewolucyjnie stabilnej, czyli takiego zachowania, które daje najlepsze szanse przeżycia i wydania potomstwa, zaś alternatywne strategie są eliminowane przez naturalną selekcję. Strategia ewolucyjnie stabilna wyjaśniła, dlaczego walki między zwierzętami są często raczej udawane, a nie prowadzone na serio, oraz że zachowania altruistyczne mogą istnieć także między osobnikami niespokrewnionymi, a nawet należącymi do różnych gatunków (co wykazał Robert Trivers, formułując koncepcję tzw. altruizmu odwzajemnionego). Wszystko zależy od warunków, w jakich konflikt przebiega i jakie są cechy osobników zaangażowanych w ten konflikt.



Richard Dawkins
(ur. 1941)

Odrzucenie idei dobra gatunku jako wyjaśnienia niejasnych zjawisk przyrodniczych i wprowadzenie idei selekcji krewniczej oraz strategii ewolucyjnie stabilnej skłoniło wielu badaczy do zainteresowania ewolucją zachowania, co doprowadziło do ukształtowania się nowej dziedziny zwanej socjobiologią. Badania nad życiem społecznym zwierząt, np. te prowadzone przez Jane Goodall, traktowane wcześniej jako niezbyt poważne, wzrosły na znaczeniu i prestiżu. Doprowadziło to do postępu w całej biologii, a szczególnie w ekologii, którą ściśle skoordynowano z biologią ewolucyjną. Ważnym elementem tego postępu była publikacja w 1976 r. książki Richarda Dawkinsa „Samolubny gen”, będą-

ca próbą opisu naturalnej selekcji w niespotykany dotychczas sposób.

Także selekcja grupowa okazała się zjawiskiem bardziej skomplikowanym, niż sądzili jej pierwsi krytycy. W jakimś stopniu związana jest z selekcją krewniczą – ponieważ spokrewnienie eliminuje oszustów, którzy nie działają dla dobra grupy. Z drugiej strony brak spokrewnienia w grupie może być równoważony zdolnością do rozpoznawania oszustów, co jest możliwe w grupach utworzonych w społecznościach ludzkich. Zatem selekcja grupowa przekazywana kulturowo może faworyzować nie tylko współpracę i altruizm, ale także ksenofobię.

Nowa terytoria

Dzięki postępowi w biologii ewolucyjnej rozwiązane zostały pewne podstawowe problemy biologii, takie jak np. przyczyny powstania i utrzymywania się w przyrodzie płciowości. Dużą rolę odegrał tutaj Hamilton, proponując model teoretyczny i postulując pasywnictwo oraz drobnoustroje chorobowe jako przyczyny powstania i utrzymywania się płciowości, co w 2011 r. potwierdzono eksperymentalnie. Nie będzie przesadą, jeśli Williama Hamiltona uznamy za najwybitniejszego ewolucjonistę XX w. Niestety, zmarł młodo, w wieku 64 lat, po zarażeniu się malarią w czasie pobytu w Afryce, gdzie prowadził badania nad wirusem HIV.

Hamilton był głównym prekursorem kierunku, w którym poszła biologia ewolucyjna. Początkowo wyglądało, że skupi się ona na życiu społecznym zwierząt i ich zachowaniu, ale sukcesy w tej dziedzinie skłoniły biologów do zadawania bardziej fundamentalnych pytań. Po co istnieje płęć? Dlaczego wiele zwierząt, w tym także człowiek, starzeje się i umiera? Dlaczego niektóre choroby są zabójcze jak malaria, a inne łagodne jak katar? Czy procesy ewolucyjne mogą być eksperymentalnie badane? Czy proces ewolucji może się zatrzymać? Na wiele z tych pytań udzielono sensownych odpowiedzi potwierdzonych danymi empirycznymi. W ten sposób biologia ewolucyjna wchodzi w zagadnienia dotychczas zarezerwowane dla filozofii, teologii i ogólnie humanistyki.

Biologia ewolucyjna zawdzięcza wiele także postępowi w sekwencjonowaniu DNA, choćby dlatego, że możliwe jest sekwencjonowanie DNA z danych zebranych przez paleontologów, a także w badaniach efektów selekcji krewniczej. Obecnie z biologią ewolucyjną silnie zintegrowana wydaje się ekologia, co jest widoczne w tytułach czasopism i jednostek naukowych, ale spodziewać się należy jej silniejszej integracji z innymi działami biologii.

Ponieważ naturalna selekcja może działać nie tylko w przyrodzie, ale też być naśladowana w komputerach, stała się jednym ze sposobów rozwiązywania skomplikowanych problemów za pomocą symulacji komputerowej, co stanowi podstawę sztucznej inteligencji.

Mimo przejściowych trudności idea naturalnej selekcji poszła znacznie dalej, niż spodziewali się tego nawet najwięksi entuzjaści Darwina.

ADAM ŁOMNICKI

Autor jest emerytowanym profesorem Instytutu Nauk o Środowisku UJ. Nestor polskiej szkoły biologii ewolucyjnej, autor kilku podręczników akademickich i wielu prac naukowych z dziedziny ekologii ewolucyjnej.

Rodzice założyciele

TEKST: ŁUKASZ LAMŻA INFOGRAFIKA: LECH MAZURCZYK

Poznajmy dziewięciu ojców i jedną matkę tylko niektórych z wielu dziedzin biologii.



Antonie van Leeuwenhoek
(1632–1723)

PROTOZOLOGIA
Był niderlandzkim handlarzem sukna. By skuteczniej oceniać jakość materiałów, opracował nowatorską metodę tworzenia soczewek (stapiając w ogniu cieniutką szklaną pałeczkę, w wyniku czego powstawały idealnie gładkie kuleczki). Pozwoliło mu to głęboko zajrzeć w świat przyrody, w którym odkrył m.in. plemniki, ale też *animalcula* „małe zwierzątka” określane później jako **pierwotniaki** (Protozoa), a dziś – protisty.

Erik Acharius
(1757–1819)

LICHENOLOGIA
XVIII wiek to piękny okres dla biologii systematycznej. To wtedy **Karol Linneusz** zaraził świat swoją pasją do porządkowania świata przyrody. Jeden z jego uczniów, szwedzki lekarz Erik Acharius, obsesyjnie opisywał i katalogował **porosty**.



Karol Darwin
(1809–1882)

TEORIA EWOLUCJI
Powtórmy tylko za genetykiem Theodosiusem Dobzhanskim: „Nic w biologii nie ma sensu w oderwaniu od teorii ewolucji”. Publikacja **„O pochodzeniu gatunków”** była przetodem dla całej biologii, a sam Darwin jest właściwie ojcem założycielem współczesnej biologii jako takiej.

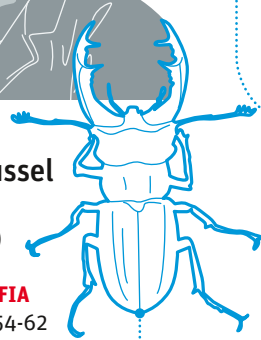


Gregor Mendel
(1822–1884)

GENETYKA
Dzięki eksperymentom z grochem zademonstrował „logikę” dziedziczenia cech biologicznych, opierającą się na pojęciu **„genu”**: nieciągłej, funkcjonującej „skokowo” jednostki dziedziczności. Nie wywołał jednak zainteresowania. Dopiero pod koniec XIX w. do takich samych wniosków doszedł **Hugo de Vries**, który potrzebował lektury prac Mendla, aby w pełni docenić swoje własne badania; jako człowiek honoru wskazał na morawskiego zakonnika jako na prawdziwego ojca genetyki.

Alfred Russel Wallace
(1823–1913)

BIOGEOGRAFIA
W latach 1854-62 podróżował po Azji Południowo-Wschodniej, gromadząc potężne zbiory okazów. Z Archipelagu Malajskiego przywiózł ponad 80 tys. samych tylko **chrząszczy**. Niebezpieczna praca w tropikach Borneo i Celebesu przyniosła głębokie, ilościowe zrozumienie rozkładu przestrzennego gatunków. W 1869 r. wydał jeden z wielkich bestsellerów nauk biologicznych *„The Malay Archipelago”*. Niezależnie od Darwina odkrył dobór naturalny, a biogeografia stanowi jeden z fundamentów współczesnego rozumienia, jak ewoluuje życie na Ziemi.



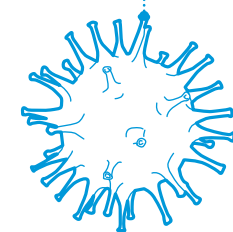
Robert Koch
(1843–1910)

MIKROBIOLOGIA
Gdy się urodził, świat medyczny wciąż był przekonany, że choroby zakaźne wywołane są przez złe powietrze: mór albo miazmę. W latach 50. XIX w. chirurg i ginekolog **Ignaz Semmelweis** odkrył, że dokładne umycie rąk przed operacją radykalnie zmniejsza ryzyko infekcji u operowanych kobiet; nikt mu nie wierzył. W latach 60. **Ludwik Pasteur** przeprowadził pionierskie doświadczenia nad mikroorganizmami. Koch powiązał ze sobą tego typu nowinki, proponując cztery empiryczne prawa pozwalające stwierdzić, czy dana choroba przenoszona jest przez mikroorganizmy. W 1882 r. jako pierwszy połączył ze sobą konkretny gatunek bakterii, **Mycobacterium tuberculosis**, z konkretną chorobą – gruźlicą.



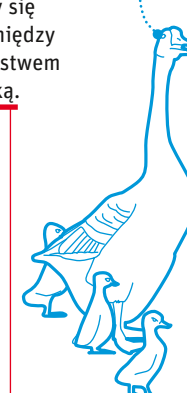
Dmitrij Iwanowski
(1864–1920)

WIRUSOLOGIA
Botanik z Sankt Petersburga, pod koniec lat 80. XIX w. wystąpił na Ukrainę, aby zbadać przyczynę choroby pustoszącej tamtejsze pola tytoniu. Stosując podejście Kocha, odkrył, że odpowiedzialny za nią jest mikroorganizm, jednak nie udawało się go „złapać” nawet na najmniejszych oczkach porcelanowego filtra Chamberlanda. W ten sposób zidentyfikowane zostały **wirusy** – czynniki infekcyjne jeszcze mniejsze od bakterii.



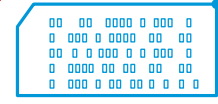
Konrad Lorenz
(1903–1989)

ETOLOGIA
Już **Arystoteles** opisywał zwyczaje rozrodcze borsuków, biomechanikę ruchu węży i podział ról w społecznościach pszczeli. Jednak dopiero Lorenz potraktował zachowanie jako produkt doboru naturalnego i starał się spojrzeć na świat oczami samych zwierząt. Wynalazł eksperymentalne sposoby na otwarcie „czarnej skrzynki” zwierzęcego umysłu, której tykać nie chcieli behawioryści. W 1935 r. opisał mechanizm wdrukowania u **gęsi**, poprzez który u wielu gatunków tworzy się więź między potomstwem a matką.



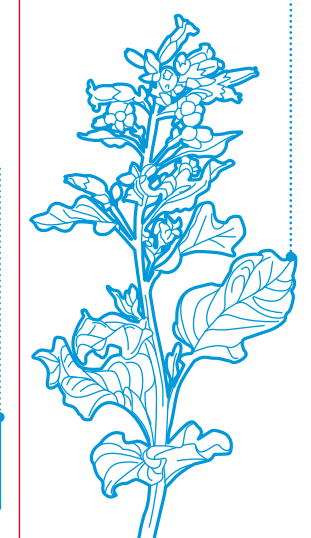
Margaret Belle Dayhoff
(1925–1983)

BIOINFORMATYKA
W 1966 r. wraz z Richardem Eckiem opublikowała pionierską pracę, w której opisała historię ewolucyjną białka (ferredoksyny) na podstawie jej sekwencji aminokwasów. Ponieważ wymagało to żmudnego zliczania podobieństw i różnic pomiędzy wieloma długimi ciągami znaków, jest idealnym zadaniem dla komputera. Dayhoff zaproponowała, aby każdy aminokwas oznaczać jedną literą (konwencja, która zachowała się do dzisiaj), co następnie „przetłumaczyła” na język **kart dziurkowanych**. Dziś metody obliczeniowe tego typu są podstawowym narzędziem w badaniu historii ewolucji organizmów.



Rudolf Jaenisch
(ur. 1942)

INŻYNIERIA GENETYCZNA
Jest odpowiedzialny (wraz z **Beatrice Mintz**) za badanie, w wyniku którego powstało pierwsze transgeniczne zwierzę: mysz, która nosiła gen pochodzący od innego organizmu. W 1986 r. we Francji po raz pierwszy przeprowadzono testy nad genetyczną modyfikacją **tytoniu**, aby uzyskać odporność na herbicydy; w 1992 r. w Chinach wysiano pierwsze komercyjne pola roślin GMO. Rewolucja genetyczna trwa.





Mikroskop krioelektronowy

Życie pod mikroskopem

ANNA BARTOSIK

Od XVII w. wiemy, że organizmy zbudowane są z komórek. Poznawanie ich budowy i funkcji było jednym z największych wyzwań biologii – i przyniosło mnóstwo Nagród Nobla.

Szacuje się, że na organizm człowieka składa się około 200 rodzajów komórek, jednak ta liczba może się powiększyć. Pracują nad tym naukowcy zrzeszeni w projekcie „*Human Cell Atlas*” („Atlas ludzkich komórek”), wykorzystując m.in. techniki sekwencjonowania DNA pojedynczych komórek i analizę bioinformatyczną.

W projekcie tym – gdy idzie o rozmach, porównywanym do największego jak dotąd biologicznego przedsięwzięcia, czyli projektu poznania genomu człowieka

„*Human Genome Project*” – chodzi o opisanie budowy i funkcji możliwie największej liczby typów komórek budujących ludzki organizm na różnych etapach jego rozwoju, w warunkach normalnych oraz chorobowych. Byłoby to bezcenne źródło wiedzy dla diagnostyki i leczenia wielu chorób.

„*Human Cell Atlas*” został oficjalnie inaugurowany w październiku 2016 r. w Londynie. Już rok później poinformowano o postępach prac i wynikach analizy pierwszego miliona komórek.

Spojrzyć w głąb

Pojęcia „komórka” po raz pierwszy użył Robert Hooke, angielski przyrodnik i eksperymentator, w dziele „*Micrographia*” z 1665 r. Udoskonalił mikroskop wynaleziony przez niderlandzkiego przedsiębiorcę, Antoniego van Leeuwenhoeka (zob. „Zrozumieć pierwotniaka”, s. 19), i obejrzał w powiększeniu przekroje korka pochodzące z dębu korkowego. To, co zobaczył, skojarzyło mu się z celami mnichów w klasztorach (z ang. *cell*) i nadał taką właśnie nazwę obserwowanym strukturom. Hooke nie zdawał sobie sprawy, że obserwował martwe komórki, a właściwie tylko ich ściany komórkowe. Komórki roślinne w odróżnieniu od zwierzęcych oddzielone są od otoczenia ścianą komórkową zbudowaną w znacznej części z celulozy. Hooke jednak nie poświęcił swojego życia zgłębianiu zaobserwowanych struktur. Jego umysł sięgał dalej – do gwiazd i planet, które badał za pomocą teleskopów. Miał jednak pecha – a przy tym podobno paskudny charakter – ponieważ jego największym naukowym rywalem był sam Izaak Newton, z którym toczył zażarte dysputy na forum Towarzystwa Królewskiego w Londynie, często wręcz kończące się awanturami.

Bez mikroskopu biologia nie mogłaby zrobić najważniejszego kroku naprzód. Zajrzeć w głąb. Mikroskopia do dziś odgrywa w naukach o życiu olbrzymią rolę, zaś współczesne urządzenia – mikroskopy konfokalne, elektronowe czy sił atomowych – już tylko z nazwy nawiązują do wynalazku van Leeuwenhoeka, wyglądem przypominają raczej stację dowodzenia w NASA.

W tym roku Nagrodą Nobla uhonorowano twórców tomografii krioelektronowej, wykorzystującej preparaty zamrożone w ciekłym azocie, której rozdzielczość sięga kilku angstromów (1 Å to jednostka długości równa 10^{-10} m). W ten sposób można badać np. strukturę wirusa Zika.

Dzięki udoskonalanym technikom mikroskopowym biolodzy mogli nie tylko obejrzeć komórki i je od siebie rozróżnić, ale też zajrzeć do ich wnętrza. A właśnie tam zaczyna się prawdziwy mikrokosmos.

Wiele dekad zajęło zidentyfikowanie podstawowych elementów budulcowych komórek i zrozumienie ich funkcjonowania. Wewnątrz komórki zobaczymy jądro, w którym zlokalizowana jest informacja genetyczna, czyli genom, w postaci dwuniciowego DNA. To centrum dowodzenia otoczone jest przez błoniaste struktury,

na których zachodzi synteza białek biorących udział we wszystkich procesach molekularnych żywego organizmu. Energia do zachodzenia reakcji chemicznych dostarczana jest przez mitochondria, mikroelektrownie, rozsiane w cytoplazmie – swoistej białkowej galaretkę. Błony obecne wewnątrz komórek dzielą cytoplazmę na szereg kompartmentów, czyli odrębnych przestrzeni, w których mogą zachodzić różne, czasem konkurencyjne wobec siebie reakcje chemiczne. Na schematach znanych nam z podręczników do biologii może się wydawać, że w komórkach jest mnóstwo miejsca i wszystko swobodnie pływa w galaretowatej cytoplazmie. W rzeczywistości to niezwykle upakowane środowisko, w którym żaden nanometr nie jest marnowany. Na ten obraz wnętrza komórki składa się praca setek naukowców. Komitet Noblowski w 1974 r., kiedy wiele jeszcze pozostawało niezbadane, nagroził trzech biologów (byli to Albert Claude, Christian de Duve i George E. Palade) za „odkrycia dotyczące strukturalnej i funkcjonalnej organizacji komórek”.

Ekspresja genów

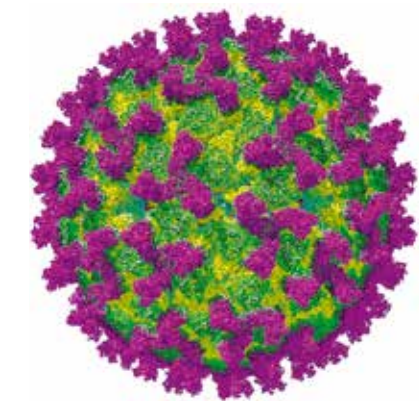
W każdej komórce ciała znajduje się identyczny materiał genetyczny. Jak to się więc dzieje, że komórki różnią się od siebie? Na przykład komórki mikrogleju obecne w mózgu i komórki budujące wyspy Langerhansa w trzustce. Te pierwsze to komórki układu odpornościowego obecne w tkance nerwowej. Ich rolą jest monitorowanie mikrośrodowiska w mózgu, usuwanie obumarłych neuronów i reagowanie na stany zapalne. Z kolei komórki wysp trzustkowych kontrolują poziom cukrów we krwi i wydzielają regulujące go hormony: insulinę i glukagon. Dwie zupełnie różne funkcje – ten sam genom.

Sekret tkwi w ekspresji genów, czyli „ujawnianiu się” różnych genów w różnych komórkach. W komórkach mikrogleju nie dochodzi do ujawnienia się genu odpowiedzialnego za produkcję insuliny.

Ekspresja genów to niezwykle skomplikowany i wieloetapowy proces. W skrócie jest to synteza odpowiedniego białka, czyli produktu genu, regulowana w czasie i przestrzeni. Ma na nią wpływ szereg czynników, które koordynują poszczególne etapy. Każda komórka, mając ten sam materiał genetyczny, wybiera z niego tylko tę część, która jest potrzebna do realizacji pełnionej przez nią funkcji w obrębie organizmu. Wybór ten dokonywany jest bardzo wcześnie, już na etapie roz-

woju zarodkowego. Pozornie bezkształtne zbitki komórek ma już wtedy zdeterminowany przód i tył, część grzbietową i brzuszna. W każdym z tych segmentów dochodzi do ujawniania się odpowiednich genów, koniecznych do powstania konkretnych organów. Badania nad tym procesem prowadzono szczególnie intensywnie w latach 80. XX w., m.in. w niemieckiej Getyndze. To właśnie tam naukowcy pod kierunkiem Christiane Nüsslein-Volhard (Nobel 1995 wspólnie z Erikiem Wieschaussem i Edwardem B. Lewisem) analizowali setki mutantów larw muszek owocowych, by rozwikłać mechanizmy, które dotyczą początków każdego z nas.

„*Omnis cellula e cellula*” (wszelka komórka z komórki) – mógł wykrzyknąć Rudolf Virchow w drugiej połowie XIX w., kiedy rozszerzał tzw. teorię komórkową o swoje przełomowe obserwacje (choćby takie zachowania tego statecznego niemieckiego patologa nie ma żadnych przekazów historycznych). Teoria komórkowa sformułowana w latach 1838-39 przez Theodora Schwanna i Matthiasa Jacoba Schleidena głosiła, że wszystkie organizmy żywe zbudowane są z osobnych komórek. Virchow dodał do tego, że każda komórka powstaje przez podział już istniejącej. Komórki nie powstają *de novo*, znikąd. Na tamte czasy było to twierdzenie odważne i graniczące z herezją. Obecnie wiemy, że procesem powstawania nowych komórek zawiaduje cykl komórkowy, na któ-



Obraz wirusa choroby niebieskiego języka w mikroskopie krioelektronowym

ry składa się wiele procesów molekularnych. Nadzoruje on powstanie organizmu z zapłodnionej komórki jajowej, a także procesy regeneracji tkanek (np. wątroby czy kości). Gdy wymyka się spod kontroli, komórka zaczyna żyć własnym życiem i może rozwinąć się w nowotwór. Leland H. Hartwell, R. Timothy Hunt i Paul M. Nurse za swoje badania nad mecha-

mi regulującymi cykl komórkowy zostali uhonorowani w 2001 r. Nagrodą Nobla. Pierwsze badania były prowadzone na drożdżach piekarskich, zgodnie z niepisana zasadą w biologii, że „co działa na drożdżach, działa i u słonia”.

Nieśmiertelna HeLa

Wiele przełomowych badań w biologii było prowadzonych na prostych organizmach, takich jak drożdże, nicienie czy muszki owocowe. Ale z biegiem lat wśród naukowców rosło przekonanie, że muszą nauczyć się hodować w laboratoriach ludzkie komórki. Obecnie komórki do badań można pobrać od dawców w szpitalach albo po prostu kupić od wyspecjalizowanych firm. Sprzedają one głównie nieśmiertelne linie komórek nowotworowych. Taka fiołka, przechowywana w oparach ciekłego azotu, kosztuje zaledwie kilkaset euro.

Najsłynniejszą linią komórkową na świecie jest linia nowotworowa o nazwie HeLa. W połowie XX w. wielu naukowców pracowało nad metodami, które pozwoliłyby na hodowlę komórek ludzkich w laboratoriach. Testowali różne warunki i pożywki, wzbogacane o substancje pochodzące zwierzęcego. Przełom nastąpił w 1951 r., kiedy do laboratorium George'a Otto Geya, biologa ze szpitala Johna Hopkinsa w Baltimore, trafiły komórki pobrane od pacjentki onkologicznej Henrietty Lacks.

Klinika Hopkinsa, powołana do życia przez bogatego filantropa, była już wtedy ośrodkiem naukowym słynnym na cały kraj. Ale Henrietta stała się pacjentką Hopkinsa przez przypadek; po prostu był to najbliższy szpital w okolicy małego Clover, w którym mieszkała. W tym czasie na raka szyjki macicy w USA umierało rocznie 15 tys. kobiet. Doktor Richard Wesley TeLinde, ordynator oddziału ginekologii w szpitalu Hopkinsa w Baltimore, zajmował się badaniem najcięższych przypadków, a ponadto pracował nad różnicowaniem nowotworu inwazyjnego od nieinwazyjnego, czyli złośliwego od takiego, który nie daje przerzutów. W tym celu pobierał próbki od każdej kobiety ze zdiagnozowanym rakiem szyjki macicy, która trafiała na jego oddział. Także od Henrietty. Przed przystąpieniem do pierwszej radioterapii chirurg pobrał od niej fragment guza oraz wycinek zdrowej tkanki z macicy.

Wycinki trafiły prosto do laboratorium hodowli tkankowych George'a Geya i jego żony Margaret przy szpitalu Hopkinsa, które prowadziło pionierskie badania →

→ nad wyhodowaniem pierwszej nieśmiertelnej linii komórkowej z komórek pobieranych od pacjentów. Próby te dotychczas nie przynosiły wielu sukcesów, komórki szybko umierały albo pożywka, na której rosły, była zakażana przez bakterie lub grzyby obecne w powietrzu. W laboratorium Geya praca w sterylnych warunkach była priorytetem, o co dbała 21-letnia Mary Kubicek, pielęgniarka chirurgiczna. To ona oznaczyła komórki Henrietty skrótem HeLa i umieściła je w inkubatorze.

Ku zaskoczeniu wszystkich, inaczej niż inne komórki, HeLa nie umarły, tylko w warunkach hodowlanych zaczęły się mnożyć tak szybko, że niemal codziennie Mary musiała je przenosić na nowe pożywki. W końcu komórki w hodowli podwajały swoją liczbę co 24 godziny. Na początku Gey podchodził sceptycznie do doniesień na temat postępu komórki HeLa. Dopiero po paru tygodniach zrozumiał, że po upływie trzech dekad w końcu osiągnął sukces. Narodziła się pierwsza nieśmiertelna linia komórkowa.

Komórki HeLa zostały wysłane w kosmos i przyczyniły się do wielu kluczowych badań, m.in. nad szczepionką na wirusa HPV (Nobel 2008, Harald zur Hausen), chemioterapią czy zapłodnieniem *in vitro* (Nobel 2010, Robert Edwards). Żyją w laboratoriach na całym świecie już ponad 65 lat, a jeden z naukowców oszacował ich dotychczasową wyhodowaną masę na 50 mln ton, czyli tyle co sto nowojorskich budynków Empire State. Obecnie banki komórkowe dysponują kilkuset stabilnymi liniami komórkowymi o różnych dziwnych nazwach: HCT-116 (nowotwór okrężnicy), A549 (nowotwór płuc) czy MIA Paca-2 (nowotwór trzustki). Dostępne są dla nich wystandaryzowane pożywki hodowlane wzbogacane w cielec surowicę płodową, w której jest wiele niezbędnych czynników wzrostu i witamin. Niektóre komórki potrzebują do życia bardzo egzotycznych dodatków, np. linia MCF-10A wymaga obecności śladowych ilości toksyny cholery!

Komórki zaskakują i jeszcze nie raz zdziwią naukowców swoimi możliwościami. Dla wielu przyszłych adeptów biologii przełomowym momentem jest zobaczenie komórki pod mikroskopem. Odtąd często już nic nie jest dla nich takie samo. Wiem z doświadczenia.

©

ANNA BARTOSIK

Autorka obroniła doktorat przygotowaną w Europejskim Laboratorium Biologii Molekularnej w Heidelbergu. Zajmuje się popularyzacją nauki.

Biologia uprawiana młotkiem

ŁUKASZ KWIATEK

Dzięki skamieniałościom możemy odtworzyć naturalną historię życia na Ziemi. Nowoczesna paleontologia, jak wiele dziedzin biologii, narodziła się w XIX wieku.

Svante Pääbo, jeszcze jako doktorant na Uniwersytecie w Uppsali na początku lat 80., w tajemnicy przed promotorem buszował po zapleczach muzeów historii naturalnej i pobierał fragmenty egipskich mumii, by sprawdzić, czy da się z nich wyodrębnić materiał genetyczny. Zdawał sobie sprawę z tego, że sekwencjonowanie starożytnych genomów zrewolucjonizowałoby paleontologię.

Do tej pory paleoantropolodzy rekonstruowali historię ludzkości nieco po omacku – nie wszystko da się ustalić na podstawie miejsca wykopalisk i podobieństwa analizowanych skamieniałości do innych wydobytych wcześniej okazów. Intuicja nie zawiodła Pääba. Przez lata swojej spektakularnej kariery naukowej opracował i udoskonalał metody pozyskiwania starożytnego DNA, nie tylko z mumii, ale także z liczących dziesiątki tysięcy lat skamieniałości. Pozwoliło mu to m.in. odkryć denisowian, gatunek praczłowieka występujący w Azji równoległe z neandertalczykami, udowodnić, że nasi przodkowie krzyżowali się i z denisowianami, i neandertalczykami, a także zrewidować dotychczasowe hipotezy na temat przebiegu ludzkich wędrówek i czasu kolonizacji różnych kontynentów.

Dziś dysponujemy nawet technikami pozwalającymi analizować materiał ge-

netyczny z tkanek, które nie uległy fosylizacji (skamienieniu), tylko rozłożyły się w podłożu – określane jako „błotne DNA”. W maju tego roku zespół Pääba i Matthiasa Meyera (obaj kierują grupami badawczymi w Instytucie Antropologii Ewolucyjnej Maxa Plancka w Lipsku) ogłosił na łamach „Science” wykrycie DNA neandertalczyków i denisowian w podłożach jaskiń, w których wcześniej nie znaleziono ludzkich skamieniałości. Historia paleontologii pisze się więc na naszych oczach.

Siła plastyczna

Już starożytni filozofowie domyślali się, że odnajdywane gdzieś tam skamieniałości są śladami niegdyś żywych organizmów, roślin i zwierząt. Niektórzy, jak Ksenofanes z Kolofonu (VI/V w. p.n.e.), obecność skamieniałości morskich organizmów na wyżynnych terenach poprawnie uznali nawet za dowód na to, że dany obszar musiał kiedyś znajdować się pod wodą. Wielu przypisywało powstawanie skamieniałości katastrofom naturalnym – trzęsieniom ziemi, powodziom czy wybuchom wulkanów, które miały gwałtownie zakończyć życie zwierząt i roślin i przeobrazić je w kamień. W epoce nowożytnej uczonych, którzy podzielali

takie poglądy, określano mianem katastrofistów.

W średniowieczu arabski filozof Awicenna (X-XI w.) zaproponował inne wyjaśnienie skamieniałości. Rozwinął teorię Arystotelesa, przekonanego, że ziemia sama z siebie rodzi organizmy, i zasugerował, że skamieniałości to nieudane próby matki natury wydaną na świat istot żywych. Powstawanie tego, co organiczne, z tego, co nieorganiczne, miało być według Awicenny możliwe pod wpływem działającej w przyrodzie „siły plastycznej” (*vis plastica*). Dwieście lat później Albert Wielki, jak na scholastyka przystało, pogodził oba stanowiska, przyjmując istnienie w naturze „siły stwórczej” prowadzącej do powstawania takich tworów jak skamieniałości, jednocześnie uznając, że niektóre mogą pochodzić od żywych organizmów.

Dyskusja jednak trwała. W renesansie skamieniałościami zainteresował się m.in. Leonardo da Vinci, który natrafiał na nie regularnie podczas pracy nad projektem kanałów na północy Półwyspu Apenińskiego. Odrzucił ideę samoistnego powstawania skamieniałości, gdzieś wewnątrz skał, jednoznacznie uznając je za ślady dawnego życia. Aż do XVIII wieku nie brakowało jednak uczonych, którzy skamieniałości brali za formy mineralne nie pochodzące od roślin ani zwierząt.

Takie przekonanie często wiązało się z religijnymi inspiracjami. Trudno było

wprawdzie zaprzeczać, że skamieniałości wyglądają jak szczątki zwierząt czy roślin, ale odnajdywano w nich także cechy anatomiczne niespotykane u współcześnie żyjących stworzeń. Możliwości były dwie: albo zwierzęta podobne do tych, od których pochodzą skamieniałości, żyją na nieznanych jeszcze lądach (co wywoływało wiele wątpliwości), albo po prostu już wyginęły. Dlaczego jednak Bóg miałby do tego dopuścić? Czyż nie oznaczałoby to poważnej luki w jego doskonałym stworzonym planie (*scala naturae*)? Po co miałyby niszczyć własne dzieło? Niektórzy uciekali się nawet do twierdzeń, że Bóg celowo umieścił skamieniałości w ziemi, by przetestować naszą wiarę.

W czasach nowożytnych narastała fascynacja skamieniałościami, które naj-

pierw zaczęły zdobić prywatne kolekcje, a potem trafiać do pierwszych muzeów. Pod koniec XVII w. Robert Hooke, jeden z najbardziej oryginalnych angielskich uczonych (zob. „Życie pod mikroskopem”, s. 14) porównał badane przez siebie skamieniałości mięczaków do starożytnych monet i manuskryptów analizowanych przez archeologów i historyków. Hooke uświadomił sobie, że dzięki zapisowi kopalnemu można będzie dokładnie odtworzyć naturalną historię przyrody. Przynależność pokazała, że miał rację, i to nie tylko w odniesieniu do przyrody ożywionej.

A jednak wyginęły

Na przełomie 1795/96 r. Georges Cuvier, dziś uznawany za twórcę paleontologii i anatomii porównawczej, miał zaledwie 26 lat, gdy przekonał środowisko naukowe, że skamieniałości rzeczywiście pochodzą od wymarłych gatunków. Mając ogromną wiedzę anatomiczną, którą wyróżniał się już jako nastolatek, podjął się przeanalizowania trzech okazów: skamieniałości amerykańskiego mastodonta (gatunku z rodzaju mamutów), mamuta syberyjskiego oraz olbrzymiego lądowego leniwca. Ustalił, jakie współczesne gatunki najbardziej przypominają, oraz wyliczył szereg różnic świadczących o tym, że chodzi jednak o nowe gatunki. Ponieważ musiały to być olbrzymie zwierzęta, trudno sobie wyobrazić, by można je było prze-gapić, gdyby występowały współcześnie. A zatem wyginęły.

Jednak jak do tego doszło? Cuvier twierdził, stając się czołowym katastrofistą, że gatunki te wymarły pod wpływem nagłych zdarzeń, np. poruszenia się dna morskiego, które wywołało ogromne tsunami. Ostatnią globalną katastrofę wiązał wprost z biblijnym potopem.

Był też wielkim przeciwnikiem ewolucyjnych poglądów, które na początku XIX w. głosił Jean-Baptiste de Lamarck – zdaniem Cuviera gatunki się nie zmieniają, gdyż są doskonale przystosowane do swoich nisz, a każda zmiana musiałaby prowadzić do ich wyginiecia. Swoją tezę poparł dowodami empirycznymi – badał egipskie →

Rekonstrukcja szkieletu tyranozaura (*Tyrannosaurus rex*)

→ mumie kotów i doszedł do wniosku, że starożytne koty niczym szczególnym nie różniły się od osobników żyjących w jego czasach.

Równolegle z paleontologią kształtowała się nowożytna geologia. W drugiej połowie XVIII w. Szkot James Hutton opracował kluczową koncepcję uniformitaryzmu (aktualizmu), która zakładała, że to procesy przyrodnicze obserwowane także dzisiaj – np. erozja, ruch kontynentów czy sedymentacja – odpowiadają za ukształtowanie się powierzchni Ziemi. Aby wyjaśnić pochodzenie wszystkich skał, nie trzeba więc odwoływać się do żadnych hipoteznych globalnych katastrof.

W 1797 r., tym samym, w którym zmarł Hutton, na świat przyszedł kolejny wielki szkocki geolog, Charles Lyell, który rozwinął doktrynę uniformitaryzmu i tak zaciekle zwalczał katastrofizm, popularny zwłaszcza we Francji Cuviera, że poglądy ten na ponad 100 lat uznany został wręcz za niegodny miana naukowego. Być może dlatego pierwsze pokolenia paleontologów przegapiły coś, co w XX wieku stało się jednym z najgorętszych tematów w tej dziedzinie – wielkie wymierania, obejmujące nawet do 90 proc. wszystkich gatunków, takie jak to, które nastąpiło u schyłku permu (ok. 252 mln lat temu) pod wpływem globalnej katastrofy klimatycznej, najprawdopodobniej zainicjowanej serią erupcji wulkanów na Syberii – i zrobiło na ziemi miejsce m.in. dla dinozaurów.

Straszliwe jaszczury...

Zanim wykopaliska odstąpiły pierwsze skamieniałe fragmenty szkieletów dinozaurów, paleontolodzy byli już zaznajomieni z widokiem skamieniałości olbrzymich zwierząt. Na początku XVIII w. w brytyjskich koloniach w Ameryce Północnej odkryto ząb mastodonta – ogromny, ponad dwukilogramowy, a w 1739 r. wydobyto pierwsze fragmenty szkieletu pasujące do zęba. Oba znaleziska wywołały światową sensację. Nieznany gatunek zaczęto określać mianem *incognitum*. Jeszcze przed Cuvierem szkocki lekarz i anatom William Hunter uznał, że *incognitum* były zwierzętami przypominającymi słonie, wysokimi na 20 m i mięsożernymi. „Chociaż jako filozofowie możemy nad tym ubolewać, jako ludzie możemy jedynie podziękować niebiosom, że cała ta populacja prawdopodobnie wyginęła” – stwierdził.

U niejednego badacza podobne refleksje musiały wywołać skamieniałości dinozau-

Dysponujemy już technikami analizy tzw. „błotnego DNA” – materiału genetycznego z tkanek, które nie uległy fosylizacji, tylko rozłożyły się w podłożu.

rów. Pierwsze odkryte zostały ok. 1818 r. i trafiły do Williama Bucklanda (nauczyciela znanego nam już Lyella), który długo nie potrafił jednak ustalić, z czym dokładnie ma do czynienia. Zwierzę, które pozostawiło tajemnicze skamieniałości, przypominało olbrzymią jaszczurkę o długości ok. 12 m. W 1824 r. Buckland nadał mu nazwę *Megalosaurus* i zaliczył do gadów. Do końca lat 30. XIX w. odnaleziono i nazwano jeszcze kilka podobnych okazów. Nie były to oczywiście kompletne szkielety – takie trafiają się niezwykle rzadko – przez co ich jednoznaczne sklasyfikowanie narażało wiele trudności.

Pokonał je w 1842 r. Richard Owen, który w młodości zapragnął pójść w ślady słynnego Cuviera i stać się jego odpowiednikiem po drugiej stronie kanału La Manche. Owen zauważył, że nowo odkryte stworzenia (sam znalazł jeden okaz) w przeciwieństwie do współczesnych gadów mają olbrzymie rozmiary, zrosnięte kręgi krzyżowe, a budowa ich kości udowych sugeruje, że raczej chodziły na wyprostowanych nogach, jak ssaki albo ptaki, a nie pęzwały przy ziemi jak jaszczurki czy krokodyle. W końcu uznał, że muszą tworzyć oddzielną grupę, która nie została potomków wśród dzisiejszych gadów. Ukuł dla niej nazwę *Dinosauria*, od greckich słów *deinos* – „straszliwy” i *sauros* – „jaszczur”.

Coraz głośniejsze odkrycia pierwszych pokoleń paleontologów, z Cuvierem i Owenem na czele, przenikały do innych dziedzin nauki. Mniej więcej w tym samym czasie narodziła się stratygrafia, w czym ważną rolę odegrała obserwacja, że takie same skamieniałości odkrywa-

ne są w podobnych warstwach skalnych. Pozwoliło to w końcu spełnić proroctwo Hooke’a i stworzyć uniwersalny podział czasu geologicznego na poszczególne ery, choć do czasów odkrycia promieniotwórczości i opracowania koncepcji rozpadu połowicznego pierwiastków na początku XX w. nie istniała metoda ustalenia dat granicznych pomiędzy kolejnymi epokami geologicznymi.

...i brakujące ogniwa

Jeszcze zanim Karol Darwin ogłosił swoją teorię powstawania gatunków na drodze naturalnej selekcji, paleontolodzy odnaleźli pierwsze ludzkie skamieniałości. William Buckland, ten sam, który badał pierwszego dinozaura, w 1823 r. odkrył skamieniałości, które ochrzczono mianem Czerwonej Damy z Paviland (dziś wiemy, że to skamieniałości mężczyzny sprzed trzydziestu kilku tysięcy lat). Do czasu wydania „O pochodzeniu człowieka” znaleziono także pierwsze skamieniałości neandertalczyków, ale jako osobny gatunek sklasyfikowano je w 1864 r. Końcówka XIX wieku przyniosła jeszcze odkrycie „człowieka jawańskiego” – dziś znanego pod nazwą gatunkową *Homo erectus*, którego uznano za brakujące ogniwo pomiędzy człowiekiem a małpą. Początek XX wieku to czas sporego wzrostu liczebności ludzkich gatunków, identyfikowanych na podstawie nowych skamieniałości, a także najsłynniejszego w historii paleontologii fałszerstwa (udowodnionego dopiero po kilkudziesięciu latach) – „człowieka z Piltown” – spreparowanego z fragmentu czaszki człowieka, żuchwy orangutana i zębów szympansa.

Nie licząc coraz rzadszych zwolenników katastrofizmu, XIX-wieczni paleontolodzy nieczęsto rozważali przyczyny wymierania gatunków. Jeden z najbardziej rozpowszechnionych poglądów głosił, że gatunki mogą się starzeć na podobieństwo organizmów i w zupełnie naturalnych cyklach zastępowane są przez młodsze gatunki. Utrzymywanie takiego poglądu wielu badaczom nie przeszkadzało jednocześnie akceptować darwinowską teorię ewolucji, z perspektywy której był on przecież jawną herezją. Dopiero nowoczesna synteza ewolucyjna (zob. „Przygody biologii ewolucyjnej z dziedziczością”, s. 6) położyła kres takim spekulacjom. ©

LUKASZ KWIATEK

Autor jest kierownikiem działu naukowego „TP” i członkiem Centrum Kopernika.

Zrozumieć pierwotniaka

LUKASZ LAMŻA

Nauka nie rozwija się planowo i nikt nie kontroluje wyłaniającego się z niej obrazu świata. Nowe techniki, teorie i metody mimochodem wymuszają zmianę języka i perspektywy badawczej. I jak tu zrozumieć pierwotniaka?

Est rok 1673. Trwa Złoty Wiek Niderlandów; kwitnie handel tulipanami i dobrami zamorskimi, rozwija się sztuka. Antonie van Leeuwenhoek, młody biznesmen specjalizujący się w handlu suknem, siedzi w przyciemnionym kantorku w gwarnym Delfcie, uparcie wpatrując się w osnowę leżącego przed nim materiału przez sfatygowaną lupę ręczną. Stara się dojść, czy jest to rzeczywiście wysokiej jakości bawełna, czy też dostawca znowu wystrychnął go na dudka.

Jedyna znana wówczas metoda otrzymywania soczewek – szlifowanie kawałków szkła – ma swoje ograniczenia. Pewnego dnia, podglądając dmuchaczy szkła, van Leeuwenhoek wpada jednak na genialny pomysł. Gdy rozciągnie się ogrzana szklaną pałeczkę, powstanie cienka jak włos nitka. Po ponownym wsunięciu jej w ogień na końcu zacznie się formować idealnie gładka kuleczka: maleńka sferyczna soczewka. Van Leeuwenhoek umieszcza ją w metalowej oprawie. W taki mikroskop patrzy się z niedużej odległości; obiekty znajdujące się za szklaną kuleczką ukazują się w wielkim powiększeniu, przy odrobinie szczęścia nawet kilkusetkrotnym.

W jednej chwili uzyskuje wstęp do świata, którego prawdopodobnie nikt przed nim nie doświadczył. Zafascynowany swoim odkryciem ogląda przez mikroskop wszystko, co wpadnie mu w ręce. W swoich listach do największych towarzystw naukowych Europy starannie opisuje: wełnianą pończochę i kawałek surowej wełny, bycze jelito i pęcherz (delikatnie nadmuchiwać, aby łatwiej było obserwować strukturę nabłonka); język człowieka, potem wołu, a potem świni; ziarno kawy, wyprażone, a następnie pocięte na cienkie plasterki; własną krew, potem zmiesz-

aną z winem, a potem zmieszaną z winem i drożdżami... i tak dalej. Przez 50 lat, które pozostały mu do śmierci, van Leeuwenhoek odkrył plemniki, prązkowaną strukturę mięśnia i komórki krwi. A także *animalcula*: „małe zwierzątka”, pełzające po glebie, pływające w kałużach i tworzące

śliską błonkę na drewnianym poidle dla koni przed wiejską gospodą pod Delftem.

„Owe *animalcula* – pisze w 1674 r. w liście do Towarzystwa Królewskiego w Londynie – miały rozmaite kolory, jedne białe i przezroczyste; inne z zielonymi, połyskującymi łuskami; jeszcze inne zielone pośrodku, a z przodu i z tyłu białe; jeszcze inne szarzielone. A ruch większości tych *animalcula* w wodzie był tak chyży, tak rozmaity, w górę, w dół i w kółko, że wspaniale było na nie patrzeć. Sądzę, że niektóre spośród tych niewielkich stworzeń były ponad tysiącrotnie mniejsze od najmniejszych, jakie dotychczas widziałem...”

A jest jak B

Gdy mówimy o narzędziach, jakimi posługują się naukowcy, wymienimy pewnie teleskop, sejsmometr czy spektrometr masowy. Jednym z podstawowych narzędzi naukowych jest też jednak metafora.

Na płaszczyźnie czysto teoretycznej jest to każda struktura o postaci „A jest jak B”. Kojarzymy ją zwykle z poezją, od klasyki biblijnej („szyja twoja jak wieża Dawida... piersi twe jak dwoje kozłat, bliźniat gazeli, co się pasą pośród lilii”) po współczesność („pięć palców co po strunach chodzą / zegną się jak żelazo w ogniu / w owoc granatu martwy splot”). Metafora jest też jednak narzędziem myślenia, zwłaszcza o rzeczach, które są nam odległe, trudne do wyobrażenia; drugi człon metafory dostarcza wtedy punktu zaczepienia dla myśli. Ot, „świat jest jak zegarek mechaniczny” – jak by to chcieli Kartezjusz czy Newton.

Metafory, zwłaszcza nieuświadomione, organizują myśli na sposób dogłębny, podstępny i nie zawsze pożądany. Gdy założę cicho, że „dyskusja jest jak wojna”, to każdą debatę polityczną oglądać będę z oczekiwaniem, że padną w niej ciosy, że →



Mikroskop van Leeuwenhoek
z soczewką o powiększeniu 248 x.

Reprodukcja za zgodą Douga Andersona z portalu lensonleeuwenhoek.net

→ będą uniki i szturmy; że będzie zwycięzca i przegrany. A co by było, gdyby na dnie mojej świadomości tliła się alternatywna metafora, że „dyskusja jest wspólną wędrówką”? W nauce znany jest przypadek toksycznej wręcz metafory „atom jest jak układ planetarny”, która okazała się fatalnie nieadekwatna, ale do dzisiaj kołate się w naszej zbiorowej podświadomości.

Metafory naukowe są szczególnie potężne, ponieważ decydują o naszym obrazie świata. Jeśli przyjmę, zwłaszcza bez uświadomienia sobie tego, że „świat jest jak organizm”, będę żył w zupełnie innej rzeczywistości, niż gdybym przyjął, że „świat jest jak mechanizm”. Patrząc na wydmy, nie będę się zastanawiał nad tym, z jakich składa się ona elementów (ziarenek piasku) i jak ze sobą one oddziałują (poprzez tarcie i elektrostatykę), a raczej nad tym, czy jest w stadium dzieciennym czy dorosłym (wydmy przecież też rodzą się i umierają). Te dwie ścieżki nie wykluczają się i, czysto teoretycznie, powinny się uzupełniać. Cóż właściwie stoi na przeszkodzie, aby dwóch wędrówców, jeden spod znaku mechanicyzmu, a drugi organicyzmu, porozmawiali o tej samej wydmy? Czy nie powinni dojść ostatecznie do tych samych prawd? Teoretycznie – tak. Teoretycznie.

Małe zwierzątka

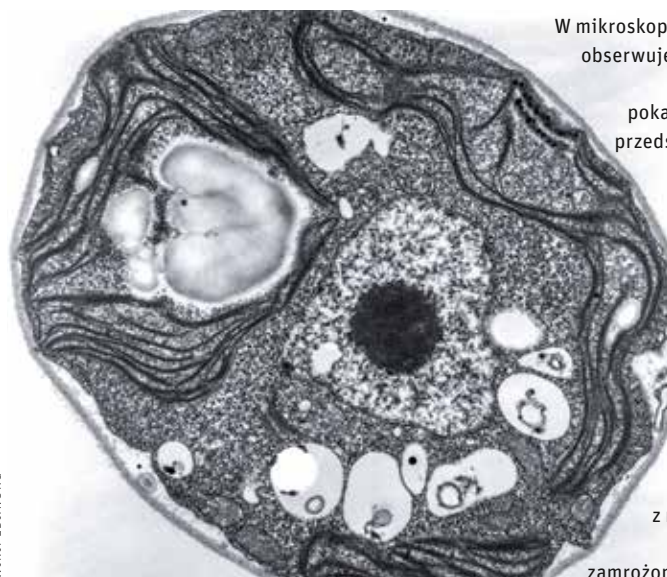
Na *animalcula*, które van Leeuwenhoek oglądał pod mikroskopem, dziś mówimy po prostu „pierwotniaki” albo – w terminologii naukowej – „protisty”.

Obserwowane przez van Leeuwenhoeka istoty poruszały się, poszukiwały pożywienia i spożywały je; rodziły się, rozmnażały i umierały. Literatura protozoologiczna aż do lat 40. XX w. opierała się na wielogodzinnych obserwacjach pierwotniaków gołym okiem lub w mikroskopie optycznym.

Badało się je jak każde inne zwierzę – po prostu obserwując ich anatomię i zachowanie; takim też językiem je opisywano. „*Teuthophrys* [rodzaj orzęska] nie jest zbyt szybkim pływakiem (...); postępuje naprzód dość nieśpiesznie, od czasu do czasu zawracając na chwilę, po czym wznawia ruch przed siebie” – pisał D.H. Wenrich w artykule z 1929 r. „*Paramecium* [czyli pantofelek, też rodzaj orzęska] porusza się po ścieżce spiralnej. Jest ona wąska, gdy w wodzie nie natrafia na żadne bodźce (...); w reakcji na bodziec bywa znacznie szersza, o promieniu nawet kilkakrotnie przekraczającym długość jego ciała” – pisał H.S. Jennings w 1904 r. Natomiast w 1911 r. S.O. Mast opublikował w czasopiśmie „*Journal*



YOUTUBE.COM



WIKIPEDIA.ORG

W mikroskopie optycznym (na górze) obserwuje się żywe, oddziałujące ze sobą protisty, jak na pokazanym tu kadrze z filmu przedstawiającego polowanie ameby na orzęska z rodzaju *Stentor*. Tak widzieli je wszyscy naukowcy do lat 40. XX wieku; stąd *animalcula*, czyli „małe zwierzątka”. W transmisyjnym mikroskopie elektronowym (obok) organizm – tutaj: jednokomórkowy glon z rodzaju *Chlamydomonas* – jest tylko plasterkiem zamrożonej materii biologicznej.

of *Animal Behavior*” (czyli poświęconym „zachowaniom zwierząt”) artykuł pt. „*Habits and Reactions of the Ciliate, Lacrymaria*” („Zwyczaj i reakcje orzęska *lacrymaria*”), w którym opisuje m.in. odwracanie przez *lacrymarie* „głowy” w reakcji na bodźce.

Szczególnie wzruszył mnie jednak E.E. Lund, który w 1935 r. opisywał orzęska *Oxytricha*, którego unieruchamiał pomiędzy dwiema płytkami szklanymi. Metoda ta, jak raportował, miała pewną wadę. Po przyciśnięciu orzęska „poszczególne organelle [rzęski] były znacznie szybciej i energiczniej niż zwykle. Aby poradzić sobie z tą trudnością, zastosowaliśmy różne narkotyki (...). Dzięki pomocy Wydziału Farmakologii odkryliśmy, że amytał [amo-

barbital, działający też na ludzi lek uspokajający] okazał się skuteczny. (...) Wystarczył jeden lub dwa maleńkie kryształki”. Po ok. pół godzinie orzęski uspokajały się na mniej więcej 10 minut, co pozwalało na ich dogodne obserwowanie, niezakłócone przez spazmatyczne ruchy ściśniętego orzęska. Dzięki temu Lund był w stanie opisać funkcję każdego z dokładnie osiemnastu pęków rzęsek (*cirri*) występujących na brzusznej stronie *oxytrichy*, ich rolę w pęczaniu, zawracaniu, sterowaniu, kierowaniu pokarmu do „gęby”, przytrzymaniu go itd.

Dwustuletnia tradycja traktowania pierwotniaków jako „małych zwierząt” zaczęła z czasem ciążyć. Metafora ta, jak każda,

każe zadawać określone pytania, a następnie odpowiadać na nie w określonym języku. *Oxytricha* wije się, gdy się go przyciśnie – czy więc „boi się”? *Teuthophrys* zawraca – a więc może „waha się”? Pantofelek poszerza ścieżkę, gdy się go pobudzi – czyżby więc był „ciekawski”? W 1911 r. L.M. Day i M. Bentley, również publikując w „*Journal of Animal Behavior*”, zarzekali się, że obserwowane przez nich orzęski uczą się metodą prób i błędów; z czasem miałyby uczyć się coraz do sprawniej poruszać po ciasnej przestrzeni rurki laboratoryjnej; potwierdził to zresztą J.W. French w 1940 r. (w czasopiśmie „*Journal of Experimental Psychology*”). Do dziś trwają w literaturze naukowej dyskusje nad możliwościami, no cóż, „poznawczymi” pantofelka i wiarygodnością tego typu raportów.

Głębiej, ku atomom!

Kolejny przełom w protozoologii dokonał się za sprawą grupy niemieckich fizyków, którzy na początku lat 30. XX w. badali wiązki elektronów i sposoby manipulowania nimi, tworząc podwaliny optyki elektronowej. W 1931 r. Ernst Ruska i Max Knoll zaprezentowali prototyp mikroskopu elektronowego – urządzenia, które wysyła w kierunku próbki wiązkę elektronów, a następnie rejestruje odbite od niej (lub przepuszczone przez nią) cząsteczki. Dwa lata później urządzenia takie osiągały już rozdzielczość przekraczającą możliwości najlepszych mikroskopów optycznych, dla których nieprzekraczalnym ograniczeniem jest długość fali światła. Światło widzialne ma fale długości ok. 300-700 nanometrów. Wić pierwotniaka ma grubość ok. 200-300 nanometrów. Choć dzięki różnego typu sprytnym technikom możliwe jest zarejestrowanie jej kształtu w mikroskopie optycznym, nie ma co już liczyć na zbadanie jej struktury wewnętrznej. A od skali atomowej do 300 nanometrów są cztery rzędy wielkości, to jak od jednego klocka lego do konstrukcji o grubości 10 metrów.

Gdy ucichły echa II wojny światowej, protozoologowie uzyskali możliwość obserwowania „małych zwierzątek” w niespotykanym wcześniej powiększeniu. Jest jednak pewien problem. Istnieją dwa podstawowe typy mikroskopu elektronowego. Mikroskop transmisyjny (TEM) wymaga doprowadzenia preparatu do postaci ultracienkiego plasterka, zaś mikroskop skaningowy (SEM) działa tylko na próbkach, których powierzchnia zbudowana jest z materiału przewodzącego, najlepiej

Pantofelek poszerza ścieżkę, gdy się go pobudzi – czyżby więc był „ciekawski”? Oxytricha wije się, gdy się go przyciśnie – czy więc „boi się”? Tradycja traktowania pierwotniaków jako „małych zwierząt” zaczęła z czasem ciążyć.

metalicznego. Aby zaobserwować pierwotniaka pod mikroskopem elektronowym, można więc go albo zalać żywicą, a następnie posiekać ultramikrotomem na cieniutkie kromeczkę, albo pokryć cieniutką warstwą złota. Tak czy inaczej metoda ta ograniczona jest do *animalcula metuda*.

Zupełnie jak van Leeuwenhoek, wojenni badacze pierwotniaków rzucili się na obserwowanie wszystkiego, co tylko wpadło im w ręce, pod każdym wyobraźnym kątem. Literatura protozoologiczna szybko zaroila się od coraz to bardziej precyzyjnych opisów ultrastruktury błon, witek, jąder, plastydów, mitochondriów oraz najprzeróżniejszych granulek, woreczków i kryształków wypełniających ciała pierwotniaków. W latach 90. pojawiła się ponadto możliwość badania ich sekwencji genetycznych oraz półautomatycznego ich porównywania z innymi genomami. Z czasem ustabilizował się „model standardowy” artykułu naukowego na temat pierwotniaka. Zerknijmy, jak naukowcy opisują dziś *animalcula*.

Ot, tekst z czerwca 2002 r. (M. Moriya, „*A New Class of the Stramenopiles...*”), w którym opisany jest nowy gatunek, *Placidia cafeteria*. Warto podkreślić, że jest to spore odkrycie; *Placidia* zasłużyła sobie na utworzenie specjalnie dla niej nowej klasy/gromady, czyli jednostki taksonomicznej dość wysokiego poziomu. Gromadami królestwa zwierząt są choćby owaady, pajęczaki, ślimaki, płazy, ptaki czy ssaki – nie jest to więc po prostu odkrycie gatunku orzęska numer 7524. To organizm o potencjalnie niespotykanych cechach.

Artykuł ma 14 stron. Sześć stron poświęconych jest analizie zdjęć z mikroskopu elektronowego (TEM) i porównaniu ich z ultrastrukturą innych, pokrewnych gatunków. Jedna strona – analizie genetycznej. Dwie – systematyczne; sporo zajmuje opis metod, bibliografia itd. Opis zachowania żywych osobników, oglądanych w mikroskopie optycznym, zajmuje natomiast... jeden akapit. Zacytujmy może typowy fragment tej pracy, żeby „poczuć” współczesną protozoologię. „Korzeń R3 składa się z 10 mikrotubuli, które w pobliżu ciała bazalnego i na przekroju poprzecznym układają się w kształt litery U (rys. 26). Korzeń R3 odchodzi w kierunku tylnym tuż pod brzuszną stroną ciała i zmienia przekrój poprzeczny z litery U na literę L, uformowaną przez dwa paski składające się z 3 i 7 mikrotubuli (rys. 27). W tylnej części ciała paski te rozbiegają się i tworzą dwa łuki, zewnętrzny i wewnętrzny...”

Pojednanie metafor?

Trudno powiedzieć, jaka właściwie metafora kryje się za tego typu opisem. Chyba żadna. W przypadku współczesnych prac poświęconych zachowaniu się pierwotniaków – które nie przestały przecież powstawać – można jednak powiedzieć z łatwością, jaka. Mechanicystyczna. Reakcja na bodziec rozkładana jest na części pierwsze. Ot, opis orzęska przepływającego w pobliżu źródła pokarmu: zanurzone w błonie komórki białka reagują na podwyższone stężenie cząsteczek pokarmu, wysyłając cząsteczkę sygnałowe do wnętrza komórki; te reagują z kolejnymi cząsteczkami, uruchamiając kaskadę słabo znanych procesów prowadzących ostatecznie do zmiany rytmu, z jakim biją określone grupy witek, a orzęsek zawraca. A popycha B, B popycha C, jak w zegarku.

Jednak dokładnie tak samo można przedstawić reakcję człowieka, który podchodzi do witryny sklepowej, ponieważ zauważył dobry prezent na gwiazdkę. Na siatkówkę oka padają fotony, sygnał wędruje nerwem wzrokowym do kory wzrokowej; następnie zachodzi równie tajemnicza, co w przypadku orzęska, magia krzyżujących się wpływów i sygnałów, prowadząca ostatecznie do zejścia rdzeniem kręgowym sygnału do nóg, które kierują ciało w kierunku sklepu. Przy opisie zachowań ludzkich przyzwyczajeni jednak jesteśmy, że interpretujemy te procesy jako „zauważenie” czegoś, „przypomnienie sobie” o świętach czy „podjęcie decyzji” →

Rewolucja w medycynie

MAGDALENA RICHTER

Sto lat temu każdy zabieg medyczny mógł skończyć się śmiertelną infekcją, choroby weneryczne oszpecały na całe życie, a poród wiązał się z ogromnym ryzykiem dla matki i dziecka. Wszystko zmieniły antybiotyki.

Budzisz się z ogromnym bólem gardła. Przełyka się ciężko, czujesz się fatalnie, pojawia się gorączka. Lekarz stawia szybką diagnozę – angina ropna. Przepisuje antybiotyki. Po dziesięciu dniach jesteś zdrow jak ryba. Tak wygląda nasza codzienna koegzystencja z bakteriami chorobotwórczymi. One atakują, my się bronimy. Arsenał, jak na razie, mamy bogaty. Nasi pradziadkowie takiego szczęścia nie mieli. Na początku XX w. najdrobniejszy zabieg medyczny mógł skończyć się śmiertelną infekcją, zwykłe skaleczenie amputacją, choroby przenoszone drogą płciową oszpecały na całe życie, a poród wiązał się z ogromnym ryzykiem zarówno dla matki, jak i dla dziecka. Ta dramatyczna era się zakończyła, gdy powszechnie dostępne stały się antybiotyki.

Ich odkrycie większości z nas kojarzy się z postacią Aleksandra Fleminga. Sporo osób słyszało, jak to brytyjski naukowiec zostawił w swoim laboratorium płytkę z bakteriami, na której wyrosła pleśń. Fleming zauważył, że grzyb zahamował rozwój bakterii, i tak oto odkrył pierwszy antybiotyk – penicylinę. Jednak w świecie odkryć naukowych nic nie dzieje się z dnia na dzień.

Chleb z pajęczyną

Bakterie chorobotwórcze towarzyszą człowiekowi od wieków. Przed nastaniem ery antybiotyków zbierały ogromne żniwo. Choć dawniej nie było dostępu do aptek wypełnionych substancjami bakteriobójczymi, to nasi przodkowie nie byli bezbronni. Już starożytni Grecy i Egipcjanie stosowali wyciągi z pleśni i roślin, którymi skutecznie leczyli infekcje. W medycynie ludowej stosowano takie specyfiki

jak chleb zagnieciony z pajęczyną (metoda ta opisana została przez Henryka Sienkiewicza w „Ogniem i mieczem”) czy okłady z ciepłej ziemi. Spełniały one swoją leczniczą rolę dzięki obecności mikroorganizmów produkujących substancje bakteriobójcze, jednak daleko było im do specyficznych i skutecznych leków, które są dostępne dzisiaj.

Rewolucja w walce z bakteriami chorobotwórczymi nastąpiła dopiero pod koniec XIX w. Właśnie wtedy naukowcy dokonali przełomowych odkryć w dziedzinie mikrobiologii. Przede wszystkim po raz pierwszy udowodniono, że to właśnie bakterie są czynnikiem wywołującym choroby takie jak gruźlica, trąd, syfilis czy wąglik. Wcześniej ludzie twierdzili, iż infekcje wywoływane są m.in. przez miazmaty, czyli opary unoszące się w powietrzu, pochodzące od rozkładających się szczątków roślin i zwierząt. Trujące powietrze miało krążyć niczym duch i atakować podatnych osobników prowadzących nieodpowiedni tryb życia. Nikt nie podejrzewał, że to właśnie mikroskopijne, niewidoczne dla gołego oka organizmy są przyczyną śmiertelnych infekcji. Znając przyczynę choroby, badacze mogli skoncentrować się na wyznalezieniu leku, który uderzałby w nią bezpośrednio. Za poszukiwania zabrali się więc chemicy.

Substancja 606

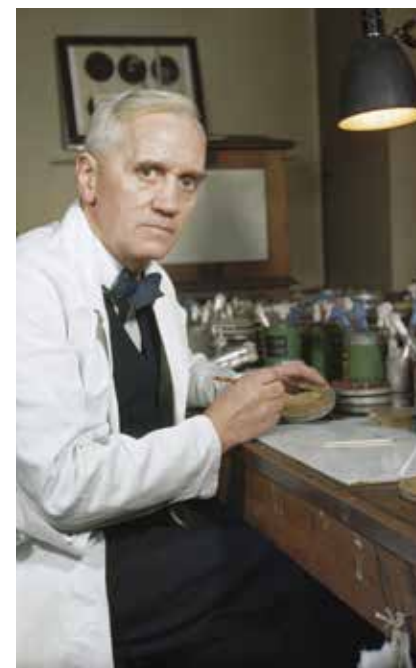
Jednym z pionierów terapii z użyciem związków chemicznych był Paul Ehrlich, niemiecki chemik i bakteriolog. Swoje poszukiwania substancji antybakteryjnych oparł na założeniu, że infekcja wywołana przez mikroorganizm może zostać zwalczona, jeśli zastosuje się lek, który specyficznie w niego uderzy. Hipoteza w dzisiaj-

szych czasach dosyć oczywista, jeszcze sto lat temu, gdy dominowało leczenie ogólnoustrojowe, była przełomowa. Aby ją potwierdzić, Ehrlich rozpoczął intensywne testy przesiewowe ponad sześciuset związków chemicznych, spośród których dopiero ten o numerze 606 okazał się być strzałem w dziesiątkę. Działał na krętka bladego, bakterię wywołującą kiłę. Na początku XX w. kiła była przewlekłą, ciężką i rozpowszechnioną chorobą, która nieleczone prowadziła często do groźnych powikłań, osłabień, utraty wzroku, psychozy, a nawet śmierci. Zidentyfikowanie związku pozwalającego na jej zwalczanie było ogromnym osiągnięciem. Związek o numerze 606 nazwano salwarsanem i wprowadzono na rynek w 1911 r., na wiele lat przed penicyliną. W ciągu pięciu lat zachorowalność na kiłę w krajach europejskich spadła o połowę.

Jednakże salwarsan, choć skuteczny, miał sporo wad. Po pierwsze, bardzo szybko tracił swoje właściwości w kontakcie z powietrzem, co utrudniało jego podawanie pacjentom. Trzeba było błyskawicznie przygotować roztwór wodny i wstrzyknąć go choremu. Dodatkowo salwarsan wykazywał groźne działania niepożądane, wywołując wysypki i uszkodzenia wątroby. No i najważniejsze: nie był to lek uniwersalny. Wprawdzie leczył kiłę, chorobę bardzo rozpowszechnioną w Europie na początku XX w., ale nie działał na inne bakterie chorobotwórcze. Walka z mikrobami trwała dalej i to one wciąż wygrywały.

Czerwony barwnik

Kolejny przełom pojawił się dopiero kilkanaście lat później w laboratorium niemieckiej firmy chemicznej IG Farben. W 1927 r. zatrudniła ona Gerharda Domagka, lekarza, którego wojenne doświadczenia z ranymi żołnierzami silnie zmotywowały do poszukiwania skutecznego leku na infekcje bakteryjne. Chemicy pracujący w IG Farben produkowali setki różnorodnych związków, które potencjalnie mogły okazać się skuteczne w walce z bakteriami. Gerhard Domagka zaczął więc testy na zwierzętach. Wyizolował od chorego na sepsę pacjenta bardzo zjadliwy szczep bakterii paciorkowca, którym zakażał myszy laboratoryjne. Bakteria była tak niebezpieczna, że zakażenie nią gwarantowało śmierć gryzoni. Następnie chorym myszom podawał poszczególne związki chemiczne i obserwował, które zwierzęta przeżyły. Dzięki temu testowi udało mu się zidentyfikować sulfanilamid, czerwony barwnik z grupy sulfo-



Alexander Fleming w swoim londyńskim laboratorium.

salnych i mniej toksycznych, powoli zaczęły tracić na popularności.

Dziś mało kto pamięta o osiągnięciach Ehrlicha i Domagka, a to dzięki ich pionierskiej pracy uratowano życie wielu chorym. Kluczowe było nie tylko wprowadzenie leczenia salwarsanem i prontosilem, ale i ogólna zmiana w dogmacie leczenia pacjentów. Przed 1935 r. pomysł, że można leczyć ogólnoustrojową infekcję bakteryjną przez systematyczne podawanie jednej substancji chemicznej, był niedorzeczny i nieakceptowalny przez lekarzy i naukowców. Ta rewolucja w myśleniu o terapii wytyczyła nowy kierunek badań – naukowcy rozpoczęli poszukiwania innych związków, które mogą działać na podobnych zasadach. Sam Fleming powiedział kiedyś: „Bez Domagka nie byłoby sulfonamidów, bez sulfonamidów nie byłoby penicyliny”.

Interesujący grzyb

Letni dzień w Londynie, 1928 rok. Alexander Fleming wraca do swojego laboratorium w szpitalu św. Marii po kilku tygodniach urlopu. Laboratorium jest w nieładzie. Wszędzie leżą porozrzucone szalki Petriego, na których badacz hodował różnorodne szczepy bakterii. Fleming przegląda szalki, część wyrzuca, część pozostawia na stole laboratoryjnym. Jego uwagę przykuwa jedna płytka, na której rosły szczepy chorobotwórczych paciorkowców. Rośnie na niej coś jeszcze. Na pierwszy rzut oka wygląda na pleśń. Wokół niej zaś kolonia bakterii zniknęła. „Interesujące” – mruczy pod nosem.

Fleming był mikrobiologiem z wieloletnim stażem. Już od jakiegoś czasu interesował się substancjami zwalczającymi bakterie. Nic więc dziwnego, że zobaczywszy płytkę, na której „coś” zabiło bakterie, nie wyrzucił jej do kosza, tylko zaczął się zastanawiać, co tam się stało. Przy wsparciu mykologów pracujących w tym samym szpitalu Fleming zidentyfikował szczep pleśni, która zakażyła jego płytkę. Był to grzyb z rodzaju *Penicillium*. Tak narodziła się nazwa penicyliny, czyli związku o działaniu antybakteryjnym, produkowanego przez tę pleśń. Fleming rozpoczął intensywne badania penicyliny i ustalił m.in., że może ona niszczyć paciorkowce, pneumokoki, meningokoki oraz bakterie wywołujące rzęączkę i dyfterię. Wykazał też, że substancja ta jest nietoksyczna dla zwierząt. Swoje obserwacje spisał i opublikował w formie rozprawy naukowej jeszcze w tym samym roku.

→ o obejrzeniu wystawy. Czy jest to dozwolone w przypadku istot innych niż ludzie?

O problemie tym pisaliśmy już w „Tygodniku” wielokrotnie. Jest on szczególnie bolesny przy badaniach małych człekokształtnych, które z jednej strony opisywane są przez zatwardziałych behawiorystów jako reagujące mechanicznie na bodźce, zbudowane z mięsa automaty, a z drugiej, przez zoologów-humanistów, jako troszkę bardziej owłosieni ludzie, którzy czują emocje i planują – co ma jeszcze jako takie poparcie empiryczne – ale też wierzą, teoretyzują i rozmyślają. Holenderski prymatolog Frans de Waal apeluje o „mądry antropomorfizm” – odrzucenie, z jednej strony, naiwnego zrównywania wszystkich istot żywych z ludźmi, ale, ze strony drugiej, też równie bezmyślnego odmawiania im jakiegokolwiek podobieństwa do nas samych, których zachowanie ma przecież znane podłoże anatomiczne, fizjologiczne, ewolucyjne. No dobrze, ale... pierwotniaki?

Język stosowany przez badaczy *animacula* obrazowo informuje o zachowaniu i pozwala na wyciąganie szybkich wniosków: jeżeli orzęsek zostanie „przestraszony”, to będzie „uciekał”. Język stosowany przez tych, którzy badają plasterki protistów, precyzyjnie informuje o anatomii i pozwala na poznawanie rzeczywistych powiązań ewolucyjnych. Obydwa języki, podobnie jak kryjące się za nimi metafory, mają swoje zalety i mogą prowadzić do wynaturzeń, jeśli nadmiernie się im zaufa. Czy możemy spodziewać się ich pojednania?

Jeśli dotychczasowa historia nauki miałyby być dla nas źródłem inspiracji, to kolejny przełom powinien przyjść za sprawą nowej techniki instrumentalnej, która „sprzedałaby nam” przy okazji jakąś zupełnie nową metaforę. A może dałoby się podejść do tego zagadnienia „od tyłu”: wynająć ekspertów od metafor, jakimi są, bądź co bądź, artyści, aby opracowali zupełnie nowy sposób myślenia o pierwotniakach, a dopiero to doprowadziłoby nas do konieczności wynalezienia nowej techniki obserwacyjnej? Cóż, tego jeszcze nikt nie próbował.

© ŁUKASZ ŁAMŻA

Autor jest doktorem filozofii, nauczycielem akademickim, tłumaczem i redaktorem „TP”.

→ Mogłoby się wydawać, że w tym momencie kończy się historia odkrycia penicyliny. Jednak to był dopiero początek długiej drogi, jaką lek musiał przejść, by trafić na apteczne półki. Antybiotyk ten stał się powszechnie dostępny dopiero w 1942 r. Co więc działo się z nim w międzyczasie? Dlaczego udostępnienie tak ważnego dla ludzkości leku zajęło aż 14 lat? Odpowiedź jest dosyć złożona. Fleming po opublikowaniu swojej przełomowej obserwacji stracił zapał do pracy nad penicyliną. Ponieważ był człowiekiem małomównym i raczej introwertycznym, trudno było mu przekonać środowisko naukowe do zasadności dalszych badań. A sam nie był w stanie zrobić wszystkiego. Przede wszystkim konieczne było wyizolowanie czystej penicyliny z ekstraktu pleśni i dalsza analiza tego związku chemicznego. Fleming zaś nie był chemikiem. Dodatkowo publikacja opisująca penicylinę, która ukazała się w niszowym czasopiśmie, nie wzbudziła powszechnego zainteresowania tematem, a sam autor nie miał daru do publicznych wystąpień i nie promował swojego odkrycia. Trzeba do tego jeszcze dodać konflikt z przełożonym, który nie wspierał Fleminga i nie wierzył w potencjał penicyliny. Nagromadzone przeciwności spowodowały, że Fleming zaniechał dalszej pracy nad antybakteryjnym działaniem tej substancji.

Ciasto pizzy pokryte pleśnią

W medycynie ludowej stosowano chleb zagnieciony z pajęczyną albo okłady z ciepłej ziemi. Spełniały one leczniczą rolę dzięki obecności mikroorganizmów produkujących substancje bakteriobójcze, jednak daleko było im do leków dostępnych dzisiaj.

Chain, szukając pomysłu na nowy projekt badawczy, przekopywał starą literaturę i natknął się na publikację Fleminga z 1928 r. Zainteresowany tematem zaczął pracować z pleśnią i wyizolował z niej czystą penicylinę, a następnie przetestował na myszach. Wyniki były spektakularne, w związku z czym w 1941 r. jego przełożony, doktor Florey, postanowił sprawdzić, czy lek jest równie skuteczny w przypadku ludzi. Potrzebny był pacjent, który pełniłby rolę królika doświadczalnego. Wybór padł na mężczyznę, który zadrapał się kolcem róży. Ten błahy incydent zakończył się groźną infekcją bakteryjną, która rozprzestrzeniła się w organizmie pacjenta. Jego stan był terminalny, więc dr Florey

stwierdził, że nawet jeśli penicylina nie pomoże, to i tak już na pewno nie zaszkodzi. Po podaniu leku stan pacjenta uległ znaczącej poprawie, gorączka spadła, wrócił apetyt. Pełni nadziei badacze podawali kolejne dawki, jednak w pewnym momencie lek się skończył. Naukowcy jednorazowo byli w stanie wyprodukować tylko małe jego ilości. W wyniku przerwanej terapii stan pacjenta znów się pogorszył i w końcu zmarł. Dr Florey wstrząśnięty takim zakończeniem pierwszej próby klinicznej penicyliny stwierdził, iż trzeba zrobić wszystko, co konieczne, aby lek ten był dostępny w odpowiednich ilościach dla wszystkich potrzebujących.

Dzięki jego wysiłkom ustalono strukturę chemiczną penicyliny i zaczęto syntetyzować ją chemicznie. Kluczowe okazało się również zainteresowanie dużych firm farmaceutycznych, które chciały dostarczyć lek żołnierzom sił alianckich, rozpoczęły produkcję na dużą skalę. Po zakończeniu wojny penicylina weszła na rynek i stała się powszechnie dostępna, a Fleming, Florey i Chain za wspólną pracę nad tym przełomowym związkiem zostali uhonorowani w 1945 r. Nagrodą Nobla.

Przykład penicyliny świetnie obrazuje, jak w rzeczywistości wyglądają epokowe odkrycia. Rzadko kiedy są rezultatem nagłego ośnienia, zwieńczonego okrzykiem „Eureka!”. Zazwyczaj, aby dokonać przełomu w nauce, potrzeba pracy wielu ludzi, czasu, szczęścia, kooperacji i kontaktów. Opisanii tu badacze to głównie, choć nie jedyni bohaterowie historii odkryć substancji antybakteryjnych. Gdyby nie ich praca, naukowy entuzjazm i wiara w swoje pomysły, nasze życie wyglądałoby dziś zupełnie inaczej. ©

MAGDALENA RICHTER

Autorka obroniła doktorat z biologii molekularnej, obecnie pracuje na Uniwersytecie Cambridge. Należy do Stowarzyszenia Rzeczniczy Nauki i jest współzałożycielką Fundacji Polonium, która zajmuje się tworzeniem sieci kontaktów między polskimi naukowcami pracującymi za granicą.

DAINA KRUMINS / PIXABAY

O czym nie śnił Darwin

SZYMON DROBNIAK

Życie to prowadzący od narodzin do śmierci proces rozwojowy. Nauka o ewolucji tego procesu jest nie tylko fascynująca sama w sobie, ale stawia w nowym świetle podstawy biologii.

Mysłąc o organizmach żywych, dostrzegamy z reguły tylko ich dorosłe, rozwinięte formy. Widzimy np. wróbla – myślimy o jego ewolucyjnych dylematach w ocieplającym się klimacie, o pochodzeniu koloru jego piór i ich roli w odnajdywaniu tej jedynej partnerki, albo o jego dziobie – i tym, jak niewiele dzieli go od słynnych zięb Darwina z wysp Galápagos. Ciągłe jednak jest to modelowy, dorosły wróbel – ładny, nieduży ptak spokrewniony z ziębą. Kiedy indziej patrzymy na kangura – ewolucyjny majstersztyk, bez problemu wyobrażamy sobie jego doskonale zaadaptowaną do konkretnych wyzwań formę. Znowu koncentrujemy się jednak na dorosłym kangurze. W pierwszym odruchu, myśląc o zwierzętach, zawsze widzimy ich dorosłą formę, zapominając o krętej drodze prowadzącej od embriona czy ptasiego jaja do dojrzałego osobnika.

Czwarty wymiar biologii

To zupełnie tak, jak gdybyśmy, przechadzając się po Nowym Jorku, widzieli tylko statyczne drapacze chmur. Wystarczy jednak, że zabierzemy na spacer architekta albo inżyniera budownictwa – i nagle Nowy Jork ożywa, bo każdy budynek to nie tylko jego tu i teraz, ale cała historia jego budowy, bogactwo materiałów, meandry architektonicznego rzemiosła. Jak to się dzieje, że dokładnie te same cegły, dokładnie ten sam beton i stalowe kratownice są w stanie wyprodukować takie bogactwo form? I co – pomimo tej różnorodności – w tym bogactwie utrzymuje pewną konsekwencję, logikę i porządek?

Biologia od zawsze poszukiwała wizjonerów, którzy poza biologicznym „tu i teraz” zobaczyliby złożoną historię każdej żywej formy. Dzięki takiemu spojrzeniu „płaska” różnorodność biologiczna dostaje dodatkowego wymiaru – każdy organizm staje się kompletną trajektorią swojego rozwoju ze wszystkimi procesami,

które – wykorzystując te same podstawowe cegiełki życia – produkują bogactwo form, kształtów i kolorów. Paradoksalnie, o procesach prowadzących do finalnych, „dorosłych” form organizmów wiemy znacznie mniej niż o fizjologii i zachowaniu ich końcowych produktów. Biologia rozwoju dopiero niedawno zaczęła doganiać swoimi osiągnięciami inne dziedziny nauki o życiu. I choć wciąż wiele musimy się nauczyć, mariaż biologii rozwojowej (*development*) i ewolucyjnej (*evolution*) – czyli tzw. *evo-devo* – ma wszelkie szanse na dodanie nowego poziomu złożoności do naszej dotychczasowej wizji darwinowskiej teorii ewolucji.

Biologia rozwoju pozostawała od początku w centrum teorii ewolucji i jej historycznych konkurentek, pierwotnie nie jako nowoczesna *evo-devo*, ale bardziej jako swojska embriologia. Jej wpływ na współczesną biologię jest gigantyczny – dość wspomnieć, że to właśnie XVIII- i XIX-wieczni biolodzy rozwoju odpowiedzialni są za wynalezienie takich określeń jak soma, ontogeneza, filogeneza, ekologia czy komórki macierzyste. Określenie embriologia sugeruje dość hermetyczną naukę, o tym, jak rośnie i rozwija się embrion, ale nic bardziej mylnego: współcześni Darwinowi embriolodzy byli wizjonerami, filozofami i myślicielami starającymi się w harmonii biologicznych form znaleźć odpowiedzi na jedne z najbardziej fundamentalnych pytań o życie.

Embriony i manipulacje

Początki nie były łatwe. Już w XVII w. naukowcy rozumieli, jak dochodzi do zapłodnienia, oraz że do inicjacji nowego życia potrzebne są komórki rozrodcze dostarczone przez rodziców. Zupełnie natomiast nie radzono sobie wtedy z mechanicznym wyjaśnieniem rozwoju embrionalnego – zwłaszcza że idea formowania się złożonego i pełnego organizmów życia z bezkształtnej, niezorganizowanej materii sprzeczna była z kartezjańską wizją po-

rządki rządzonego prostymi prawami mechaniki i dającego początek wszystkim harmonijnym i doskonałym bytom. Nic więc dziwnego, że pierwsi badacze spoglądający w XVII w. przez mikroskop na ludzkie plemniki (m.in. van Leeuwenhoek, Malpighi czy Swammerdam) znajdowali tam potwierdzenie swoich kartezjańskich ideałów, co dało początek tzw. teorii preformacji. Według niej cała informacja o budowie i rozwoju przyszłego człowieka pochodzić miała właśnie z plemnika, który do wnętrza komórki jajowej transportuje tzw. homunkulusa – miniaturę kompletnego organizmu ludzkiego, zamkniętą w główce plemnika. W tej wizji nie było więc tak naprawdę embriologii, ale przewidywalny wzrost i „rozprężanie się” gotowego, choć zmminiaturyzowanego bytu ludzkiego.

Jak daleką od prawdy wizją było takie spojrzenie na świat, przekonano się dość szybko. Obserwując poszczególne etapy embriogenezy (rozwoju zarodkowego) kręgowców, od ryb poprzez płazy, gady, ptaki, aż do ssaków i człowieka, naukowcy szybko zorientowali się, że to, co rośnie w jaju czy macicy, nie jest bynajmniej prostą miniaturką przyszłego, dojrzałego osobnika danego gatunku. Co więcej, zaobserwowano pewną prawidłowość, która na długo, bo na prawie ćwierćwiecze, zawładnęła wyobraźnią biologów. Reguła wydawała się prosta – nieważne, na jaki konkretnie gatunek zwierzęcia spoglądano w czasie jego rozwoju zarodkowego, najwcześniejsze etapy embriogenezy niezmiennie wydawały się bardzo podobne do siebie. Dopiero w dalszych etapach rozwoju zarodki poszczególnych gatunków „rozbiegały się” pod względem wykształcających się u nich cech i upodabniały coraz bardziej do postaci dorosłej danego gatunku. W latach 20. XIX w. francuski embriolog Étienne Serres, opierając się na pomysłach swoich oraz swojego poprzednika, Johanna Friedricha Meckela (datowanych na początek XIX w.), sformułował hipotezę rekaptulacji. Według niej podobieństwo wczesnych form embrionalnych kręgowców nie było przypadkowe. Wręcz przeciwnie – dokładnie →

→ odzwierciedlało ono faktycznie ewolucyjne relacje między gatunkami. Hipoteza rekapitulacji postulowała, że w trakcie swego rozwoju zarodkowego embriony bardziej złożonych kręgowców przechodzą przez stadia rozwojowe odpowiadające bardziej prymitywnym formom. Ludzki zarodek miał więc stopniowo przechodzić przez stadium cech rybich, następnie płazich, gadzich, ptasich i wreszcie ssaczy (nie wiadomo jeszcze wtedy, że ptaki i ssaki to dwie rozdzielne, równoległe linie rozwojowe).

Rekapitulacja na dobre utkwiała w umysłach biologów ewolucyjnych. Dostarczała eleganckiego połączenia między ewolucją biologiczną a wizją wielkiej „drabiny życia” (*scala naturae*), na której gatunki umieszczone były w hierarchii rosnącej złożoności. Prawdziwym popularyzatorem teorii rekapitulacji nie był jednak Meckel ani Serres, ale jedna z barwniejszych figur w historii biologii rozwojowej. Ernst Haeckel – bo o nim mowa – był człowiekiem orkiestrą, m.in. anatomem, zoologiem i podróżnikiem. Był też naukowcem-artystą, łączącym naukową ciekawość ze zmysłem artystycznym i estetycznym wysmakowaniem. Pasja i umiejętności Haeckla najlepiej objawiły się w jego *opus magnum* – monumentalnym dziele „*Kunstformen der Natur*” („Artystyczne formy przyrody”), będącym wyrazem jego fascynacji formą, uporządkowaniem, strukturą i złożonością życia. „*Kunstformen*” to książka najlepiej oddająca kontrowersyjne podejście Haeckla: choć tak pięknie przedstawione w niej formy żywe faktycznie istnieją, Haeckel wprowadził do nich wiele swoich własnych, upiększających poprawek, w jego mniemaniu eksponujących absolutną doskonałość naturalnych kształtów i struktur. Niestety – stworzył tym samym jeden z pierwszych tak jaskrawych przykładów naukowego fałszerstwa, wymyślając i wizualizując formy co prawda piękne, ale w przyrodzie nie zawsze spotykane. Ten sam proceder miał miejsce także w jego pracach na temat rekapitulacji. Swoje tezy ilustrował własnymi rysunkami embrionów różnych zwierząt, ujętymi w tomie „*Anthropogenie*”, które dziwnym trafem z wydania na wydanie ulegały coraz większej idealizacji i coraz lepiej wpasowywały się w modelowy obraz embriologicznej rekapitulacji: sekwencji przechodzących z jednej w drugą coraz bardziej złożonych form.

O tym, jak bardzo wyobraźnię biologów rozpałały sugestywne obrazy Haeckla, świadczy fakt, że hipoteza rekapitulacji została odesłana na dobre do lamusa dopie-



Ilustracje ukwiałów z dzieła Ernsta Haeckla „Kunstformen der Natur”, 1904 r.

ro po połowie XX w. przez Johna Goulda – jednego z twórców nowoczesnej syntezy darwinizmu i genetyki. Jej miejsce zajęła, równie wiekowa jak rekapitulacja, teoria epigenety. Zaproponowana przez Karla von Baera w 1828 r., postulowała, że rozwój embrionalny różnych gatunków przechodzi przez szereg etapów, które mogą być do siebie podobne (ze względu na ewolucyjne pokrewieństwo i podleganie tym samym procesom fizjologicznym i biochemicznym), nie są jednak swoimi wiernymi replikami (mózg człowieka rozwija się w określony, unikalny sposób i nie przechodzi przez etap bycia mózgiem ryby, płaza etc.). Choć pozbawiona charakterystycznej bezpośredniości rekapitulacji, epigenetyka również znalazła liczne zastosowania w biologii ewolucyjnej. Opierając się na podobieństwie strukturalnym młodocianych osobników lancetnika i osłonicy (workowatych, przypominających kora-

lowce organizmów), rosyjski zoolog polskiego pochodzenia Aleksander Kowalewski wykazał, że osłonice są – podobnie jak lancetnik czy kręgowce – strunowcami.

Zielonym do góry, głową do przodu

Jednak prawdziwym przełomem były osiągnięcia związane z odszyfrowaniem molekularnych tajemnic embriogenezy. Odkrycie w 1978 r. tzw. genów Hox (nagrozone w 1995 r. Nagrodą Nobla dla E. Lewisa, C. Nüsslein-Volhard i E. Wieschausa) oraz zrozumienie ich wpływu na rozwój powtarzających się elementów ciała organizmów żywych czy na kształtowanie się kierunku przód-tył ciała – otworzyło nowy rozdział w historii embriologii. Geny Hox same w sobie są typowymi regulatorami ekspresji innych

genów – „przełącznikami” decydującymi o tym, gdzie i kiedy uruchamiane są inne geny. Sterują one rozwojem zarodka, aktywując się w jego powtarzających się „strefach”, odzwierciedlających przyszły podział na segmenty. To właśnie dzięki aktywności tego typu regulatorów genetycznych jedne strefy ciała zarodka rozwijają się w głowę i ogon, a inne – w kończyny.

Przez długi czas zagadką było pochodzenie i ewolucja takiego uporządkowanego przestrzennie rozkładu procesów biochemicznych. Słynny matematyk Alan Turing, zainspirowany książką „*On Growth and Form*” angielskiego biologa i matematyka sir D’Arcy’ego Wentwortha Thompsona, zasugerował, że reakcje zachodzące z udziałem hamujących się wzajemnie lub pobudzających regulatorów mogą spontanicznie wytwarzać uporządkowane wzory i struktury w żywych tkankach. Klasyycznym, „nieożywionym” przykładem jest tzw. reakcja Bielousowa-Zabotyńskiego, która w jednorodnym roztworze produkuje koncentryczne, oscylujące i uporządkowane „fały” powstających naprzemiennie substancji. Ślady takich oscylujących, porządkujących materię procesów możemy zobaczyć np. w postaci wzorców na sierści zebry czy geparda lub koncentrycznych kręgów na skrzydłach motyli. Tego typu wzory są właśnie efektem działania biochemicznych oscylacji substancji regulujących ubarwienie skóry czy motyli skrzydeł.

Geny Hox oraz kolejne odkrywane po drodze geny odpowiedzialne za rozwój mają kilka ciekawych cech. Z jednej strony okazało się, że są one niezwykle konserwatywne: zaskakująco podobne geny Hox odnaleziono w genomie muszki owocowej, myszy, salamandry, żaba, kurczaka – a nawet roślin. Z drugiej strony geny te sterują cechami najbardziej fundamentalnymi dla wielkich skoków ewolucji biologicznej, powinny więc teoretycznie wykazywać się sporą elastycznością. W końcu to właśnie zmiany planu budowy ciała (modyfikacje liczby segmentów, wyrastanie lub zanik kończyn, zmiana kształtu kończyn czy dziobów) są wyznacznikiem najbardziej spektakularnych zmian w ewolucyjnej historii życia. W tym pozornym paradoksie biologów ewolucyjni dostrzegli ślady tego, co obecnie przez niektórych badaczy proponowane jest jako jeden z argumentów za rozszerzeniem klasycznej teorii ewolucji (nowoczesnej syntezy) i stworzeniem tzw. rozszerzonej syntezy ewolucyjnej. Co takiego rewolucyjnego może mieć w sobie biologia rozwoju?

Dzięki aktywności

genów Hox jedne strefy ciała zarodka rozwijają się w głowę i ogon, a inne w ręce czy nogi. Zmiany w tych genach mogą prowadzić np. do powstawania dodatkowych kończyn.

Nowa synteza ewolucyjna?

Podstawową cechą rozwoju osobniczego jest to, że dotyczy on fizycznych struktur i tkanek mających określone własności fizykochemiczne, określoną sprężystość, lepkość i objętość. Klasyczna teoria ewolucji skupia swoją uwagę na genach i to one podlegają jej działaniu. Ale przecież ten sam gen ulegając ekspresji w jednej małej, wrażliwej komórce może podlegać zupełnie innej presji selekcji, niż jeśli ulega on uaktywnieniu w tysiącach komórek budujących duży, złożony organ. *Evo-devo* proponuje więc, że to właśnie procesy rozwojowe i określone fizyczne ograniczenia stojące przed organizmami żywymi i ich ciałami mają, obok zmienności genetycznej, decydujący wpływ na kierunek ewolucji biologicznej. Może to mieć szczególne znaczenie w ewolucji cech całkowicie nowych, które mogą powstawać przez czysto fizykochemiczne modyfikacje procesów rozwojowych, dopiero tworząc nowe ścieżki ewolucji genetycznej. W takiej interpretacji struktura organizmu i stojące za nią ograniczenia fizyczne mogą „kierować” za ręką nową zmienność genetyczną, prowadząc w dalszej perspektywie do jej „przyjęcia” – tzw. asymilacji genetycznej i stworzenia nowych wariantów, podlegających już procesom opisywanym przez klasyczną genetykę ewolucyjną. Procesy takie, oparte głównie na materialnych właściwościach wchodzących w kontakt systemów biologicznych, a nie na istniejącej *a priori* losowej zmienności genetycznej, mogły mieć szczególne znaczenie na wczesnych etapach ewolucji, kiedy dopiero kształtowała się wielokomórkowość czy pierwsze tkanki.

Klasyycznym przykładem procesu, który mógł przez fizyczne interakcje prowadzić ewolucję biologiczną w stronę innowacji, mogła być np. ewolucja kończyn kręgowców. Tak jak każda inna część ciała zwierzęcia, zawiązki kończyn w swoich komórkach zawierały geny Hox, te same, których działanie determinowało segmentację ciała i „ustalało” kierunek osi głowa-ogon. W typowych warunkach nie były one jednak wykorzystywane lokalnie (np. w wypustkach – zawiązkach kończyn). Warunki środowiskowe mogły jednak promować tzw. kooptację genów Hox, wzmacniając ich lokalny efekt rozwojowy i prowadząc do powstania osobników mających pewną konkretną przewagę selekcyjną (np. właśnie lepiej zdefiniowane zawiązki kończyn). Taka przewaga mogłaby być wystarczająca, by ukierunkować dalsze procesy, finalnie prowadzące do trwałej integracji części systemu genetycznego Hox w procesie generowania zdefiniowanych kończyn, wykazujących pewną segmentację jako pochodną segmentacji wynikającej z działania „zagarniętych” przez kończynę genów Hox. Stuart Newman i Gerd Müller, biolodzy komórki i rozwoju osobniczego, argumentują wręcz, że takie oddziaływania plastycznych, podatnych na środowisko mechanizmów rozwojowych i ich epigenetyczne dziedziczenie (oparte np. na przekazywaniu potomnym komórkom określonych związków chemicznych czy ułatwianiu wzrostu komórek potomnych przez fizyczne ukształtowanie organizmu rodzicielskiego) mogły mieć kluczowe znaczenie we wczesnych ewolucyjnych innowacjach, prowadzących do powstania wielokomórkowych kolonii, a następnie tkanek i organizmów zbudowanych z organów.

Ewolucyjna biologia rozwoju, przez długi czas jedynie egzotyczny twór pośród innych, lepiej ugruntowanych dziedzin ewolucjonizmu, powoli i konsekwentnie zyskuje należne sobie miejsce w biologii ewolucyjnej. Tak naprawdę dopiero wpływamy na przybrzeżne wody oceanu ewolucjonizmu, powoli i konsekwentnie zyskuje należne sobie miejsce w biologii ewolucyjnej. Tak naprawdę dopiero wpływamy na przybrzeżne wody oceanu zwanego *evo-devo*. Na horyzoncie już czają się zdradliwe rafy *evo-eco-devo* (połączenia biologii rozwoju, ewolucjonizmu i ekologii) – a to dopiero początek! Wyzwanie, jakie przed sobą stawiamy, jest gigantyczne. Zsekwencjonowanie ludzkiego genomu to nic w porównaniu do zmapowania embriologicznego „rozkładu jazdy” dowolnego złożonego organizmu. Płyniemy! ©

SZYMON DROBNIAK

Autor jest doktorem biologii, pracownikiem Instytutu Nauk o Środowisku UJ i Uniwersytetu Nowej Południowej Walii w Sydney.