

Nr 1
2009



ROCZNIK MUZEUM EWOLUCJI

INSTYTUTU PALEOBIOLOGII PAN



Numer poświęcony
pamięci Karola Sabatha

ISSN 1689-8540
Warszawa 2009



MUZEUM EWOLUCJI

INSTYTUTU PALEOBIOLOGII PAN

Na wystawie stałej w Muzeum Ewolucji można podziwiać m.in. szkielety późnokredowych dinozaurów wykopane przez polskich paleontologów na pustyni Gobi, precyzyjnie wykonane rekonstrukcje płazów i gadów z triasowego cmentarzyska w Krasiejowie oraz efektowny model afrykańskiego australopiteka (Lucy).

adres:

Muzeum Ewolucji Instytutu Paleobiologii PAN
Pałac Kultury i Nauki
Plac Defilad 1
00-110 Warszawa
(wejście od ul. Świętokrzyskiej
przez Pałac Młodzieży)



godziny otwarcia:

wtorek–sobota: 8.00–16.00

niedziela: 10.00–14.30

poniedziałek i dni świąteczne – nieczynne

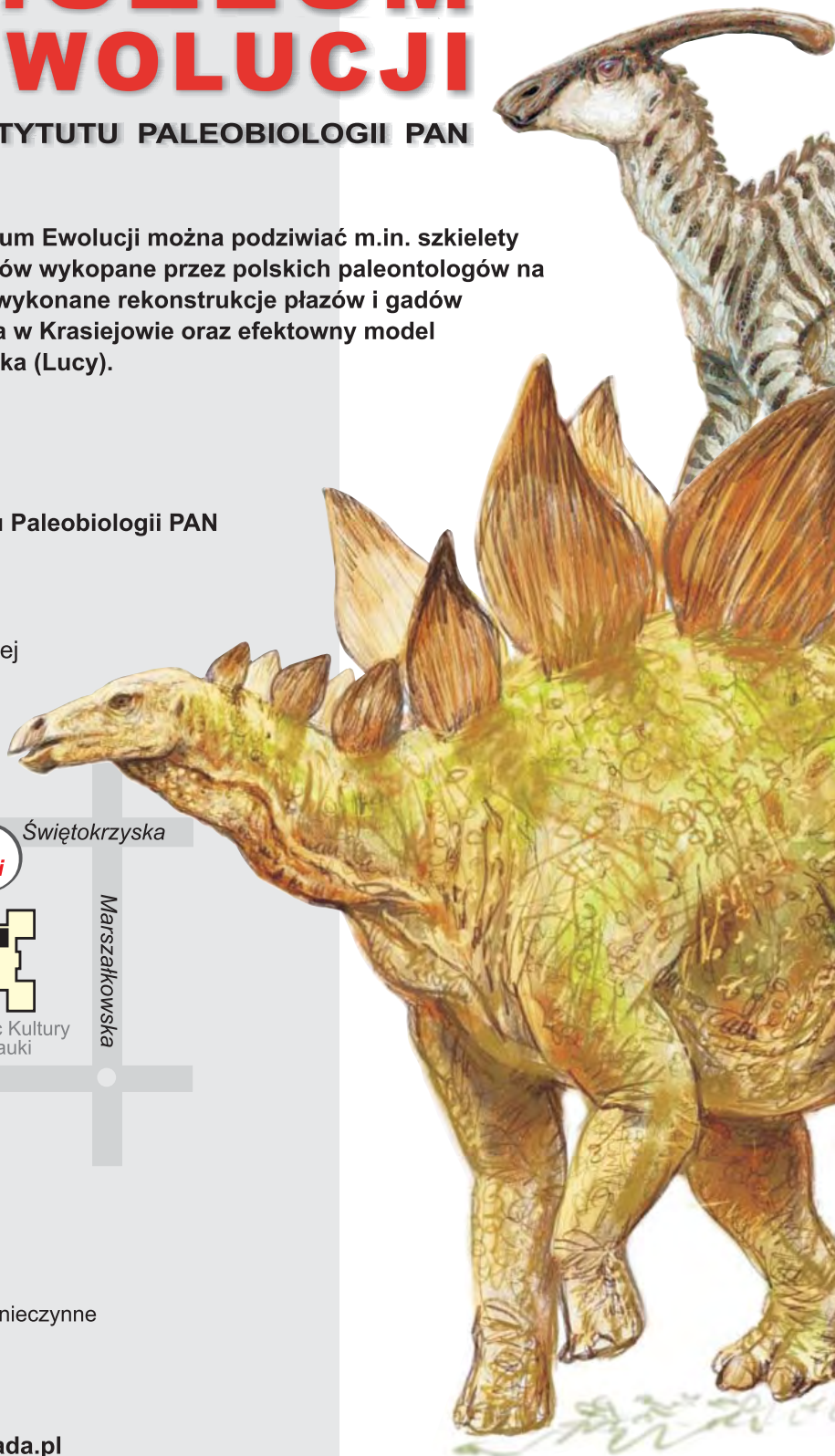
tel.: (22) 656 66 37

fax: (22) 620 62 25

muzeum.ewolucji@neostrada.pl

muzewol@paleo.pan.pl

www.muzewol.pan.pl



rysował Karol Sabbath

Pamięci Karola Sabatha,
wybitnego popularyzatora wiedzy, paleontologa i ewolucjonisty

Od redaktora



Niniejszy zeszyt inauguruje nową serię wydawniczą Muzeum Ewolucji Instytutu Paleobiologii PAN. Celem Rocznika będzie publikacja artykułów popularnonaukowych o tematyce paleontologicznej, ze szczególnym uwzględnieniem zapisu kopalnego ewolucji biologicznej na tle przemian środowiska.

To wspólne – Autorów i redakcji – dzieło poświęciliśmy pamięci naszego przedwcześnie zmarłego kolegi i przyjaciela, Karola Sabatha (1963–2007). Karol był paleontologiem – studiował m.in. mikrostruktury jaj dinozaurów oraz anatomię drapieżnych dinozaurów z okresu kredowego. Jednak przede wszystkim był popularyzatorem nauki. Brał udział w przygotowaniu wielu wystaw, uwielbiał opowiadać o tajemnicach ewolucji, „na żywo” i w radiowym studio. Był stałym współpracownikiem – tłumaczem, autorem lub konsultantem – renomowanych czasopism popularnonaukowych. Przetłumaczył wiele książek o tematyce przyrodniczej lub weryfikował tłumaczenia innych autorów. Był także cenionym „paleoartystą”, spod którego ręki wyszły setki barwnych ilustracji i szkiców wymarłych zwierząt.

Wielki dorobek i różnorodność zainteresowań Karola Sabatha dokumentuje zamieszczona na końcu bieżącego wydania Rocznika seria posterów, które tworzyły czasową wystawę w Muzeum Ewolucji Instytutu Paleobiologii PAN (wystawa została otwarta w październiku 2008 roku, w pierwszą rocznicę śmierci Karola).

Dziękujemy Ci Karolu za Twoją pracę!

*Marcin Machalski
redaktor Rocznika*

*Instytut Paleobiologii PAN
ul. Twarda 51/55
00-818 Warszawa
mach@twarda.pan.pl*

Coraz mniej brakujących ogniów

Marcin RYSZKIEWICZ

Dla Karola

Radykalne zmiany planów budowy organizmów zdarzały się w ewolucji rzadko, a formy przejściowe między nimi („brakujące ogniwa”) są szczególnie cennymi znaleziskami paleontologicznymi. W ostatnich latach znaleziono wiele takich kopalnych form przejściowych (między lądowymi czworonogami a waleniami, jaszczurkami a węzami, dinozaurami z grupy teropodów a ptakami, i. in.), ale dopiero w 2008 roku opisano po raz pierwszy brakujące ogniwa między dwubocznie symetrycznymi rybami kostnymi a płastugami – rybami o przedziwnie zdeformowanej czaszce i wyjątkowej wśród Bilateria asymetrii ciała. Kończy to trwający od 150 lat spór o możliwość stopniowej transformacji przodków płastug, w który zaangażowało się wielu najwybitniejszych ewolucjonistów.

Tym, co łączy ewolucjonistów z kreacjonistami jest zamiłowanie do „brakujących ogniów”, czyli gatunków wypełniających luki między różnymi i trudnymi do połączenia planami budowy. Różnica jest tylko taka, że ewolucjonisci lubią, gdy te luki się wypełniają, kreacjonisci – wręcz przeciwnie. A zapis kopalny jest dziurawy, gdzieś tam nawet bardzo, więc i kreacjonistom argumentów nigdy nie brakowało. Gdzie są wieloryby z nogami – pytali przez dziesięciolecia, zanim je w końcu znaleziono, i to w dużych ilościach. Gdzie węże o szczątkowych, ale funkcjonalnych kończynach – i to pytanie jest już nieaktualne. Gdzie małpoludy, na poły zwierzęce, na poły ludzkie – pytano najgłośniej i najwcześniej, najwcześniej je też zdezaktualizowano; dziś mało która linia ewolucyjna ma tak kompletny rodowód, w mało której tak wiele luk zostało wypełnionych brakującymi ogniwami. Inaczej, paradoksalnie, jest z małpami – rodowody szympanśów, goryli czy orangutanów są niemal zawieszane w próżni i prawie żadne znane ogniwa pośrednie nie łączą ich z domniemanymi

przodkami (choć w 2005 roku znaleziono w Kenii liczące sobie 550 tysięcy lat szczątki pierwszego kopalnego szympansa, ale trudno je uznać za brakujące ogniwo – anatomicznie to forma prawie nieodróżnialna od *Pan troglodytes*, chronologicznie to też istota niedługo współczesna).

Blaski i cienie brakujących ogniów

Urok brakujących ogniów jest zrozumiały, trudności z ich znalezieniem również. Argument jest taki: jeśli między odmiennymi planami budowy brak jest – lub jest niewiele – żyjących form pośrednich, to pewnie dlatego, że nigdy nie były one funkcjonalnie konkurencyjne, więc owo przejście nastąpiło szybko i nie pozostawiło po sobie wielu śladów. Formy wyjściowe i formy „docelowe” zajmowały i zajmują wyraźnie wydzielone miejsca w morfoprzestrzeni wszystkich możliwych typów budowy (gdzie większość obszarów, ze względów funkcjonalnych, pozostaje nieobsadzona), a formy przejściowe, choć moż-

liwe, były krótkotrwałe i licznie ograniczone, np. dlatego, że owe formy docelowe okazały się znacznie lepszym i skuteczniejszym w walce o byt rozwiązaniem. Lub z innych powodów.

Konnych karoc i samochodów spalinowych zawsze było dużo, ale formy pośrednie – karoco z silnikami – nigdy nie odniosły sukcesów na rynku, choć przez krótki czas były produkowane. Prawdziwych brakujących ogniw nigdy nie było dużo – stąd posługiwanie się nimi w walce z ewolucją nie ma większego sensu. Ich znalezienie jest zwykle tylko kwestią czasu i szczęścia.

Zresztą dziś, w dobie genetyki porównawczej, o pokrewieństwie między różnymi typami budowy wystarczająco dużo mówi wspólnota genów i znalezienie nawet najpiękniejszych brakujących ogniw nie jest już potrzebne. Jeśli człowiek dzieli z szympansem 98% genów to świadczy to o niezwykle bliskim ich pokrewieństwie i żaden kolejny odkryty „małpolud” tego nie zmieni. Podobnie filiacja nietoperzy z latawcami, czy wielorybów z hipopotamami wynika z nadzwyczajnego podobieństwa ich genów i żadne znalezisko „połowicznych” nietoperzy czy waleni nie jest już potrzebne. Ale jest pożądane – jasne jest bowiem, że chcielibyśmy wiedzieć jak takie nieprawdopodobnie wyglądające przejścia mogły wyglądać, zwłaszcza że niektóre z nich trudno sobie doprawdy wyobrazić.

Kto mi zabrał nogi?

Utrata nóg przez węże wydaje się łatwa i zrozumiała – anatomicznie i ekologicznie – zwłaszcza że mnóstwo jest współcześnie żyjących form o kończynach silnie zredukowanych. Podobnie przejście od dinozaurów do ptaków, choć wymagało bardzo wielu ogniw pośrednich, oznaczało na każdym etapie jedynie wzmocnienia wcześniejszych tendencji (np. szybkości biegu i siły mięśni kończyn

przednich w modelu kursorialnym, lub zdolności wspinania się na drzewa i zwiększenia zdolności nośnych protoskrzydeł w modelu arborealnym), a obecność wolnych rąk u dwunożnych teropodów i początkowych piór służących termoregulacji (i/lub popisom godowym) stwarzały – obok wielu innych preadaptacji – dobry materiał do dalszych przekształceń. Również przejście od fruwających ptaków do delfinopodobnych pingwinów nie wymaga wielkiej wyobraźni; choć pingwiny utraciły lot na rzecz nurkowania, to przecież zachowały ten sam aparat lokomocji – skrzydła – który wciąż podobnie funkcjonuje, choć w zupełnie innym już środowisku.

Zwykle jednak kierunkowy model zawodzi. Na przykład przejście od lądowych czworonogów do głębokowodnych delfinów jest tak radykalne i tak ostateczne, że wypełnienie go ciągiem hipotetycznych form pośrednich wymaga od ewolucjonistów bogatej wyobraźni (choć i tu żyjące płetwonogi stanowią niezły model dla jej wspomżenia).

Od niedźwiedzia do wieloryba

Tej wyobraźni zabrakło nawet Darwinowi, który – by wyjaśnić to zdumiewające przejście – zaproponował prosty model „od niedźwiedzia do wieloryba”, dziś przywoływany jako przykład naiwności myślenia ewolucyjnego. Nieraz obserwowano, pisał Darwin (2007), amerykańskie czarne niedźwiedzie (baribale), pływające godzinami z szeroko otwartymi paszczami, i chwytające unoszące się na wodzie owady. Gdyby taki proces zachodził przez długi czas, obfitość owadów w wodzie była dostateczna i nie było nigdzie sprawniejszych rywali, to – jak napisał: „(...) nie widzę problemu, by powstała, za sprawą doboru naturalnego, rasa niedźwiedzi coraz bardziej przystosowanych do wodnego trybu życia, o coraz większych paszczach, która dałaby w końcu początek tak monstrualnym stworzeniom jak wieloryby”.

Naiwność tego scenariusza polega na przekonaniu o liniowości i gradualizmie filogenezy, podczas gdy radykalne zmiany przystosowawcze nie zachodzą zwykle drogą kumulatywnego wzmocnienia pojedynczych cech (tu: adaptacji do środowiska wodnego) i stopniowego przenoszenia się do nowej niszy, ale dzięki preadaptacjom (albo egzaptacjom) – nowym i niejako przyszłościowym cechom, dostępnym jeszcze na etapie zasiedlania pierwotnych środowisk. Inwazja do nowej niszy

może wówczas zachodzić u osobników już wcześniej przygotowanych (preadaptowanych) do takiej trudnej i radykalnej zmiany środowiska. Tak właśnie opanowały swą dwunożność wczesne hominidy (jeszcze na etapie życia nadrzewnego, może nawet brachiacyjnego, a nie stopniowo w trakcie „schodzenia na sawannę”), i tak samo też opanowały umiejętność chodzenia po ziemi wczesne tetrapody (czworonogi), których wszystkie prymitywne formy – jak się okazuje – nie opuszczały jeszcze środowiska wodnego, a ich przekształcające się z płetw kończyny służyły zrazu do chodzenia po dnie, a nie do wychodzenia na ląd. Zarówno ichtiostega jak i akantostega, czy tym bardziej odkryty najpóźniej tiktaalik, zreinterpretowane zostały jako formy zasadniczo wodne – choć już z nogami.

Ewolucja nie przewiduje

Niezależnie od tego, jak bardzo kręte były drogi ewolucyjne gatunków opanowujących całkiem nowe nisze ekologiczne, jedna zasada, wynikająca wprost z darwinowskiej teorii ewolucji, musiała obowiązywać zawsze – każde z kolejnych ogniw takiego ciągu przekształceń musiało być przystosowane do swego aktualnego, a nie przyszłego, środowiska i każde musiało być faworyzowane przez dobór. W swej wędrówce na szczyt „Góry Nieprawdopodobieństwa” – by użyć trafnej metafory Dawkinsa (2008) – nigdy nie można zejść w dół do doliny, by obejść ją od innej strony, nawet gdyby miało to przynieść bardzo wymierne korzyści przystosowawcze. Ewolucja nie przewiduje przyszłości – i dlatego radykalne przekształcenia ekologiczne i anatomiczne nigdy nie były łatwe ani częste.

Czasem jednak pozornie proste przekształcenia wymagają rozwiązań, które trudno sobie wyobrazić. Tu najbardziej skrajnym przykładem są płastugi (płastugokształtne, czyli Pleuronectiformes), przedziwnie skręcone ryby, które porzuciły nektoniczny tryb życia prze-

Halibut (*Hippoglossus stenolepis*), widoczna asymetria głowy i niepełna migracja oka na drugą stronę czaszki. (fot. M. Godbout, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fletan-du-groenland-tete.jpg>, dostęp 15.02.2009; zdjęcie na licencji GFDL, zawartość licencji w podanym linku).



Żabnicokształtna ryba *Sladenia shaeferi*, przypominająca płaszczkę, o pełnej symetrii ciała i czaszki (fot. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sladenia_shaeferi_600.jpg, pierwotne źródło: http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/04etta/logs/aug27/media/bubba_mouth.html, dostęp 15.02.2009, zdjęcie na licencji wolnej jako public domain).

chodząc do niemal osiadłego życia na dnie i radykalnie zmieniając anatomię – z typowej dla form aktywnych dwubocznej symetrii do skrajnie asymetrycznego (zwłaszcza w odniesieniu do oczu i szczęk) planu budowy dzisiejszych fląder, soli czy halibutów. To właśnie ta radykalna zmiana planu budowy, a nie przejście z nektonicznego do przydenne trybu życia, stanowi dla ewolucjonistów wyzwanie – ryb osiadających na dnie nigdy nie brakowało, ale wszystkie osiadały na brzuchu, a nie na boku. Tak było w przypadku płaszczek, których transformacja z nektonicznych rekinów była prosta i przygotowana przez preadaptacje – pozbawione pęcherzy pławnych rekiny mają nisko położony środek ciężkości, a więc i brzuszenie spłaszczone ciała, stąd dalsze ich spłasz-

czanie mogło zachodzić drogą kierunkowego i kumulatywnego wzmacniania tej cechy. Podobnie też było u niektórych żabnicowatych, które zresztą osiadając na dnie przyjęły niemal idealnie płaszczkowate kształty, co jest pięknym przykładem ewolucyjnej konwergencji (żabnice należą do ryb kostnych, płaszczy – do chrzęstnych). Ale płastugi, kładąc się na boku, nie miały jak się zdaje żadnych preadaptacji, co wymagało od nich wielu zgoda karkołomnych modyfikacji anatomicznych.

Paradoksalne płastugi

Kładąc się na boku boczenie spłaszczone ryby (a tacy byli przodkowie płastug i takie są też ich wolnopływające larwy) zrywają rady-

kalnie z dwuboczną symetrią właściwą wszystkim aktywnym zwierzętom na Ziemi i wikłają się w pozornie nierozstrzygalny problem jednego oka, skierowanego odtąd w stronę osadu, a więc нефunkcjonalnego, a nawet szkodliwego. Jego powolne przejście na drugą stronę ciała nie dawało z początku żadnych oczywistych korzyści (a nawet wręcz przeciwnie), a musiało być faworyzowane przez dobór na każdym etapie tej transformacji. Jak wyjaśnić ten paradoks?

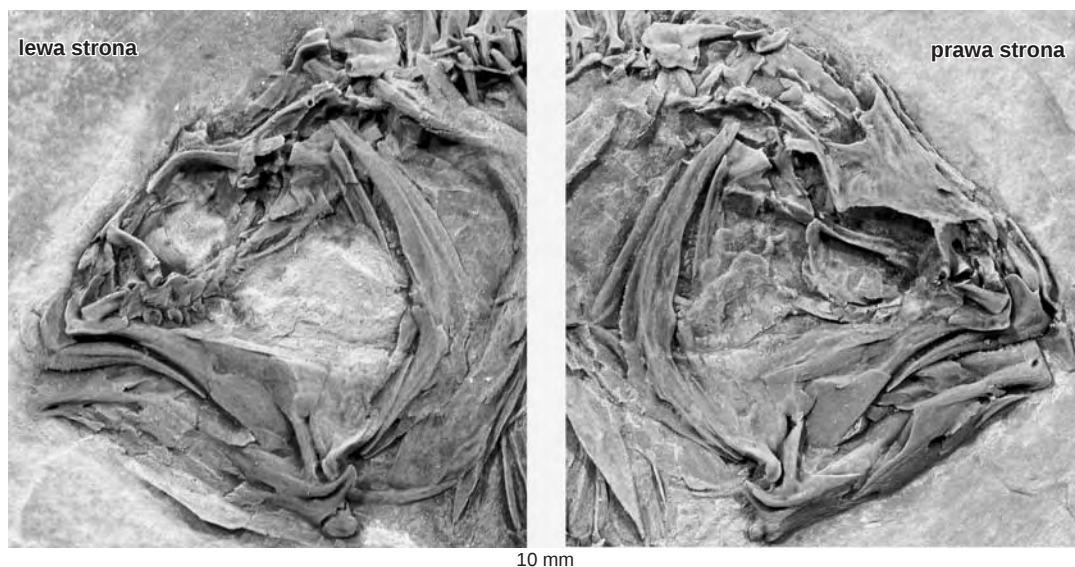
Zacznijmy od symetrii. Każde aktywnie poruszające się zwierzę funkcjonuje w przestrzeni narzucającej pewne generalne cechy planu budowy, niezależne od szczegółowych rozwiązań. Sprowadzić je można do trzech prostopadłych osi ciała, z których dwie narzucają ewidentną asymetrię – przód/tył (związaną z trybem życia) i góra/dół (wynikającą z siły grawitacji i kierunku padania promieni słonecznych), a jedna: lewo/prawo wprowadza dwuboczną symetrię, gdyż oba boki poruszającego się zwierzęcia wystawione są (statystycznie) na takie same bodźce i są funkcjonalnie i anatomicznie równoważne. Przy całym zróżnicowaniu świata zwierzęcego ta akurat zasada dwubocznej symetrii jest zachowana – i dotyczy to nie tylko kręgowców, ale wszystkich w ogóle zwierząt tkankowych „powyżej” gąbek i jamochłonów (nie przypadkiem ich nazwa Bilateria podkreśla tę wspólną cechę ich budowy). Ta filogenetycznie tak stara zasada rozwojowa znalazła odzwierciedlenie w sposobie funkcjonowania genów regulatorowych, które nie muszą już osobno kontrolować każdej ze stron rozwijającego się zwierzęcia, co oznacza oszczędność genetycznych instrukcji na najgłębszym poziomie ich działania. Wszystkie, nieliczne zresztą, odstępstwa od tej zasady dwubocznej symetrii wśród aktywnych Bilateria dotyczą pojedynczych i ontogenetycznie późnych cech anatomii i nie zakłócają ogólnej symetrii ciała. Takimi wyjątkami wśród bezkręgowców są np. wybitnie asymetryczne szczypce u samców krabów z rodzaju *Uca* (wynik działania doboru płcio-

wego), a wśród kręgowców osobliwie „zwichrowane” dzioby u nowozelandzkich skęto-dziobów, służące do odwracania kamieni w poszukiwaniu pożywienia. Wreszcie – odstępstwa od pełnej symetrii dwubocznej mogą być też narzucone przez asymetrię budowy modelu u zwierząt upodabniających się do otoczenia – jak w przypadku liściastych ciał australopławikoników (igliczniowate), żyjących w gęstwinie wodorostów. I na koniec – przypadkiem szczególnym są te zwierzęta wtórnie osiadłe, lub mało ruchliwe, u których – z konieczności – zamiast osi przód/tył pojawiły się promieniste osie ciała, co doprowadziło do innej – radialnej – symetrii, jak to jest u liliowców lub jeżowców regularnych (ale już nie u bardziej aktywnych strzykw). I u nich jednak zachowana jest bilateralna budowa aktywnie pływających larw, zachowana jest oszczędność genetycznych instrukcji rozwojowych (bo zmiana dotyczy tylko rodzaju symetrii, a nie samej zasady symetryczności) i wreszcie możliwe są szybkie rewersje do dwuboczności w razie powrotu do bardziej aktywnego trybu życia (jak u grzebiących w osadzie jeżowców nieregularnych z nadrzędu Spatangida).

Cudaczne ryby-Pikasso

Na tle tej generalnej zasady symetrii zwierząt i tych nielicznych wyjątków dobrze widać niezwykłość płastug, które nie tylko musiały ją odrzucić deformując swe ciała w iście kubistyczny sposób (stąd częsty w literaturze anglojęzycznej przydomek ryby-Pikasso), ale też „próbując” – mało skutecznie, jak dotąd – przywrócić utraconą symetrię redefiniując niejako swe nowe osie symetrii (dolną i górną, czyli kiedyś lewą i prawą), co wprowadziło zamieszanie do genetycznych instrukcji rozwojowych i przyniosło bardzo niedoskonałe, choć godne uwagi, rezultaty.

Na ten ogólnorozwojowy problem utraczonej i w niepełny sposób odtworzonej symetrii nałożył się bardziej jednostkowy problem



Czaszka najlepiej zachowanego okazu *Heteronectes* w materiale zbadanym przez M. Friedmana (za zgodą M. Friedmana).

dolnego, więc zrazu niefunkcjonalnego oka, którego stopniowa migracja na drugą (górną) stronę ciała wymagała czasu, co rodziło dwa nowe dylematy: w tym długim okresie niefunkcjonalne oko powinno ulec degeneracji (jak każdy zbędny już narząd – by odwołać się znów do oczu, ryb jaskiniowych tym razem), a jednocześnie każdy ze stanów pośrednich powinien być przystosowawczo korzystniejszy od poprzedniego, co samą możliwość migracji zdaje się przekreślać.

Ta powolna migracja oka na górną stronę ciała od początku stwarzała kłopoty darwinistom, a dyskusja na jej temat odegrała w dziejach ewolucjonizmu znaczącą rolę. Sam Darwin rozwiązywał ten paradoks odwołując się do dość mglistych rozważań na temat lamarckistowskiego dziedziczenia cech nabytych (leżące na boku ryby próbowały unosić się na płetwach, by odciągnąć dolne oko od osadu), a jego zdeklarowany przeciwnik, Mivart (1871) przytaczał go jako swój główny argument na poparcie tezy o niefunkcjonalności form zaczątkowych. I choć większość jego

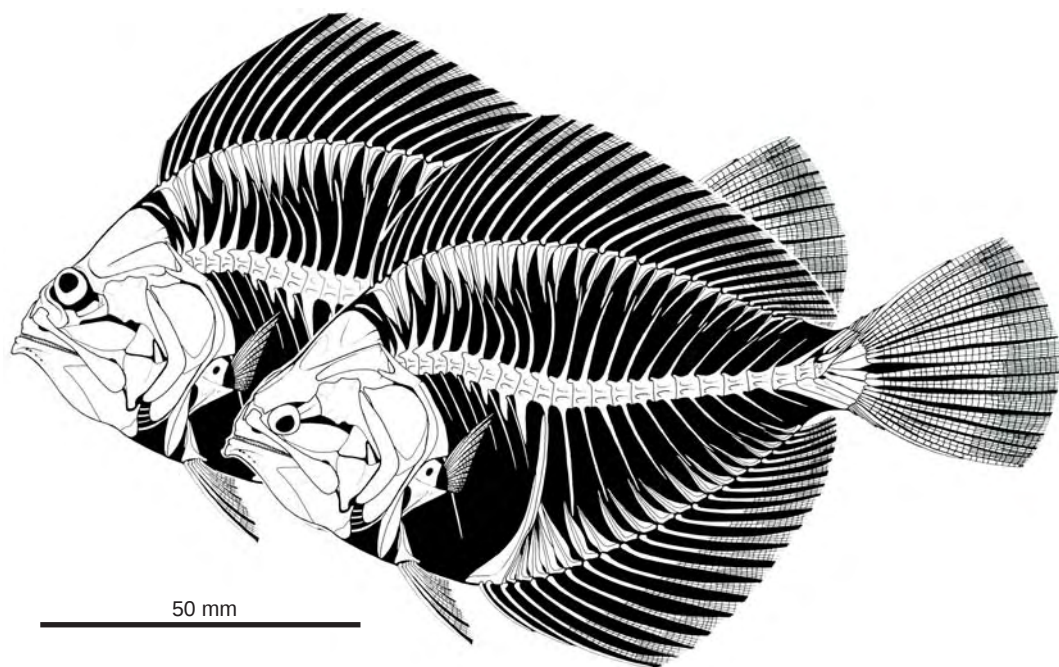
przykładów – o niefunkcjonalności „połowy oka”, czy „połowicznych skrzydeł” – dawno znalazła wyjaśnienie, to problem dolnego oka płastug pozostał aktualny właściwie do dziś.

Obiecujące potwory

Wreszcie dla Goldschmidta (1982) paradoks ten stanowił kluczowy argument na rzecz jego koncepcji „obiecujących potworów” – bo tylko taki pojedynczy skok na szczyt Góry Nieprawdopodobieństwa wydawał się w tym przypadku rozwiązaniem. I, oczywiście, był to jeden z ulubionych przykładów kreacjonistów – wszak materiał kopalny nigdzie takich stopniowych transformacji nie rejestruje.

A raczej – nie rejestrował, bo i ten ostatni szaniec kreacjonistów został właśnie zdobyty. I to nawet bez większej walki – narzędzia do tego zwycięstwa od dawna już były dostępne. Tylko nikt ich nie szukał.

Autorem odkrycia jest Matt Friedman z University of Chicago, którego artykuł (Friedman 2008) wywołał zrozumiałą sensację. Postano-



Rekonstrukcja lewej i prawej strony szkieletu *Amphistium* (za zgodą M. Friedmana).

wił on przebadать raz jeszcze zbiory ze słynnego eoceńskiego „skarbcza ze skamieniałościami” w Monte Bolca w północnych Włoszech, gdzie przez dziesięciolecia odkopywano wspaniale zachowane skamieniałości wielu grup organizmów, w tym, w szczególności, ryb. Wśród okazów z Monte Bolca (a także z Basenu Paryskiego), było też kilka form opisywanych kiedyś jako prymitywne płastugi, ale nigdy porządnie nie zbadanych i o niepewnej pozycji systematycznej.

Problem w tym, że żadna z tych skamieniałości nie była dotąd opisana z obu stron – były zbyt cenne, by je wydobywać ze skały, a w naturalnym położeniu widoczna była tylko jedna połowa ciała. A taka dwustronność okazu jest w przypadku płastug tym, co jest właśnie najważniejsze. Po gruntownym przebadaniu zbiorów Friedman uzyskał pozwolenie na rozpuszczenie w kwasie jednego okazu w Muzeum Historii Naturalnej w Wiedniu i wykonanie to-

mografii komputerowej dwóch okazów z Muzeum Historii Naturalnej w Londynie.

Efektem jego prac była dokładna rewizja dwóch znanych już wcześniej gatunków z rodzaju *Amphistium* (pierwszy okaz opisano 200 lat temu) i ustanowienie nowego gatunku i rodzaju prymitywnych płastug – *Heteronectes chaneti*. Zarówno *Amphistium* jak i *Heteronectes* okazały się długo wyczekiwanymi brakującymi ogniwami w ewolucji asymetrii u płastug.

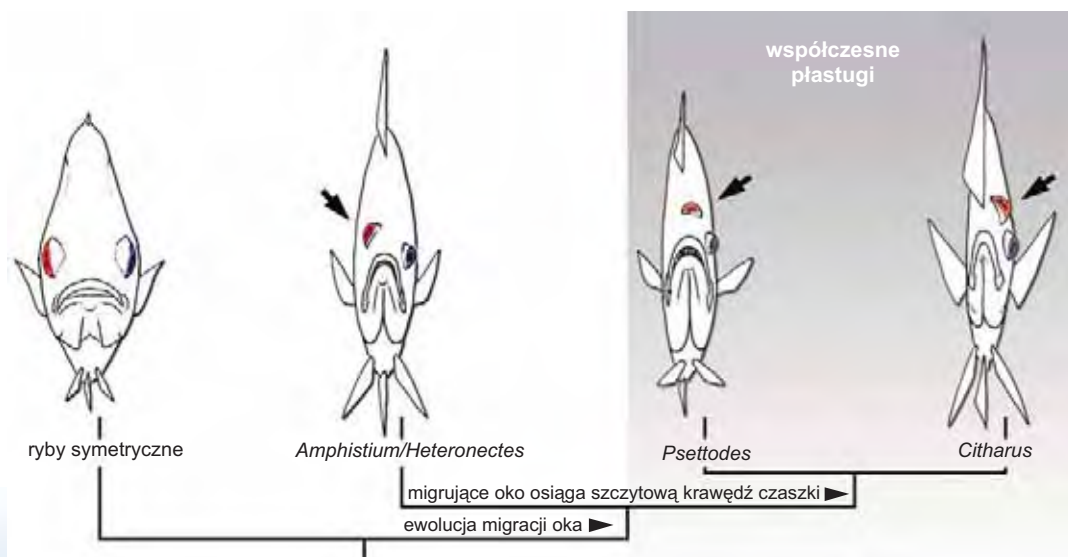
By dojść do tych wniosków Friedman (2008) musiał wziąć pod uwagę wiele możliwych zastrzeżeń i rozpatrzyć narzucające się alternatywne interpretacje. Pierwszym krokiem było stwierdzenie, że oba rodzaje należały rzeczywiście do Pleuronectiformes, choć prymitywnych – wszystkie zbadane okazy wykazywały cechy tej grupy ryb widoczne zarówno w szkielecie pozaczaszkowym jak i – co ważniejsze – w kościach

czaszki. Drugi krok polegał na wykazaniu, że wszystkie okazy, mimo znacznych różnic wielkości, należały do osobników dorosłych, skoro bowiem w ontogenezie płastug powtarzana jest (częściowo) filogeneza, więc ich formy młodociane są „przejściowe” z samej natury rozwoju osobniczego. I ten test wypadł pomyślnie – zarówno okazy najmniejsze jak i największe miały w pełni skostniałe szkielety czaszki, co sugerowało stosunkowo późne stadia ontogenezy. Również rozmiary zbadanych okazów *Amphistium* i *Heteronectes* wskazywały na formy dorosłe – były one o cały rząd wielkości większe od rozmiarów, w których u współczesnych płastug rozpoczyna się migracja jednego oka na drugą stronę (co zachodzi, gdy narybek osiąga długość 10 do 15 mm). Można również wykluczyć przypuszczenie, że w eocenie było inaczej, zważywszy że u anatomicznie i filogenetycznie prymitywnych żyjących płastug (z rodzaju *Psettodes* – jęzor) oko przechodzi przez szczyt ciała kiedy narybek nie osiąga jeszcze 15 milimetrów dłu-

gości. I wreszcie – stopień asymetrii czaszki *Amphistium* i *Heteronectes* okazał się we wszystkich okazach identyczny, mimo że ich wielkość waha się w szerokich granicach od 103 do 200 milimetrów, a więc wszystkie, również te najmniejsze, musiały należeć do form dorosłych.

Wędrujące oko

Czaszki eoceńskich płastug były więc już asymetryczne, ale – i to jest najciekawsze – nie była to asymetria taka jak dziś. Jedno oko u wszystkich okazów zaczęło już wędrować „na drugą stronę”, ale jej nie skończyło – zarówno u *Amphistium* jak i *Heteronectes* znajdowało się wciąż po swej „normalnej” (dolnej) stronie, choć już blisko szczytowej krawędzi czaszki. A takiego ułożenia oczu nie wykazuje żaden gatunek dzisiejszy, łącznie z *Psettodes*, u którego jedno z oczu znajduje się tuż za szczytem, ale jednak po drugiej – czyli górnej – stronie czaszki.



Uproszczona filogeneza płastug (za zgodą M. Friedmana), z zaznaczoną migracją oka. U najprymitywniejszych współczesnych płastug (*Psettodes*) oko zatrzymało się tuż za szczytową krawędzią czaszki. Widoczna jest przejściowa pozycja rodzajów *Amphistium* i *Heteronectes*.

Pozostaje ostatnia możliwość, że oba rodzaje eocenских płastug reprezentowały rewersje ewolucyjne, czyli formy, które wtórnie oderwały się od dna i zaczęły niejako ewolucję wsteczną, do wyjściowego stanu aktywnej nektoniczności. Mało to prawdopodobne, ale wykluczyć tego nie można, zwłaszcza że „normalne” płastugi w eocenie już istniały, a wtórnie pływających (czy raczej „fruujących” pod wodą) form nie brak u żyjących dziś płaszczek.

By sprawdzić tę hipotezę – i brawurowo ją wykluczyć – Friedman (2008) porównał „skrętność” (prawo- lub lewo-) swych okazów, która u ewolucyjnie zaawansowanych dzisiejszych form jest cechą gatunkową (jedne gatunki – jak turbot, leżą zawsze na prawym boku, inne – jak halibut i sola, na lewym). Inaczej jest u jęzorów, u których formy prawo- i lewoskrętne występują z niemal identyczną częstością, co wskazuje, że zrazu wybór boku dolnego lub górnego był zapewne sprawą behawioru i dopiero później został utrwalony w genotypie. U badanych przez Friedmana okazów kopalnych form prawo- i lewoskrętnych było w przybliżeniu tyle samo – najwyraźniej ich „skrętność” nie została jeszcze zapisana w genotypie.

Zakamuflowane płastugi

Pozostaje pytanie jaką korzyść odnosiły płastugi ze swych początkowych stadiów deformacji czaszki i migracji oka – Friedman sugeruje, że być może to dolne oko nie było tak bardzo bezużyteczne, jak się wydawało. Płastugi, nawet te najbardziej zakamuflowane, nie leżą nieruchomo na dnie, ale unoszą się czasem na

płetwach, a nawet wykonują skoki w toni wodnej i wtedy ich dolne oko może być użyteczne, gdyż ryba może jednocześnie spoglądać w górę i w dół – np. jednym okiem wypatrując potencjalnego drapieżnika, drugim – ofiary. Ciekawe, że tak właśnie tłumaczy się niezwykłą asymetrię oczu u niezwykłych ośmiornic z rodzaju *Histioteuthis* – to jeszcze jeden przykład asymetrii u Bilateria – które pływają pod kątem 45° i ich górne oko, jest dwukrotnie większe od dolnego i w dodatku teleskopowo wysuwane.

Wygląda na to, że kreacjoniści będą musieli poszukać innych brakujących ogniw – choć coraz ich mniej. Chyba żeby, co prawdopodobne, uznali że te nowe znaleziska tylko potwierdzają ich tezy – w końcu dotąd była tylko jedna luka w materiale kopalnym do wypełnienia, teraz są już dwie: te z wcześniejszych i te z późniejszych etapów migracji oczu. W pewnym sensie to prawda: im więcej brakujących ogniw znajdujemy, tym więcej (choć mniejszych) luk pozostaje do wypełnienia. I może to dobrze – w ten sposób nikomu nie zabraknie pracy ani argumentów.

Literatura cytowana

- Darwin, K. 2007. *O powstawaniu gatunków*. 460 s. Jirafa Roja, Warszawa (oryginalny tytuł *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, 1859, London).
- Dawkins, R. 2008. *Wspinaczka na szczyt nieprawdopodobieństwa*. 315 s. Prószyński i S-ka, Warszawa.
- Mivart, St.-G. J. 1871. *On the Genesis of Species*. 342 s. Macmillan, London.
- Friedman, M. 2008. The evolutionary origin of flatfish asymmetry. *Nature* 454: 209–212.
- Goldschmidt, R. 1982. *The Material Basis of Evolution*. 436 s. Yale University Press, New Haven.

Morskie gady z Maastricht, czyli o współpracy między amatorami, naukowcami i mediami

John W.M. JAGT i Elena A. JAGT-YAZYKOVA

*Tych kilka wierszy poświęcamy pamięci Karola,
człowieka z pogranicza nauki i mediów,
w pierwszą rocznicę Jego przedwczesnej śmierci.*

Muzeum Historii Naturalnej w Maastricht to lokalna placówka muzealna, nie więc dziwnego, że jego działalność jest skoncentrowana na geologii i paleontologii mastrychtu, najmłodszego piętra okresu kredowego (71–65 mln lat temu). Najsłynniejszymi mieszkańcami subtropikalnego morza, które pokrywało w późnej kredzie okolice Maastricht, były mozazaury – wielkie pływające jaszczurki, które zajmowały sam szczyt ówczesnej piramidy troficznej. Pierwsze skamieniałe szczątki tych krwiożerczych gadów, znalezione w Maastricht w drugiej połowie XVIII wieku, wywołały burzę w środowisku naukowym. Jednak mozazaury to nie tylko historia paleontologii – w 1998 roku media zelektryzowała wiadomość o znalezieniu w Maastricht nowego, jeszcze nieznanego nauce morskiego jaszczura. Odkrycia Bera (tak nazwano nowego mozazaura) dokonał amator-zbieracz skamieniałości, zaś cała jego historia to znakomity przykład współdziałania między amatorami, naukowcami z lokalnego muzeum przyrodniczego oraz mediami.

Pod koniec okresu kredowego na południu Holandii, tam gdzie dziś znajduje się prastare i piękne miasto Maastricht, szumiały fale ciepłego i płytkiego morza. Na jego dnie powstały gruboziarniste piaski wapienne, znane jako „tufitowa kreda”, które zawierają liczne skamieniałości dawnych organizmów (Faujas de Saint-Fond 1799). Od nazwy miasta Maastricht utwory te zalicza się do piętra mastryckiego, ostatniego piętra okresu kredowego (71–65 mln lat temu).

Mastrychckie morze było matczynikiem licznych gadów, które wykazywały doskonałe

przystosowania do wodnego trybu życia. Nazywamy je mozazaurami, czyli „jaszczurami znad Mozy”. Dzisiaj rzeka Moza stanowi charakterystyczny element krajobrazu prowincji Limburg. Jednak w geologicznej skali czasu Moza powstała całkiem niedawno, bo w plejstocenie. Mozazaury żyły ponad 65 milionów lat wcześniej i nigdy nie pływały w rzekach – były wyłącznie morskimi zwierzętami. Tym nie mniej nazwa „mozazaur” doskonale odzwierciedla związek pomiędzy tymi prehistorycznymi bestiami a regionem, gdzie po raz pierwszy zostały znalezione ich skamieniałe szczątki.

Pierwsze znane nauce skamieniałości mozazaurów to dwie czaszki, które odkryto w latach 1765–1774 w labiryncie podziemnych korytarzy pod górą St. Pietersberg na południe od Maastricht. Jedna z czaszek znajduje się dzisiaj w Muzeum Teylera w holenderskim Haarlemie, druga w paryskim Muzeum Historii Naturalnej (patrz niżej). Znalazcami obu okazów byli robotnicy, którzy w podziemnych sztolniach okolic Maastricht wycinali wielkie bloki skalne na potrzeby budowlane. Dla ówczesnych ludzi, w większości dobrych parafian, którzy powierzali tłumaczenie sensu świata księżom, te odkrycia musiały być kłopotliwe. Czy tak przerażające bestie mogły istnieć w stworzonym przez Boga świecie? I czy padły one ofiarą Wielkiego Potopu?

Konfiskata słynnej czaszki

Nic więc dziwnego, że wkrótce po zdobyciu Bastylii w roku 1789 francuski rząd rewolucyjny zainteresował się znaleziskami z Maastricht. Na mocy wydanego dekretu polecono armii skonfiskowanie drugiej czaszki, która znajdowała się wówczas w rękach mastrychckiego duchownego Goddinga (ten zaś wcześniej wydarł ją z rąk mieszkającego w Maastricht szwajcarskiego chirurga Jean-Leonarda Hoffmanna). Istnienie tej skamieniałości stanowiło dogodny pretekst, by zanegować Biblię i raz na zawsze obalić religijne dogmaty. Rozkaz został wykonany, czaszka zarekwirowana i jako cenne trofeum wojenne przewieziona wozem konnym do Paryża, gdzie się znalazła

Mozazaury

Mozazaury to wymarłe jaszczurki, przystosowane do życia w płytkich morzach późnej kredy. Ich wysmukłe, zwinne ciała osiągały od 3 do 15 metrów długości. Długi ogon zapewniał napęd, wosłowate płetwy zapewniały manewrowość, zaś mocarne szczęki z ostrymi zębami – polowanie na podmorską zwierzynę. Skamieniałe kości i zęby mozazaurów znaleziono na wszystkich kontynentach (także w Polsce, Machalski i in. 2003). Dotąd opisano około 15 rodzajów i 50 gatunków tych zwierząt, a wciąż przybywa nowych znalezisk, przede wszystkim dzięki nowym odkryciom w Ameryce Północnej. Mozazaury, które żyły u schyłku kredy, wykazywały szereg adaptacji w budowie czaszki, które umożliwiły im podbój nowych nisz ekologicznych. Grupa ta podlegała intensywnemu różnicowaniu ewolucyjnemu, które nagle przerwał kryzys ekologiczny wywołany upadkiem planetoidy (wydarzenie to zakończyło okres kredowy). Wśród współczesnych gadów nie ma nic podobnego do mozazaurów, natomiast w świecie ssaków analogię do mozazaurów stanowią orki.



Najsłynniejsza czaszka mozazaura z Maastricht, odlew w zbiorach Muzeum Historii Naturalnej w Maastricht (fot. J.W.M. Jagt).



Miejsce znalezienia Bera – kamieniołom ENCI, Maastricht, stan na wiosnę 2000 (fot. J.W.M. Jagt).

w 1795 roku (Bardet i Jagt 1996). Tego samego roku słynny anatom, Georges Cuvier, rozpoczął pracę w Muséum National d'Histoire Naturelle. Za sprawą jego błyskotliwego wywodu na temat jaszczura z Maastricht (Cuvier 1808) naukowcy zaczęli rozprawiać o wielkich morskich gadach z Maastricht, a także o wymieraniu gatunków.

Z początku słynną skamieniałość z Maastricht uznawano za czaszkę użębionego walenia albo krokodyla – dopiero później okazało się, że należała ona do wielkiego wymarłego morskiego jaszczura. Wkrótce zwierzę otrzymało formalną, łacińską nazwę *Mosasaurus* (Conybeare 1822). W 1829 roku Gideon Mantell – odkrywca słynnego iguanodona – ukuł dla jaszczura znad Mozy nazwę gatunkową

Mosasaurus hoffmanni, na cześć Jean-Leonarda Hoffmanna.

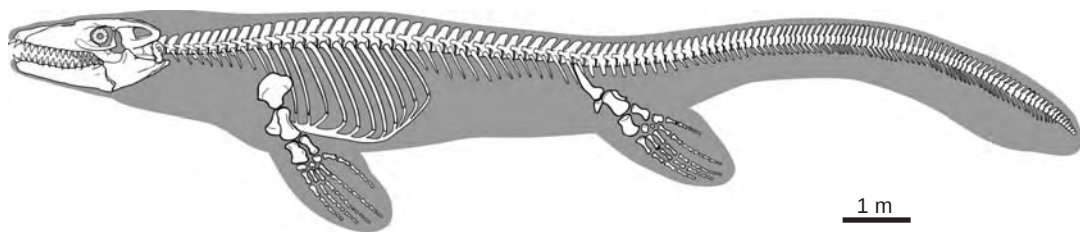
Dzisiaj wiemy, że *Mosasaurus hoffmanni* był najpospolitszym gatunkiem mozazaurów w okolicach Maastricht. W ciągu ostatniego dwudziestolecia znaleziono ponad tuzin czaszek i fragmentów szkieletów tych zwierząt, nie licząc pojedynczych zębów i kości. W morzu mastrychckim istniały także inne gatunki (Kuypers i in. 1998). Łącznie naliczono ich osiem, przy czym niektóre znamy tylko na podstawie pojedynczych kości lub zębów. Niektóre znaleziska są zapewne fragmentami dryfujących zwłok, które oddzieliły się od nich w procesie rozkładu. Inne stanowią pozostałości zwierząt, które sporadycznie odwiedzały płytkie morze okolic Maastricht, żerowały tu,

gubiąc przy tym zęby, a następnie powracały na właściwe obszary swego życia.

Trzy gatunki mozazaurów żyły i rozmnażały się w okolicach Maastricht (Schulp 2006). Są to: *Mosasaurus hoffmanni*, *Plioplatecarpus marshi* oraz *Carinodens belgicus*. Nie konkurowały one ze sobą pod względem pożywienia, zajmując odrębne nisze ekologiczne, przy czym *Mosasaurus hoffmanni* był usytuowany na szczycie piramidy troficznej. Gatunek *Plioplatecarpus marshi* umiał zapewne głębiej nurko-

najbardziej prymitywny z odkrytych dotąd mozazaurów, zwierzę o masywnej czaszce i szczękach. Siłą swych szczęk z pewnością nie ustępował największym drapieżnym dinozaurom, które żyły na kredowych łąkach.

Odkrycie Bera stanowiło wielką niespodziankę dla świata naukowego. Nikt bowiem nie przypuszczał, że obszar badany od dwóch stuleci może nadal kryć szczątki nieznanego dotąd nauce gatunku mozazaura, w dodatku tak dużych rozmiarów! Szybko zapadła decyz-



Rekonstrukcja szkieletu Bera dobrze ilustruje budowę mozazaurów (rekonstrukcja Rogier Trompert).

wać, a zatem korzystał z bardziej różnorodnego pokarmu. Z kolei *Carinodens belgicus* miał guzowate zęby, co stanowiło przystosowanie do rozgryzania pancerzy morskich zwierząt, takich jak kraby, homary i małże (Schulp 2005).

Nowy olbrzym

Niedawno w okolicach Maastricht znaleziono okaz nieznanego dotąd nauce ogromnego mozazaura (Dortangs i in. 2002). Długość jego ciała szacuje się na 14 metrów. Oficjalna naukowa nazwa gada to *Prognathodon saturator*, choć w Holandii jest on lepiej znany jako „Bèr” (zdrobnienie typowych limburgskich męskich imion „Lambert” lub „Hubert”). Olbrzym został odkryty na początku sierpnia 1998 roku w kamieniołomie ENCI koło Maastricht. Szczęśliwym znalazcą był paleontolog-amator Rudi Dortangs, znany na cały kraj tropiciel skamieniałości mieszkańców kredowego morza. Ber to

ja o wydobyciu znaleziska i przetransportowaniu go do Muzeum Historii Naturalnej w Maastricht. W przedsięwzięcie zaangażowali się pracownicy muzeum, studenci wydziału geologii na Wolnym Uniwersytecie w Amsterdamie i członkowie lokalnych towarzystw geologicznych. Odkrycie Bera wywołało ogromny szum w mediach, zarówno w Holandii jak i poza jej granicami (kanał Discovery planuje nawet produkcję filmu dokumentalnego o tym znalezisku).

W celu zdobycia funduszy na prace przy Berze zorganizowano „Laboratorium mozazaura”, w którym entuzjaści mogli poznać tajniki preparowania skamieniałości. Nowy mozazaur stał się również bohaterem szeregu okolicznościowych imprez, z których najświetniejszą był wystawny bankiet z udziałem księcia Wilhelma Aleksandra i księżnej Maksimy, przyszłej pary królewskiej Holandii. Z okazji odkrycia nowego mozazaura w lokalnym browarze powstała



Obok kości Bera znaleziono liczne zęby rekinów, które uczładowały na zwłokach gada. Większy rekin to *Squalicorax pristodontus*, a mniejszy to *Plicatoscyllium minutum* (rekonstrukcja Dan Varner).

Życie i śmierć w mastrychcie

Szczątki Bera nie zachowały się w komplecie – brakuje wielu kości jego szkieletu. Jest to zapewne wynikiem działalności padlinożernych rekinów, których zęby znaleziono obok kości mozazaura. Również życie mozazaurów obfitowało w brutalne wydarzenia. Oznaki agresji, zapewne ze strony współplemieńców, zostały udokumentowane na kościach Bera (Schulp i in. 2004). Przykry los spotkał także tzw. mozazaura z Bemelen – potężnego osobnika z gatunku *Mosasaurus hoffmanni*, którego odkryto w połowie XX w. Niektóre kości jego potężnej czaszki zostały wprost przeżarte przez infekcję, co musiało sprawiać ogromny ból zwierzęciu (Schulp i in. 2006).



Nowa marka piwa specjalnie warzona przez Gulpener Brouwerijen.

nawet nowa marka piwa „Bèr Saturator”, która od razu zdobyła wielką popularność. Sam odkrywca okazji otrzymał prestiżową nagrodę – medal Królowej Beatrix, przyznawany za wielkie odkrycia w nauce.

W okresie od 1999 do 2002 roku wykopaliska w kamieniołomie i sesje preparacyjne w laboratorium odwiedzało około 35.000 ludzi rocznie. Także dzisiaj Ber budzi wielkie zainteresowanie szerokich kręgów publiczności – od przedszkolaków po osoby leciwe, od więzionych strażników do neurochirurgów. Wszystkich łączy chęć zdobycia wiedzy o wielkim gadzie i jego życiu (lub „o jej życiu”, bo na podstawie skamieniałych kości nie da się żadną miarą określić płci mosazaura). Fundusze na prace związane z Berem pochodziły z różnych

źródeł – od samorządu miasta Maastricht, z Funduszu Księcia Bernarda, z cementowni ENCI (obecnie Heidelberg Cement Group), na terenie której odkryto mozazaura, oraz z firmy Convoy.

Ber i jego rodzinka

W tym roku będziemy obchodzić dziesiątą rocznicę odkrycia Bera. Z tej okazji w mastrychckim muzeum zostanie otwarta wystawa, na której będzie przedstawiony krewny Bera – nowy gatunek rodzaju *Prognathodon* znaleziony w Angoli (jego kości są obecnie preparowane i badane przez zespół naukowców ze Stanów Zjednoczonych, Portugalii, Holandii, Belgii oraz Angoli).

Choć od końca okresu kredowego upłynęło 65 mln lat, wielkie mozazaury ciągle atakują! Przykład Bera pokazuje, ile dobrego może sprawić współdziałanie pomiędzy lokalnymi zbieraczami-amatorami a placówkami muzealnymi. Wskazuje też na ogromną rolę mediów w zdobywaniu funduszy na badania naukowe i przedsięwzięcia muzealne.

Literatura cytowana

- Bardet, N. i Jagt, J.W.M. 1996. *Mosasaurus hoffmanni*, le “Grand Animal fossile des Carrières de Maastricht”: deux siècles d’histoire. *Bulletin du Muséum national d’Histoire naturelle de Paris* (4) 18 (C4): 569–593.
- Conybeare, W.D. 1822. Fossil crocodiles and other saurian animals, 284–304. W: J. Parkinson, *Outlines of oryctology. An introduction to the study of fossil organic remains; especially of those found in the British strata: intended to aid the student in his enquiries respecting the nature of fossils, and their connection with the formation of the earth.* vii + 344 s. The author, London.
- Cuvier, G. 1808. Sur le grand animal fossile des carrières de Maastricht (crâne de *Mosasaurus camperi*). *Annales du Muséum national d’Histoire naturelle (Paris)* 12: 145–176.
- Dortangs, R.W., Schulp, A.S., Mulder, E.W.A., Jagt, J.W.M., Peeters, H.H.G. i de Graaf, D.T. 2002. A large new mosasaur from the Upper Cretaceous of The Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences* 81: 1–8.

- Faujas de Saint-Fond, B. 1799 [–1803?]. *Histoire naturelle de la Montagne de Saint-Pierre de Maëstricht*, 263 s. H.J. Jansen, Paris.
- Kuypers, M.M.M., Jagt, J.W.M., Peeters, H.H.G., de Graaf, D.T., Dortangs, R.W., Deckers, M.J.M., Eysermans, D., Janssen, M.J. i Arpot, L. 1998. Laat-kretaceïsche mosasauriers uit Luik-Limburg. Nieuwe vondsten leiden tot nieuwe inzichten. *Publicaties van het Natuurhistorisch Genootschap in Limburg* 41: 5–47.
- Machalski, M., Dortangs, R., Jagt, J.W.M., Mulder, E.W.A. i Radwański, A. 2003. Campanian and Maastrichtian mosasaurid reptiles of Central Poland. *Acta Palaeontologica Polonica* 48: 397–408.
- Mantell, G.A. 1829. A tabular arrangement of the organic remains of the county of Sussex. *Transactions of the Geological Society of London* (2) 3: 201–216.
- Schulp, A.S. 2005. Feeding the mechanical mosasaur: what did *Carinodens* eat? *Netherlands Journal of Geosciences* 84: 345–357.
- Schulp, A.S. 2006. On Maastricht mosasaurs. *Publicaties van het Natuurhistorisch Genootschap in Limburg* 45: 1–140.
- Schulp, A.S., Walenkamp, G.H.I.M., Hofman, P.A.M., Rothschild, B.M. i Jagt, J.W.M. 2004. Rib fracture in *Prognathodon saturator* (Mosasauridae, Late Cretaceous). *Netherlands Journal of Geosciences* 83: 251–254.
- Schulp, A.S., Walenkamp, G.H.I.M., Hofman, P.A.M., Stuij, Y. i Rothschild, B.M. 2006. Chronic bone infection in the jaw of *Mosasaurus hoffmanni* (Squamata). *Oryctos* 6: 41–52.
- www.nhmmaastricht.nl



O powstawaniu artykułów popularnonaukowych drogą doboru naturalnego

Wojciech MIKOŁUSZKO

Dziennikarz naukowy to stosunkowo nowa adaptacja na rynku medialnym. Uprawniający tę strategię muszą lawirować między wymaganiami czytelnika, który woli lżejszą formę, oraz naukowca, który wymaga ścisłości i powagi. Zbyt mocny skręt w dowolną z tych stron może doprowadzić do poważnych kłopotów.

„Nie zaszkodziłoby skorygować trywialne błędy w datach, nazwiskach” – skomentował kiedyś mój artykuł Karol Sabbath. Pocieszam się, że zazwyczaj był dla mnie nieco bardziej wyrozumiały. Generalnie jednak w środowisku dziennikarskim słynął z wypunktowywania wszelkich naszych nieścisłości czy błędów. A niekompetencję zwalczał wręcz bezlitośnie.

I słusznie. Przyznawaliśmy mu prawo do tego rodzaju pouczeń, choć czasem bolały. W końcu Karol Sabbath, choć nigdy całkowicie nie zrezygnował z pracy naukowej, to większość czasu poświęcał na popularyzację wiedzy. Mogliśmy więc przypuszczać, że częściowo rozumie problemy, na jakie my, dziennikarze, się natykamy. Nie bez kozery właśnie Jego przyjęliśmy za patrona Nagrody Stowarzyszenia Dziennikarzy Naukowych, która po raz pierwszy została przyznana w 2008 roku.

Inni naukowcy jednak z pewnym zdziwieniem, czy wręcz nieufnością podchodzą do naszej profesji. Bo rzeczywiście: co to w ogóle takiego ci „dziennikarze naukowci”? I skąd się oni wzięli? Czy naprawdę są potrzebni? Czy nie lepiej, by popularyzacją nauki zajmowali się sami badacze?

Właściwie tak było niegdyś. Analizowałem swego czasu XIX-wieczne polskie czasopisma popularnonaukowe. Autorami artykułów w nich zamieszczonych w przeważającej części byli naukowcy. Dziennikarze pisywali tam z rzadka. Ich rola zaczęła rosnąć dopiero wraz z rozwojem nauki i demokracji. Tak, to nie pomyłka – oba te elementy były równie istotne. Nauka – bo zmieniła życie codzienne ludzi i wywróciła do góry nogami ich pogląd na świat. Stała się ważna, o wiele ważniejsza niż dla ich przodków.

A co ma do tego demokracja? To, że jeszcze w XIX wieku naukę w przeważającej części finansowali arystokraci bądź przemysłowcy ze swych prywatnych majątków. Wraz ze zmianą ustroju społecznego, badania stały się dobrem publicznym. Dziś to zwykli ludzie płacą za naukę poprzez swoje podatki. A ich przedstawiciele, wybierani w drodze głosowania, decydują o przydziale i podziale pieniędzy. Siłą rzeczy, obu stronom zaczęło zależeć na wymianie informacji. Społeczeństwo chciało wiedzieć, co daje im nauka. A naukowcy starali się wykazać, że robią rzeczy ważne, potrzebne albo przynajmniej ciekawe.

Dostrzegły to media – gazety, magazyny, stacje radiowe i telewizyjne. Początkowo nowości ze świata nauki pojawiały się między informacjami ze świata lub kraju. Potem utworzono samodzielne działy naukowe. Potrzebowano w nich osób, które na bieżąco śledziły doniesienia i które w każdej chwili mogły przygotować materiał o nowym odkryciu. Naukowcy nie byli w stanie tego robić. Po pierwsze dlatego, że zazwyczaj nie lubią wchodzić na tereny inne niż ich ścisła specjalizacja. Po drugie – dla potrzeb popularyzacji musieliby zrezygnować ze swej pierwszej profesji. Tę rolę przejęli więc dziennikarze naukowcy. W Polsce zawód ten rozkwitł, co oczywiste, wraz z pojawieniem się demokracji, czyli od lat 90. XX wieku. Około 2000 roku do tego grona dołączyłem i ja.

Dlaczego nie piszą o tym, co ważne?!

Nasza praca polega na nieustannym lawirowaniu między ścisłością naukową a atrakcyjnością czytelniczą. Zboczenie w którąś ze stron może się skończyć źle. I to na każdym z trzech podstawowych etapów pracy dziennikarskiej: doboru tematu, zbierania materiału i pisania artykułu.

Zacznijmy od tematu. Redakcje (i chyba też czytelnicy) lubią się w tematach sensacyjnych i cenią teksty o badaniach, które wpływają na nasze życie codzienne. Naukowcy nierzadko fascynują się epokowymi odkryciami, które są mało zrozumiałe dla przeciętnego zjadacza chleba. Opisanie rozwoju muszli małżoraczka zapewne jest ważne. Ale ani czytelnik, ani szef gazety zwykle nie ma pojęcia, co to w ogóle jest ten „małżoraczek”. Przebicie się z takim tematem do druku graniczy z cudem.

Bywa też i tak, że naukowiec ma prawdziwie ciekawe odkrycie i ma żal o brak zainteresowania ze strony mediów. No dobrze. Tylko skąd dziennikarz może wiedzieć o tej ważnej pracy? Żaden z nas nie jest w stanie przeglądać wszystkich czasopism naukowych. Amerykań-

skie instytucje badawcze, które mają chyba największe doświadczenie w walce o publiczne fundusze, radzą sobie w ten sposób, że przygotowują informacje prasowe o najciekawszych wynikach pracy swoich naukowców. Rozsyłają je potem albo do zaprzyjaźnionych dziennikarzy, albo na dziennikarskie serwisy internetowe. I to naprawdę działa. W Polsce do dziś nie ma takiego zwyczaju.

No ale powiedzmy, że dziennikarz dotarł do ciekawej pracy naukowej, uznał ją za wartą omówienia, a szefowie zainteresowali się tym tematem. Wówczas nadchodzi czas zbierania informacji, czyli przede wszystkim czytania fachowych publikacji i rozmawiania z badaczami. Ci, którzy nie chcą się spotkać i nie odpowiadają na e-maile, na szczęście są coraz rzadsi. I nie ma co o nich wspominać. Jak również o tych, którzy dziennikarzy traktują nieuprzejmie, z góry czy wręcz grubiańsko. Większość jest życzliwa i chętna do pomocy. Ale i oni potrafią wyrzucić przysłowiową „niedźwiedzią przysługę”. Mówią: „To bardzo ciekawy i trudny temat. Musi pan koniecznie przeczytać tę pracę, tamtą, i jeszcze tamtą, i najlepiej tamtą. A potem możemy porozmawiać”. I kłops. Dziennikarz ma zwykle dość ograniczony czas na zebranie materiału. Czasem to ledwie kilka dni, a bywa, że i parę godzin. Zdarza się, że pracuje nad kilkoma tematami jednocześnie. Choćby nie wiem jak chciał, nie jest w stanie tyle przeczytać. Warto więc mu pomóc, ale tak, by nie udusił się przygnieciony nadmiarem wiadomości.

Jak on śmiał tak to opisać?!

Dotarliśmy prawie do końca. Dziennikarz przeczytał publikację naukową, może ją nawet zrozumiał i na dodatek porozmawiał o niej z badaczami. Nadchodzi czas ostatecznego przygotowania artykułu. Siłą rzeczy, wszystkiego nie da się w nim zmieścić. Musi on też być napisany prosto, zrozumiale dla laika i atrakcyjnie. Nieraz dostałem „po głowie” za

wtrącanie w tekst luźnych uwag, żartobliwych powiedzonek czy metafor.

Badaczy irytuje też nadmierne upraszczanie. Nawet jeśli pogodzą się z brakiem precyzyjnego, naukowego słownictwa, to podczas autoryzacji namiętnie dorzucają wyrażenia typu „prawdopodobnie”, „chyba”, „być może”, „do końca jeszcze tego nie wiadomo” czy sakramentalne „potrzeba jeszcze wielu dalszych badań”. O ilość tych „byćmożów” toczą się nieraz

zażarte boje między naukowcem i dziennikarzem. Jeśli dobrze się wyważy proporcje, tekst zachowa atrakcyjność czytelniczą i ścisłość naukową. No, prawie. Praca dziennikarska to zwykle praca pod presją czasu. Czasem nie da się wszystkiego dopilnować. Nawet najlepszym dziennikarzom naukowym mogą się więc zdarzyć potknięcia. Jeśli są drobne, warto mieć dla nich wyrozumiałość. Jeśli poważne – warto je wypomnieć. Tak jak to robił Karol Sabath.

Ewolucjonizm: teoria naukowa i pogląd na świat

Adam URBANEK

*Pamięci naszego kolegi Karola Sabatha,
nieustrzonego propagatora myśli ewolucyjnej*

Powstanie przyrodniczych teorii ewolucyjnych poprzedzała teologia naturalna. Według niej organizmy – jako złożone systemy o celowej organizacji – zostały stworzone przez Boga, nie mogłyby bowiem powstać w wyniku działania ślepych sił przyrody. Teorie ewolucyjne stały natomiast na gruncie naturalizmu i postulowały stopniowe przekształcanie się gatunków pod działaniem naturalnych sił przyrody. W teorii Lamarcka za przyczynę zmian ewolucyjnych uważana jest przede wszystkim stale działająca wewnętrzna tendencja istot żywych do komplikowania swej organizacji oraz w mniejszym stopniu także oddziaływanie zewnętrznych czynników środowiskowych. W teorii Darwina czynnikami zmian jest zmienność oraz nadmierna rozrodczość organizmów, powodująca walkę o byt w przyrodzie, przeżycie najlepiej przystosowanych i ich utrwalenie się w następnych pokoleniach. Jest to teoria doboru naturalnego, która zachowuje nadal aktualność i jest podstawą współczesnego neodarwinizmu. Dyskusja nad teorią Darwina wykazała, że koncepcja kierunkowych zmian ewolucyjnych nie ogranicza się do organizmów żywych, ale znajduje zastosowanie do całej przyrody, jest więc podstawą współczesnego poglądu na świat.

Teoria ewolucji zajmuje szczególne miejsce w rozwoju nauki. Nie ma bowiem w dziejach myśli ludzkiej drugiej takiej teorii, która by w równym stopniu wpłynęła na zmianę poglądu na świat. Chociaż poszczególne myśli wyrażano już wcześniej, całościowe teorie ewolucji dające wgląd w przyczyny, mechanizmy, a także przebieg procesów – stanowią osiągnięcie XIX stulecia.

Teologia naturalna

Wczesne teorie ewolucji poprzedzała dziedzina teologii, nazywana teologią naturalną. Jej zadaniem było udowodnienie istnienia Boga

i takich jego atrybutów, jak mądrość i dobroć na podstawie badania samego dzieła stworzenia. Wielu przedstawicieli tej szkoły zajmowało się organizacją istot żywych, którą cechuje rzucająca się w oczy celowość. Wyraża się ona w takim układzie części ciała, że zapewniają one przystosowanie do istniejących warunków bytowania organizmu. Ten układ czy też plan lub wzorzec określano jako *design* i udowodniano, że jest on na tyle złożony, że nie mógłby powstać w rezultacie przypadkowego oddziaływania czynników naturalnych. Przeciwnie, implikuje on obecność twórcy: *design means designer*, tak jak zegar implikuje istnienie zegarmistrza. Organizmy żywe są co najmniej tak

skomplikowane jak zegary, najbardziej złożone przyrządy mechaniczne owych czasów, a zatem musiały mieć swego zegarmistrza, tyle że boskiego. Poglądy takie zdobyły duże uznanie i owładnęły umysłami na kilka dziesięcioleci.

Teoria Lamarcka

Pierwsza naukowa teoria ewolucji została sformułowana w 1809 roku przez francuskiego przyrodnika J.B. Lamarcka w jego dziele *Filozofia zoologii* (Lamarck 1960). Stanowi ona niezwykle kontrast w stosunku do sposobu myślenia teologów naturalnych. Stoi na stanowisku naturalizmu stwierdzając, że „przyroda sama wytworzyła wszystkie swe ciała poczynając od najprostszyc i kończąc na najbardziej złożonych”. W teorii Lamarcka nie ma miejsca na twórcę czy stwórcę, jego rolę przejmują czynniki naturalne. Jest to zarazem kamień węgielny wszystkich późniejszych teorii ewolucyjnych. Cały świat żywy zdaniem Lamarcka podlega procesowi zmian prowadzących do wzrostu stopnia organizacji. Jest to ogólna i stale działająca tendencja, która jest wewnętrzną przyczyną ewolucji. Siły napędowe tego wielkiego procesu tkwią więc przede wszystkim w samej materii żywej, a w mniejszym stopniu zależą od działania zewnętrznych czynników środowiskowych. W ewolucji roślin zaznaczało się jednak bezpośrednie oddziaływanie takich czynników jak światło, temperatura i wilgotność, które bezpośrednio wpływają na ich budowę i funkcję. Zaś w ewolucji zwierząt ważną rolę odgrywały „dążenia”, bo tak Lamarck określał uporczywe powtarzanie pewnych funkcji, np. wyciągania szyi i inne formy używania narządów prowadzące poprzez **dziedziczenie nabytych cech** do trwałych zmian budowy i funkcji. Uważano, że używanie narządu prowadzi do jego rozwoju, zaś nieużywanie – do jego osłabienia i redukcji.

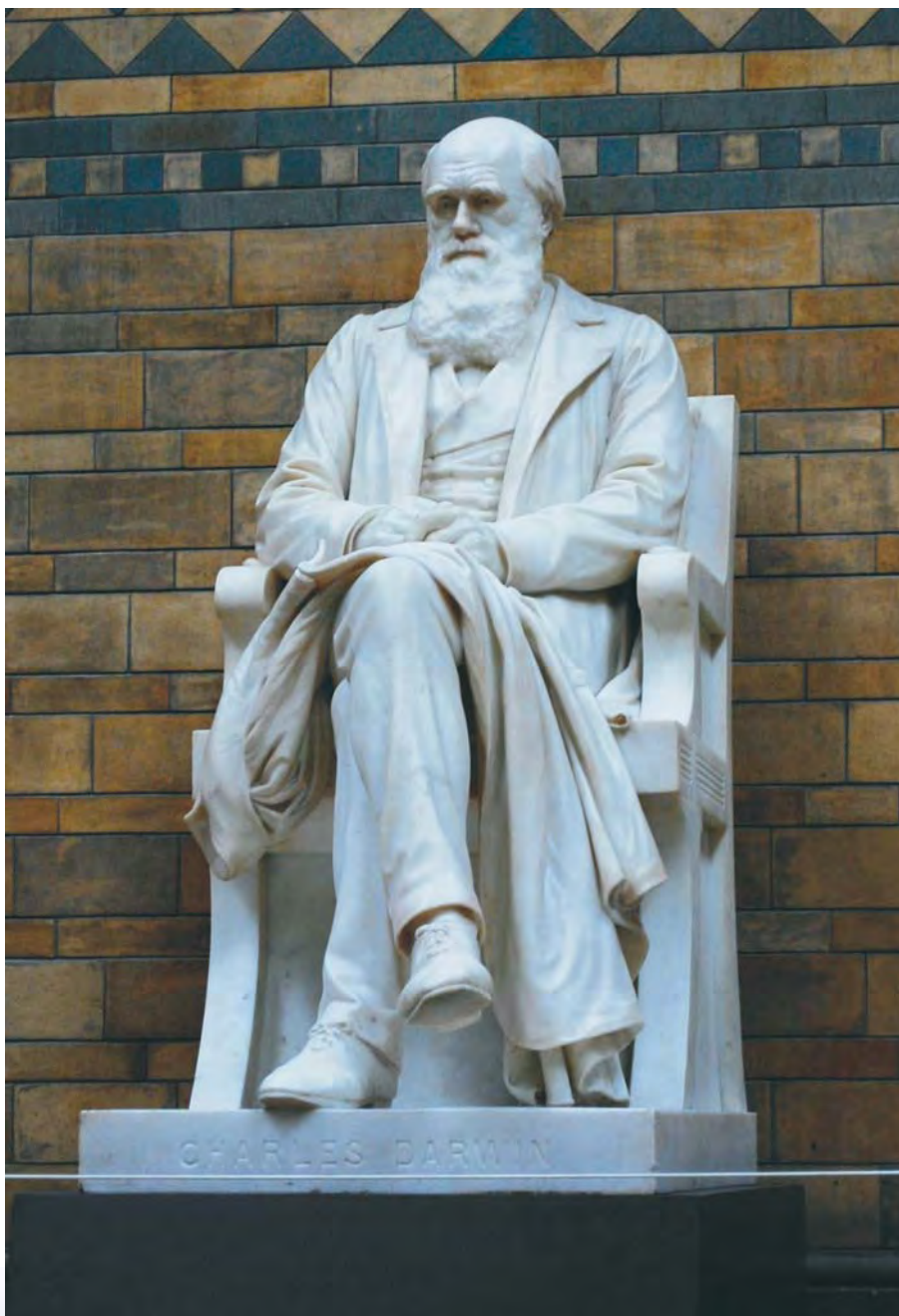
Rozwój przyrody dokonuje się w wielkiej skali czasu, poszczególne gatunki powstają przez przekształcenie innych, wcześniej istnie-

jących i nieuchronnie ulegają dalszym zmianom. Gatunki nie są więc stałe i powstawały w różnym czasie. Zmiany dziedziczne są adekwatne do zmian środowiska, tzn. zawsze przystosowawczo korzystne, zmiana ewolucyjna prowadzi zawsze do ulepszenia przystosowań. Celowość biologiczna jest więc immanentną (od zawsze obecną i charakterystyczną) cechą istot żywych, każda ich zmiana przynosi celowe rezultaty. Tym stanowiskiem Lamarck odcina się od celowości kreacjonistycznej, która przypisywała celowość biologiczną działaniu mądrości i przewidującej Istoty Najwyższej.

Zasługi Lamarcka są trudne do przecenienia. Był pionierem ewolucyjnego myślenia o przyrodzie żywej, ale świat naukowy nie był przygotowany do przyjęcia takich myśli. Jego teoria popadła w zapomnienie. Zupełnie inna rola przypadła teorii Darwina, która została ogłoszona 50 lat później.

Powstanie teorii Darwina

Karol Darwin urodził się 12 lutego 1809 r. w małym miasteczku Shrewsbury, w zasłużonej i dobrze sytuowanej rodzinie. Jego ojciec Robert był wziętym lekarzem, człowiekiem bardzo zamożnym i wszechstronnie wykształconym. Najwybitniejszym przedstawicielem rodziny był jednak dziadek Erazm, przemysłowiec, filozof i poeta okresu Wielkiej Rewolucji Przemysłowej. W swych poematach głosił idee transmutacji gatunków, przekształcania się jednych w drugie. Karol nie doceniał poglądów dziadka, uważał je za spekulatywne i szukał dla siebie innych wzorców naukowych. Ale chwilowo nic nie wskazywało, że zostanie wielkim uczonym, przeciwnie – wyrósł on na młodzieńca, którego ulubionym zajęciem były polowania w gronie kolegów, namiętne strzelanie z broni myśliwskiej oraz kolekcjonowanie chrząszczy, których stał się znawcą-amatorem. Karol był przy tym niewdzięcznikiem: uważał, że w college'u niczego się nie nauczył, a początki greki wkrótce



Karol Darwin (1809–1882), pomnik w Muzeum Historii Naturalnej w Londynie (fot. Piotr Szrek).

zapomniał. Ojciec marzył, aby syn poszedł w jego ślady i został lekarzem, dlatego Karol trafił na studia medyczne do Edynburga. Wykłady okazały się jednak niewymownie nudne, a zawód lekarza całkowicie nie odpowiadający jego naturze. Ojciec skierował swego trudnego syna na studia teologiczne na Uniwersytecie w Cambridge, gdzie Karol miał się sposobić do zawodu duchownego. Równoległe do tych studiów młody Darwin zaczął się interesować

wanie na przyrodnika, który przyłączy się na własny koszt i będzie gromadził zbiory przyrodnicze w czasie 5-letniej wyprawy dookoła świata. Po gorących dyskusjach z rodziną Darwin w grudniu 1831 r. znalazł się na pokładzie Beagle'a, który opuścił port w Plymouth kierując się w stronę wybrzeży Brazylii, a następnie Argentyny. Wziął ze sobą pierwszy tom *Zasad geologii* Charlesa Lyella. Badacz ten objaśniał wydarzenia, które miały miejsce

Współczesny darwinizm

Klasyczna teoria Darwina jest teorią czynników i mechanizmów ewolucji. Postęp nauki sprawił, że teoria ta została zastąpiona syntezą darwinowskiej teorii doboru naturalnego, genetyki oraz systematyki i paleontologii. Często określamy tę współczesną teorię jako *neodarwinizm*, albo *syntetyczną teorię ewolucji*. Głównym działem neodarwinizmu jest genetyczna teoria doboru naturalnego, która bada skutki działania doboru naturalnego na strukturę genetyczną populacji. Każdy osobnik w krzyżującej się populacji wnosi swe geny do łącznej puli genowej. Obok genów przekazywanych z pokolenia na pokolenie powstają także nowe geny, czyli mutacje. Wskutek krzyżowania tworzą się coraz to nowe kombinacje genów, czyli genotypy określające różne cechy ich nosicieli, czyli fenotypów. Pod tym względem populację można uważać za rodzaj tygla. Wskutek działania doboru naturalnego pewne geny przenoszą się do następnego pokolenia w większej liczbie, inne w mniejszej. Takie działanie doboru naturalnego prowadzi do zmiany częstości genów w populacji. Zmiana częstości genów jest zaś elementarnym wydarzeniem ewolucyjnym. Większość procesów ewolucyjnych wymaga zmian w wielu genach, kumulowania się w genotypie wielu mutacji, które można przyrównać do cegiełek ewolucji. W ten sposób mogą doskonalić się już istniejące i powstawać nowe przystosowania. Natomiast powstawanie nowych gatunków jest procesem wymagającym rozdzielenia się populacji starego i nowego gatunku, w postaci izolacji rozrodczej lub przestrzennej i podziału wspólnej puli genowej na pule oddzielne. Należące do nich osobniki krzyżują się jedynie w obrębie własnej puli, a gatunek wyjściowy zmienia się w dwa niezależne systemy genetyczne.

naukami przyrodniczymi. Dwaj profesorowie odegrali przy tym szczególnie doniosłą rolę: botanik Henslow i geolog Sedgwick. W tych dziedzinach, a zwłaszcza w geologii Darwin zdobył znaczną wiedzę, która wkrótce miała się okazać przydatna. Mianowicie ekspedycja wyruszająca na okręcie hydrograficzno-kartograficznym HMS Beagle ogłosiła zapotrzebo-

w przeszłości Ziemi za pomocą procesów, które zachodzą na niej obecnie. Książka ta wzbudziła zachwyt Darwina, zapragnął zrobić dla historii naturalnej to samo, co Lyell zrobił dla geologii. Najdziwniejsze, że marzenie to miało się spełnić!

Darwin okazał się kiepskim marynarzem, źle znosił podróż morską, ale odżywał przy

częstych i długich rekonesansach lądowych, kiedy konno przemierzał wielkie przestrzenie pampasów Paragwaju i Argentyny. Pewne fakty nie uszły jego uwagi, min. sposób w jaki dwa, blisko spokrewnione gatunki strusiów amerykańskich zastępują się, gdy poruszać się na kontynencie z północy na południe („co mogą robić w przestrzeni mogły robić też w czasie” stwierdził Darwin), zaś wydobyte przez niego szkielety pancerników z tzw. formacji pampasowej przypominały dziś żyjące zwierzęta tego kontynentu, tak, jakby kopalna fauna składała się z przodków dziś żyjących zwierząt (Darwin 2008).

Darwin sam twierdził, że „podróż na okręcie Beagle była przyczyną całej dalszej mojej kariery”. Tego zdania nie należy rozumieć dosłownie – wiele niezwykle faktów, z którymi zetknął w czasie tej podróży stało się zrozumiałe dopiero w świetle przemyśleń Darwina już po zakończeniu podróży. Przez dwa lub trzy lata był on pochłonięty przede wszystkim myśleniem nad „zagadką zagadek”, to jest nad sposobem i przyczynami pojawiania się nowych gatunków, a także wymierania już istniejących. Systematycznie prowadzony przez niego notatnik świadczy o tym, że przychodziły mu do głowy różne pomysły, również takie, które sam uznał potem za zupełnie błędne. Na trop właściwego rozwiązania wpadł po przeczytaniu książki Thomasa Malthusa *O prawie zaludnienia*, zajmującej się m.in. zagadnieniami demografii. W swej niedużej książce Malthus formułuje słynne twierdzenie, że o ile wzrost zaludnienia następuje w postępie geometrycznym, to wzrost środków utrzymania dokonuje się w postępie arytmetycznym. To sformułowanie Malthusa wywarło na Darwinie wielkie wrażenie, które można porównać do olśnienia. Doszedł do wniosku, że podobny proces ma miejsce w przyrodzie żywej. Mianowicie ma miejsce nadmierna rozrodczość organizmów, które wytwarzają miliony jaj i plemników, z których powstaje ogromna mnogość larw i siewek, natomiast stadium dorosłe osiągają tylko nieliczne

z nich. Istnieje dysproporcja między ogromnym potencjałem rozrodczym organizmów, a możliwościami utrzymania się ich potomstwa w środowisku wskutek ograniczonych zasobów tego ostatniego. W przyrodzie dochodzi więc do konkurencji (którą Darwin nazywał metaforycznie **walką o byt**), a w jej rezultacie do eliminacji ogromnej liczby osobników, głównie młodocianych. Wskutek istnienia zmienności organizmy mają zróżnicowane szanse przeżycia – przeżywają tylko **najlepiej przystosowane**. To one przekazują swe korzystne cechy następnym pokoleniom drogą dziedziczności. W przyrodzie działa mechanizm przypominający postępowanie hodowcy, który do rozplodu dobiera tylko osobniki o pożądanym cechach, a inne odsuwa (dobór sztuczny). Analogiczny proces zachodzący samorzutnie w przyrodzie nazwał Darwin **doborem naturalnym**. Prowadzi on do ustawicznych zmian w przyrodzie, o ile tylko istnieje odpowiednia zmienność. Teoria Darwina to **teoria ewolucji drogą doboru naturalnego**.

Teoria Darwina

Podczas gdy teoria Lamarcka wyraźnie nawiązuje do tradycji materialistycznej filozofii okresu Oświecenia, sformułowana w 1859 roku teoria Darwina (patrz np. Darwin 2007) stanowi w dużym stopniu rozwinięcie teologii naturalnej tyle, że daje zupełnie inne odpowiedzi na te same pytania. W poglądach Darwina podstawowe znaczenie ma fakt istnienia zmienności organizmów. W przyrodzie w zasadzie nie ma dwóch jednakowych osobników, zazwyczaj różnią się one wieloma cechami, różnią się także stopniem swego przystosowania do środowiska. Ma to wielkie znaczenie dla ich zdolności przeżycia w toczącej się w przyrodzie walce o byt. Jak już wiemy, ta ostanina wynika z nadmiaru rozrodu – organizmy produkują ogromne ilości potomstwa, ale tylko znikoma jego część przeżywa do stadium dorosłego. Przyroda jest widownią zachodzącej na ogrom-

Szyja żyrafy, czyli kość niezgody między lamarkizmem a darwinizmem

Doskonałym przykładem różnic w podejściu do mechanizmu zmian ewolucyjnych w teorii Lamarcka i teorii Darwina są ich poglądy na powstanie wydłużonej szyi u żyrafy. Zdaniem Lamarcka wydłużenie nastąpiło wystąpiło jako wynik ustawicznego wyciągania szyi przy odżywianiu się listowiem wysokich drzew. Używany narząd rozwija się i powiększa, a cechy nabyte w ten sposób przekazywane są następnemu pokoleniu drogą dziedziczenia. Długotrwałe „dążenie” przodków żyrafy do wydłużenia szyi dało kumulatywny efekt w postaci dzisiejszych żyraf o niezwykle długiej szyi. Według Darwina wśród przodków żyraf były osobniki o nieco krótszej i nieco dłuższej szyi (zmienność). Te ostatnie były lepiej przystosowane do odżywiania się listowiem wysokich drzew niż pozostałe.

W krytycznych sytuacjach braku pokarmu przeżywały osobniki o nieco dłuższych szyjach i to one wydawały potomstwo (dobór naturalny). Wśród tego potomstwa znowu pojawiały się osobniki o krótszych i dłuższych szyjach, ogólnie nieco jednak dłuższych niż poprzednio. Znowu cechowała je podwyższona przeżywalność w stosunku do pozostałych. Taki proces zachodzący pod kontrolą doboru naturalnego dawał efekt kierunkowy – średnia długość szyi stopniowo wzrastała w przeciągu setek i tysiący pokoleń.



Żyrafy w zoo w Sydney, Australia (fot. Jan Derk, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sydney_taronga_zoo.jpg, dostęp 15.02.2009, zdjęcie na licencji wolnej jako public domain).

na skalę eliminacji, szczególnie surowej w odniesieniu do stadiów młodocianych. Ale wskutek istnienia zmienności organizmów ta eliminacja nie jest przypadkowa. Przeżywają osobniki najlepiej przystosowane i to one odnoszą sukces reprodukcyjny, czyli pozostawiają potomstwo. Dlatego cechy najlepiej przystosowanych przekazują się na drodze dziedziczności następnym pokoleniem. Stanowią one jednak tylko część początkowej liczby osobników i tylko drobną frakcję zmienności wytworzonej w danym pokoleniu. Tak przejawia się słynny **mechanizm doboru naturalnego**, który nieustannie działa w przyrodzie, a jego skutki kumulują się w czasie. Dzięki działaniu doboru stopniowe

zmiany doprowadziły do powstania i udoskonalenia nawet najbardziej złożonych przystosowań, takich jak narządy wzrokowe i ośrodkowy układ nerwowy.

Teoria Darwina ma prostą strukturę; opiera się na kilku faktach empirycznych i kilku wnioskach wysuniętych na ich podstawie. Nic też dziwnego, że Thomas Henry Huxley, przyjaciel i zwolennik Darwina, wykrzyknął po zapoznaniu się z tekstem *O powstawaniu gatunków*, głównym dziełem Darwina (wydanym w 1859 roku): „Jakim byłem głupcem, że sam na to nie wpadłem!”

Działanie doboru naturalnego prowadzi do rozróżnienia lepiej i gorzej przystosowanych.

Dlatego znany biochemik i filozof biologii (a także autor powieści S-F) Issac Asimov nazywał dobór naturalny – „demonem Darwina”. Stanowi to analogię do termodynamicznego „demonu Maxwella”, hipotetycznej istoty, która miałaby zdolność do rozpoznawania i segregacji cząsteczek o większej i mniejszej energii kinetycznej (a tym samym podnoszenia energii układu, bez dostarczania jej z zewnątrz, co uchodzi za rzecz niemożliwą do osiągnięcia w normalnym przebiegu procesów). Dobór naturalny dokonuje właśnie takich nieprawdopodobnych działań, jest to główny czynnik kształtujący organizmy żywe, główny *Designer* ewolucji biologicznej. Tym samym teoria Darwina zadała śmiertelny cios teleologii, przyjmującej immanentną lub kreacjonistyczną celowość biologiczną. W świetle ewulucjonizmu celowość biologiczna jest wynikiem współdziałania organizmów i ich środowiska – nie jest ani wyłącznie wewnętrzną cechą ustrojów żywych, ani też wyłącznie cechą nadaną z zewnątrz. Teraz wiemy, że przystosowania powstają samorzutnie w przyrodzie pod działaniem doboru naturalnego, który należy w końcu do ślepych sił przyrody, ale jak to wspaniale ujął Richard Dawkins (odnosząc się w ten sposób do wspomnianego już sposobu myślenia teologów naturalnych) – jest „ślepyim zegarmistrzem”, który tworzy niezwykle złożone i sprawnie funkcjonujące ustroje żywe, cechujące się celową organizacją, dokonując tylko doraźnych zmian zapewniających ich przeżycie w danej sytuacji.

Ewulucjonizm – podstawą poglądu na świat

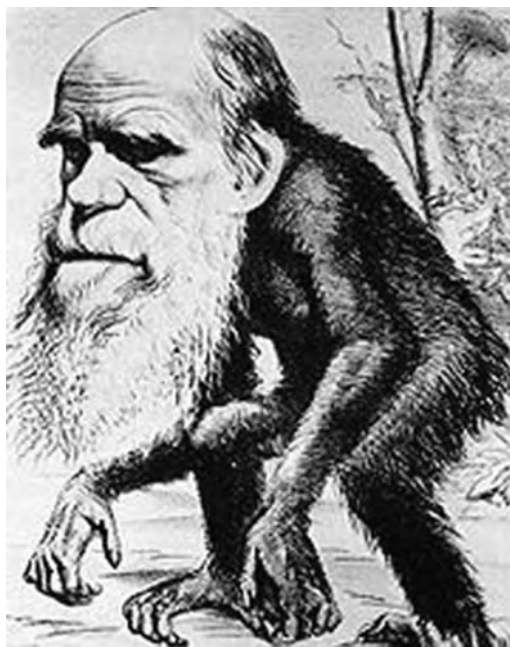
W podniosłych słowach stanowiących zakończenie *O powstawaniu gatunków* Karola Darwina (2007) czytamy: „Jest wielkość w tym poglądzie (...), że gdy planeta nasza posłuszna prawom powszechnego ciężenia dokonywała swych obrotów, (...) z prostego początku zdołał się rozwinąć i wciąż się jeszcze rozwija

nieskończony szereg form najpiękniejszych i najbardziej godnych podziwu”. (Dodajmy, że w tym czasie Darwin uważał jeszcze, że początek polegał na tym, iż Stwórca „natchnął życiem kilka form lub tylko jedną”, ale potem zmienił zupełnie swój pogląd i stał się agnostykiem). Darwin przekazuje nam wizję newtonowskiego świata, w którym zachodzi ewulucja biologiczna. Stanowi ona enklawę, która pod wieloma względami różni się od domeny, którą opisuje fizyka. Poznanie enklawy opanowanej przez procesy ewulucyjne miało w niedalekiej przyszłości przynieść odkrycie tylu nowych i niezwykłych faktów, że ewulucjonizm zmienił nasz punkt widzenia na cały Wszechświat. Wywarł on wpływ na inne nauki przyrodnicze, powodując m.in. powstanie nowych pojęć w naukach fizykalnych, takich jak przekształcanie się pierwiastków promieniotwórczych i genealogię ich izotopów, ewulucja materii oraz ewulucja gwiazd i całego Wszechświata. Myśl, że świat składa się z ogniw samorzutnie się przekształcających i powiązanych ze sobą pochodzeniem znalazła powszechne zastosowanie niewątpliwie pod wpływem ewulucjonizmu. Świadczy o tym wydana przez A.C. Sewarda na 50-lecie teorii Darwina (1909) książka *Darwin and Modern Science*, która idąc po gorących śladach przedstawia wczesne wpływy ewulucjonizmu na inne nauki. Dzięki tym wpływom empiryczna teoria ewulucji biologicznej, odnosząca się w końcu jedynie do pewnego wycinka rzeczywistości, pełni komplementarnie rolę **podstawy ogólnego poglądu na świat**.

W ten sposób pojmuje teorię ewulucji wielu współczesnych uczonych, których doskonałym przykładem może być Theodosius Dobzhansky. Jego prace, a zwłaszcza dzieło o genetycznych mechanizmach powstawania gatunków (Dobzhansky 1937) legły u podstaw nowoczesnych poglądów na ewulucję. To Dobzhansky stwierdził, że „w biologii wszystko nabiera sensu dopiero w świetle teorii ewulucji”. Uważał więc tę teorię za centralną koncepcję integru-

jącą nauki o życiu. Ale szedł znacznie dalej i traktował ewolucjonizm jako ideę odnoszącą się do całej przyrody i określającą miejsce człowieka w świecie – jak pisze jego uczeń i wybitny biolog Francisco Ayala (1977). W podobny sposób podchodziło do tej sprawy wielu innych wybitnych biologów-ewolucjonistów, takich jak Julian S. Huxley, George G. Simpson, czy Edward O. Wilson. W umysłach wielu znanych uczonych ewolucjonizm to coś więcej niż teoria biologiczna. Jest to raczej ogólny pogląd na rzeczywistość pozwalający umiejscowić szczegółowe fakty i wydarzenia w ogólnym procesie rozwoju materialnego świata. Dobrze ujął to Andrzej B. Legocki (2008) pisząc: „Procesy ewolucyjne nie ograniczają się bynajmniej tylko do obiektów biologicznych. Odnoszą się także do Wszechświata i wszystkiego, co on zawiera z jego ruchem i nieustannością zmian. W tym kontekście Wszechświat należy rozważać bardziej jako proces niż stan”.

Ważne dla nauki i dla poglądu na świat okazały się badania nad przebiegiem ewolucji. Ewolucjonizm dowodzi, że przy całej swej różnorodności wszystkie organizmy żywe naszej planety mają wspólnego przodka. Do arsenału wcześniej znanych argumentów biologii molekularna dorzuciła jeszcze jeden bardzo ważki – uniwersalność kodu genetycznego. Dzieje rozwoju życia na Ziemi są przy tym eposem napisanym tym razem przez nauki przyrodnicze – błędnie przy nim *Mahabharadta* i wszystko, co przekazuje nam tradycja kultury człowieka. Ewolucjonizm dostarcza pewnej wizji świata żywego, świata powiązanego pokrewieństwami, które rozciągają się na miliardy lat. Wobec tych więzi rodowych nawet najbardziej starożytne rody arystokratyczne trafiają na strony *Liber Chamorum*. Na przykład wszystkie zwierzęta pochodzą zapewne od niepozornych jednokomórkowych wiciowców z rodziny Codosigidae, które, jak się przypuszcza, pojawiły się ok. 1 miliarda lat temu! „Wszyscy jesteśmy jednej krwi” chciało by się wykrzyknąć za Rudyardem Kiplingiem autorem *Księgi Dżungli*,



Karykatura Darwina (The Hornet, 22.03.1871, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Darwin_ape.jpg, zdjęcie na licencji wolnej jako public domain).

bowiem słowa te przekazują wielką prawdę o istotach żywych.

Ponieważ ewolucja świata żywego odbyła się w tak ogromnej skali czasu, wiele jej ogniw już dawno wymarło i reprezentowanych jest wyłącznie w stanie kopalnym. Przodkowie płazów, ptaków i ssaków należą do dawno wymarłych grup. Tylko nauka o organizmach ubiegłych epok geologicznych, czyli paleontologia, dostarcza bezpośrednich dowodów na ich istnienie i pozwala odtworzyć rzeczywisty przebieg ewolucji. Bogate materiały na ten temat przedstawia nasza wystawa w Muzeum Ewolucji Instytutu Paleobiologii PAN w Warszawie (PKiN).

Pochodzenie człowieka

W genealogii świata żywego mieści się także pochodzenie człowieka. Sprowadzanie teorii ewolucji, czy też teorii Darwina do teorii

pochodzenia człowieka od małpy, jest niedopuszczalnym uproszczeniem, ale prawdą jest, że znajduje ono pełne wyjaśnienie na gruncie ewolucjonizmu. Człowiek, tak jak inne istoty żywe, powstał na drodze ewolucji, o czym najlepiej świadczy nieprzerwana seria kopalnych form przejściowych między małpą a istotą ludzką. Tym samym odchodzi w niepamięć biblijna legenda o stworzeniu pierwszych ludzi, która nie tylko pozbawiona jest empirycznego znaczenia (określenie samego Jana Pawła II), ale także uderza swą naiwnością. Jak powiedział nasz krakowski kolega prof. Jan Kozłowski (ewolucjonista katolicki) dla dzisiejszego człowieka jest ona odpowiednikiem słynnej bajki o bocianie. O ileż bardziej pobudza umysł ewolucyjna relacja o wyniesieniu się człowieka spośród innych form zwierzęcych.

Ewolucjonizm a religia

Teorie ewolucyjne nie zajmują się kwestiami religijnymi, ale mają swoją własną wymowę – przemawiają one wyraźnie za naturalizmem. Świat znajduje się w rozwoju dzięki samorzutnym zmianom zachodzącym pod działaniem praw naturalnych. „Przyroda sama...”, bez udziału czynników nadnaturalnych odpowiedzialna jest za postać świata. W świetle ewolucjonizmu można powiedzieć, że to nie Bóg stworzył człowieka, ale to człowiek w rozwoju

swej świadomości wytworzył pojęcie Boga (lub bogów). Powstanie ewolucjonizmu, teorii przyrodniczej, która jak wiemy komplementarnie jest także poglądem na świat, pobudziło refleksje filozoficzne społeczeństw oświeconych i pchnęło myśl ludzką na nowe tory.

Literatura cytowana

- Ayala, F.J. 1977. Nothing in biology make sense except in the light of evolution. *The Journal of Heredity* 68: 3–10.
- Darwin, K. 2007. *O powstawaniu gatunków*. 460 s. Jirafa Roja, Warszawa (oryginalny tytuł *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, 1859, London).
- Darwin, K. 2008. *Podróż na okręcie „Beagle”*. 554 s. Libron, Kraków (oryginalny tytuł *The Voyage of the Beagle*, 1839, London).
- Dobzhansky, Th. 1937. *Genetics and the Origin of Species*. 364 s. Columbia University Press, New York.
- Lamarck, J.B. 1960. *Filozofia zoologii*. 563 s. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa. (oryginalny tytuł *Philosophie zoologique*, 1809, Paris).
- Legocki, A.B. 2008. Miejsce człowieka we współczesnym świecie. Rozważania na temat nowej filozofii przyrody. *Nauka* 1: 19–25.
- Seward, A.C. (red.). 1909. *Darwin and Modern Science. Essays in commemoration of the centenary of the birth of Charles Darwin and of the fiftieth anniversary of the publication of the Origin of Species*. 595 s. University Press, Cambridge [wybrane artykuły wydano także w języku polskim jako Silberstein, L. i in. (tłum.) 1910. *Darwinizm a wiedza współczesna*. 162 s. nakł. Henryka Lindfelda, Warszawa).

Ekosystemy chemosyntetyczne i ich zapis kopalny

Andrzej KAIM

*Karolowi na pamiątkę
wspólnej pracy w APP*

Odkrycie ekosystemów chemosyntetycznych stało się jedną z największych niespodzianek biologii morza XX w. Ekosystemy te rozwijają się bez udziału fotosyntezy, a jedynie w oparciu o chemosyntezę, na dnie morskim wokół kominów hydrotermalnych, zimnych źródeł węglowodorowych, na szkieletach walen i oraz wokół kłód zatopionego drewna. Zwierzęta zamieszkujące te środowiska charakteryzują się często uproszczonym planem budowy, co skłaniało niektórych badaczy do przypuszczeń, że ekosystemy chemosyntetyczne są ostojami dla „żyjących skamieniałości” z odległej przeszłości geologicznej. Dokładniejsze badania anatomiczne i molekularne, a także zapis kopalny, sugerują jednak stopniowe i stosunkowo niedawne zasiedlanie ekosystemów chemosyntetycznych. Prosty plan budowy wielu tworzących je gatunków jest wynikiem symbiozy z bakteriami chemosyntetyzującymi.

W 1977 roku amerykański geolog Jack Corliss, badający w batyskafie Alvin zjawiska wulkaniczne w strefie rozchodzenia się płyt oceanicznych w pobliżu Wysp Galapagos, nie mógł uwierzyć własnym oczom. Na głębokości kilku tysięcy metrów, w wiecznym mroku i temperaturze 2°C, Corliss dostrzegł zwierzęta, o których dotychczas nie śniło się zoologom. Oprócz wielkich małżów i setek nieznanych dotąd czapczkowatych ślimaków, były tam pola olbrzymich rurkowatych wieloszczetów zwieńczonych pióropuszcami czerwonych czułek. Tak zaczęła się niezwykła historia odkryć ekosystemów opartych na chemosyntezie.

Rajskie ogrody wiecznych ciemności

Nie od razu było wiadomo, w jaki sposób gorące, przepełnione siarkowodorem wody

wydobywające się w kominów hydrotermalnych umożliwiają istnienie tak skomplikowanych i bogatych w biomasę ekosystemów. Pierwotnie sądzono, że organizmy te – będące w normalnych warunkach filtratorami – funkcjonują dzięki koncentracji materii organicznej przez prądy denne wywołane aktywnością wód hydrotermalnych. Inną interpretację zaproponował mikrobiolog John Baross. Stwierdził, że siarkowódór skoncentrowany w wodach hydrotermalnych jest źródłem zredukowanej siarki dla wolnożyjących bakterii chemosyntetyzujących.

Wkrótce odkryto, że wiele organizmów żyjących wokół kominów hydrotermalnych gości w swoich tkankach symbiotyczne bakterie chemosyntetyzujące, a pozostałe pozostają w zależności pokarmowej z takimi bakteriami. Uświadomomiono sobie, że cały ten

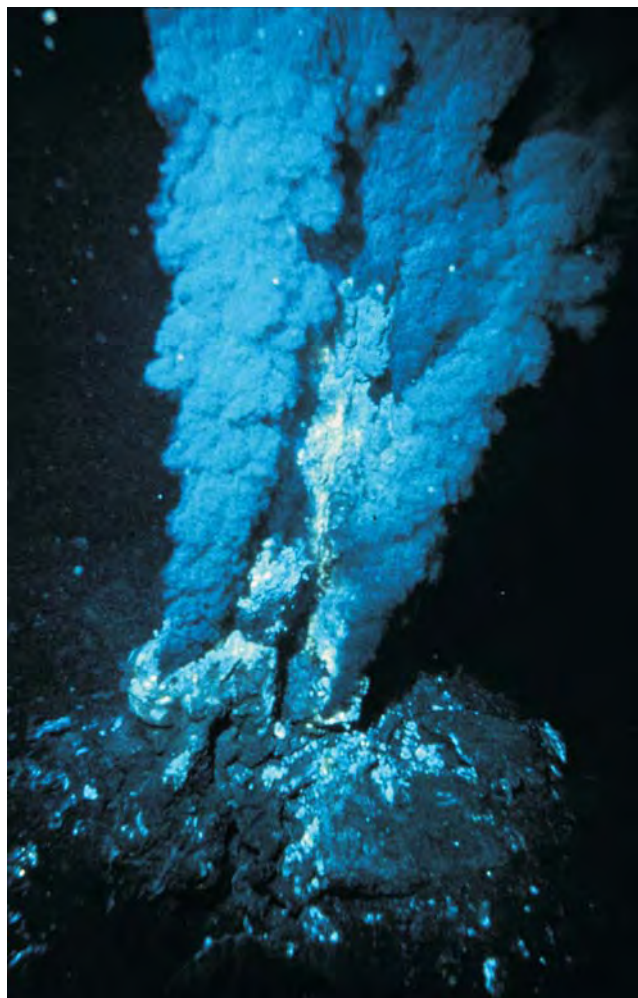
skomplikowany łańcuch pokarmowy jest oparty na produkcji pierwotnej bakterii chemosyntetyzujących.

Życiodajny metan

W latach osiemdziesiątych XX w. odkryto, że ekosystemy chemosymbiotyczne mogą się rozwijać również w innych środowiskach. W 1984 r. opisano zespoły zwierzęce wokół źródeł solankowych i węglowodorowych u wybrzeży Florydy. Źródła te określane są jako tzw. zimne wycieki (ang. *cold seeps*), jako że – w przeciwieństwie do kominów hydrotermalnych – temperatura wydobywających się na powierzchnię dna płynów jest tu zwykle zbliżona do niskiej temperatury otaczającego oceanu. Takie wypływy pojawiają się najczęściej w strefach subdukcji, czyli pogrążania się jednej płyty tektonicznej pod drugą. Woda, która wypływa z takich źródeł, zawiera zwykle duże stężenia związków zredukowanych, a zwłaszcza metanu i siarkowodoru. Zwierzęta tworzące zespoły chemosyntetyczne wokół chłodnych źródeł są zazwyczaj blisko spokrewnione z mieszkańcami okolic kominów hydrotermalnych, choć reprezentują zwykle odmienne gatunki i rodzaje.

Wielbiciele kości

W listopadzie 1987 roku batyskaf Alvin penetrował powierzchnię dna oceanicznego w Basenie Santa Catalina u wybrzeży Kalifornii. Na głębokości 1200 metrów oczom badaczy ukazał się niecodzienny widok: kompletny 20-metrowej długości szkielet walenia pokryty matami bakteryjnymi podobnymi do tych z kominów hydrotermalnych. Na szkielecie gnieździły się liczne i duże małże, głównie z rodziny Vesicomyidae, oraz ślimaki. Wydobyte z dna oceanu kości silnie cuchnęły siarkowodorem. Kierujący badaniami Craig W. Smith szybko zdał sobie sprawę, że ma do czynienia z zespołem analogicznym do tych, które już wcześniej poznano z kominów hy-



Komin hydrotermalny na Grzbiecie Śród atlantyckim (fot. P. Rona, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nur04506.jpg>, dostęp 15.02.2009, zdjęcie na licencji wolnej jako public domain).

drotermalnych oraz zimnych źródeł węglowodorowych. W następnych latach odkryto kolejne szkielety waleni po obu stronach północnego Pacyfiku, u wybrzeży Nowej Zelandii oraz na dnie północnego Atlantyku, wszystkie zasiedlone przez fauny typowe dla zespołów chemosyntetycznych (Smith i Baco 2003). I znów były to organizmy blisko spokrewnione z mieszkańcami kominów hydrotermalnych i źródeł węglowodorowych, choć

Życie bez fotosyntezy

Bakterie chemosyntetyzujące (chemolitoautotrofy) to bakterie utleniające związki zredukowane (takie jak siarkowodór) w celu uzyskania adenosynotryfosforanu (znanego również jako ATP), który jest następnie używany do wiązania nieorganicznego dwutlenku węgla w związki organiczne. Proces taki nazywany jest chemosyntezą. W normalnych środowiskach ATP produkowany jest dzięki energii słonecznej w procesie fotosyntezy. Bakterie chemosyntetyzujące – i oparte na nich ekosystemy – są niezależne od światła słonecznego.

zwykle reprezentowane przez endemiczne gatunki lub rodzaje.

Smakowite drewno

Zespoły organizmów bytujące na zatopionych kłodach drewna były sporadycznie notowane podczas połowów, ale dopiero po odkryciu pozostałych typów ekosystemów chemosyntetycznych uzmysłowiono sobie, że również zespoły z zatopionego drewna są częściowo zasilane w potrzebną do życia energię na drodze chemosyntezy. Częściowo, bo głównym źródłem energii w zespołach z zatopionego drewna jest bakteryjny rozkład celulozy drewna. Dokonują tego wolno żyjące bakterie, które tworzą maty na powierzchni drewna lub bakterie symbiotyczne małżów świdraków (tzw. drewnotoczy) i chitonów. Dziurawiące drewniane burty okrętów małże świdraki – będące z tego powodu przekleństwem żeglarzy – są dobrodziejstwem dla zespołów chemosyntetycznych. Każdy kawał dryfującego po powierzchni wody lub opadłego na dno drewna jest natychmiast zasiedlany przez setki, a nawet tysiące świdraków, i w stosunkowo krótkim czasie ulega całkowitej dezintegracji. Efektem ubocznym tego procesu jest masowa produkcja odchodów, które zanieczyszczają osad wokół drewna związkami siarki, tworząc znakomite podłoże do funkcjonowania organizmów chemosymbiotycznych. Dlatego właśnie zespoły z zatopionego

drewna, oprócz typowych dla nich świdraków i chitonów, składają się również z organizmów charakterystycznych dla zespołów kominów hydrotermalnych, źródeł wodorowęglanowych i szkieletów wielkich kręgowców (duże chemosymbiotyczne małże, swoiste ślimaki i wieloszczety).

Beneficjenci chemosyntezy

Obecnie zespoły chemosyntetyczne są już dość dobrze zbadane (Desbruyères i in. 2006). Okazuje się, że występuje w nich większość grup morskich bezkręgowców, a także ryby. Znane są z nich gąbki, parzydełkowce, nicienie, kolcogłowy, wstężnice, szkarłupnie, szczeciociszczekie, półstrunowce oraz ryby chrzęstno- i kostnoszkieletowe. Najczęstsze jednak i najbardziej zróżnicowane są trzy grupy: mięczaki (głównie małże i ślimaki), pierścienice (przeważnie wieloszczety) i stawonogi (przede wszystkim skorupiaki).

Pierwszymi zwierzętami, które rzucają się w oczy w zespołach chemosyntetycznych, są duże **małże** z rodziny Vesicomidae, przede wszystkim z rodzajów *Calyptogena* i *Vesicomya*. Małże te nie wykazują dużego zróżnicowania, lecz za to występują w olbrzymiej biomasie. Niezwykle częste w niektórych zespołach są omulki *Bathymodiolus* i rozmaite gatunki z rodzin Lucinidae i Thyasiridae. Omulek *Adipicola* jest bardzo charakterystycznym małżem żyjącym na szkieletach waleni. Według

japońskich badaczy omulki równie chętnie zasiedlają zatopione podczas eksperymentów kości krów. Bardzo częste, zwłaszcza na obrzeżach środowisk chemosyntetycznych, są małże *Acharax* z rodziny Solemyidae. Wymienione wyżej małże posiadają w swoich skrzelach chemosyntetyzujące bakterie symbiotyczne. Podstawowym składnikiem zespołów zatopionego drewna są natomiast świdraki z podrodziny Xylophaginae, które goszczą w swoich tkankach bakterie fermentujące celulozę z drewna.

Najbardziej zróżnicowaną taksonomicznie grupą mięczaków w środowiskach chemosyntetycznych są **ślimaki**. Większość z nich jest zaliczana do gromady Vetigastropoda. Szczególnie charakterystyczne są endemiczne neomfalidy, grupa ślimaków włączana do vetigastropodów albo traktowana jako oddzielna gromada. Bardzo pospolite są czaszolkowate (Patellogastropoda), które najczęściej bytują na rurkach rurkoczulkowców (patrz niżej). Rozdepkowate (Neritoidea) są reprezentowane przez dwa rodzaje *Shinkailepas* i *Olgasolaris* z rodziny Phenacolepadidae. Stosunkowo pospolite są również niewielkich rozmiarów ślimaki z rodzin Hyalogyrinidae, Orbitestellidae i Xylodisculidae (wszystkie zaliczane do Heterobranchia).

Ciekawą grupę ślimaków, silnie zróżnicowanych i występujących obficie we wszystkich typach zespołów chemosyntetycznych, są provannidy. Znane są cztery żyjące rodzaje tych ślimaków. *Provanna* i *Desbruyeresia* to małe zwierzęta, których muszla przypomina pospolite płytkowodne *Cerithium*. *Desbruyeresia* znana jest wyłącznie z kominów hydrotermalnych, natomiast *Provanna* jest pospolita również w pozostałych typach zespołów. Z kolei *Alviniconcha* i *Ifremeria* to duże ślimaki przypominające turbinidy, jednak z nimi nie spokrewnione. Oba rodzaje występują wyłącznie wokół kominów hydrotermalnych. Zwiększenie objętości muszli u tych provannidów zostało spowodowane koniecznością ochrony skrzeli, które rozrosły się na skutek obecności

bakterii chemosyntetyzujących. Obfitość pokarmu ekosystemów chemosyntetycznych wabiła również drapieżne ślimaki, które także tworzyły endemiczne formy, np. buccinid *Eosipho* i turrid *Phymorhynchus*.

Jedną z najbardziej zróżnicowanych grup zwierząt w środowiskach chemosyntetycznych są **wieloszczety**. Szacuje się, że w samych tylko zespołach kominów hydrotermalnych stanowią one 18–20% wszystkich zidentyfikowanych gatunków, z czego aż 20% należy do rodziny Polynoidae (ruchliwe wieloszczety o ciele pokrytym łuskami).

Najbardziej charakterystyczną grupą wieloszczetów endemicznych dla ekosystemów chemosyntetycznych są rurkoczulkowce (rodzina Siboglinidae), które tworzą podwodne łąki wokół kominów hydrotermalnych lub źródeł węgłowodorowych. Rurkoczulkowce stwierdzono we wszystkich typach środowisk, gdzie życie



Typowe dla zespołów hydrotermalnych ślimaki z rodziny Provannidae; w lewym słoju *Ifremeria*, w prawym *Alviniconcha*, zbiory Muzeum Historii Naturalnej w Sztokholmie (fot. Andrzej Kaím).

Kominy hydrotermalne (ang. *hydrothermal vents*)

Struktury te występują wokół śródoceanicznych grzbietów podmorskich, które tworzą się w miejscach rozsuwania się płyt oceanicznych. Można je znaleźć również na podmorskich wulkanach oraz w basenach załukowych i przedłukowych (Van Dover 2000). Wydobywająca się z kominów hydrotermalnych woda jest gorąca i przesycona składnikami mineralnym, które nadają im charakterystyczny czarny lub biały kolor (stąd nazywane są również z ang. *black/white smokers*).

Zimne wycieki (ang. *cold seeps*)

To miejsca, gdzie z dna morskiego wypływają wody porowe bogate w siarkowodór i metan (źródła węglowodorowe, ang. *hydrocarbon seeps*) lub solankę (źródła solankowe, ang. *brine seeps*). Wody te charakteryzują się zwykle niską temperaturą i pojawiają w różnych sytuacjach, ale najczęściej w strefach subdukcji, u podnóża stoków kontynentalnych, wzdłuż uskoków, nad złożami ropy naftowej lub soli, oraz w strefach występowania hydratu metanu (zamarznięta woda z dużą zawartością metanu).

Szkielety wielkich kręgowców (ang. *vertebrate falls*)

Po śmierci morskie kręgowce – takie jak wieloryby – opadają na morskie dno, dostarczając lokalnie olbrzymią porcję pokarmu do środowiska, gdzie regułą jest jego niedostatek. Zwłoki waleni (a w mezozoiku także gadów morskich, patrz Kaim i in. 2008) to prawdziwa uczta dla różnych organizmów morskich. Po oczyszczeniu padliny z resztek mięsa przez nektonicznych padlinożerców (co zajmuje zwykle kilka miesięcy), szkielet zasiedlają oportunistyczne ruchliwe wieloszczety i skorupiaki, które ogałają go z resztek tkanek miękkich, pozostawiając jedynie nagie kości (w zależności od rozmiarów padliny proces ten może trwać nawet kilka lat). Potem na szkielet wkraczają organizmy, które współżyją z bakteriami chemosyntetyzującymi. Te ostatnie odżywiają się produktami beztlenowego rozkładu lipidów wydzielających się w wyniku rozkładu kości przez bakterie. Takie zespoły mogą trwać na jednym szkielecie nawet przez dziesiątki lat (Smith i Baco 2003).

opiera się na chemosyntezie – znany jest nawet przypadek znalezienia rurkoczułkowca na rozkładającym się worku z fasolą we wraku zatopionego statku. Przedstawiciele rodzaju *Osedax* są przystosowani do tworzenia komór mieszkalnych w kościach padłych waleni. Zwierzęta te nie mają otworu gębowego i układu trawienno-ego, a całość pożywienia pobierają na drodze bakteryjnego rozkładu białek wydzielanych przez gnijące kości. Rurkoczułkowce zamieszkują polisacharydowe rurki, z których wysuwają jedynie pióropusze czułków. Większość

rurkoczułkowców nie ma w stadium dorosłym przewodu pokarmowego i pobiera pokarm jedynie za pośrednictwem symbiotycznych bakterii chemosyntetyzujących.

Kolejną niezwykle zróżnicowaną grupę w środowiskach chemosyntetycznych stanowią **stawonogi**. Występują wśród nich przedstawiciele różnych grup, m.in. kikutnice, małżoraczki, widłonogi, wąsonogi, cienkopancerzowce (*Leptostraca*), równonogi, obunogi, a także szczętki (znane też jako kryl). Na większą uwagę zasługują dziesięcionogi,

a zwłaszcza krewetki (Caridea) i kraby (Anomura i Brachyura). Krewetki *Rimicaris* tworzą wielotysięczne ławice wokół kominów hydrotermalnych. Ich pożywienie stanowią bakterie episymbiotyczne „uprawiane” w rejonie gębowym.

Żyjące skamieniałości, czy nowi przybysze?

Ponad trzydzieści lat od odkrycia intrygującej fauny kominów hydrotermalnych sporo już wiadomo o składzie taksonomicznym i funkcjonowaniu poszczególnych typów zespołów chemosyntetycznych (Desbruyères i in. 2006, Lesicki 1998). Jednak nasza wiedza o pochodzeniu i ewolucji tych niezwykłych ekosystemów jest wciąż mizerna. W 1985 roku amerykański badacz W.A. Newman wysunął hipotezę, że okolice kominów hydrotermalnych stanowią refugia (ostoje) dla zwierząt, które dawno wymarły w „normalnych” środowiskach.

Głównym argumentem Newmana była stosunkowo prosta budowa anatomiczna wielu mieszkańców ekosystemów chemosyntetycznych. Wydawało się, że są to swoiste „żyjące skamieniałości” z zamierzchłej przeszłości. Późniejsze badania – oparte na analizie anatomicznej oraz technikach molekularnych – wykazały jednak, że uproszczona budowa tych zwierząt ma w rzeczywistości wtórny charakter i wynika z symbiozy z bakteriami chemosyntetyzującymi, a ich powstanie nie musi być wcale tak bardzo odległe w przeszłości, jak sądził Newman. Potwierdzają to badania paleontologiczne.

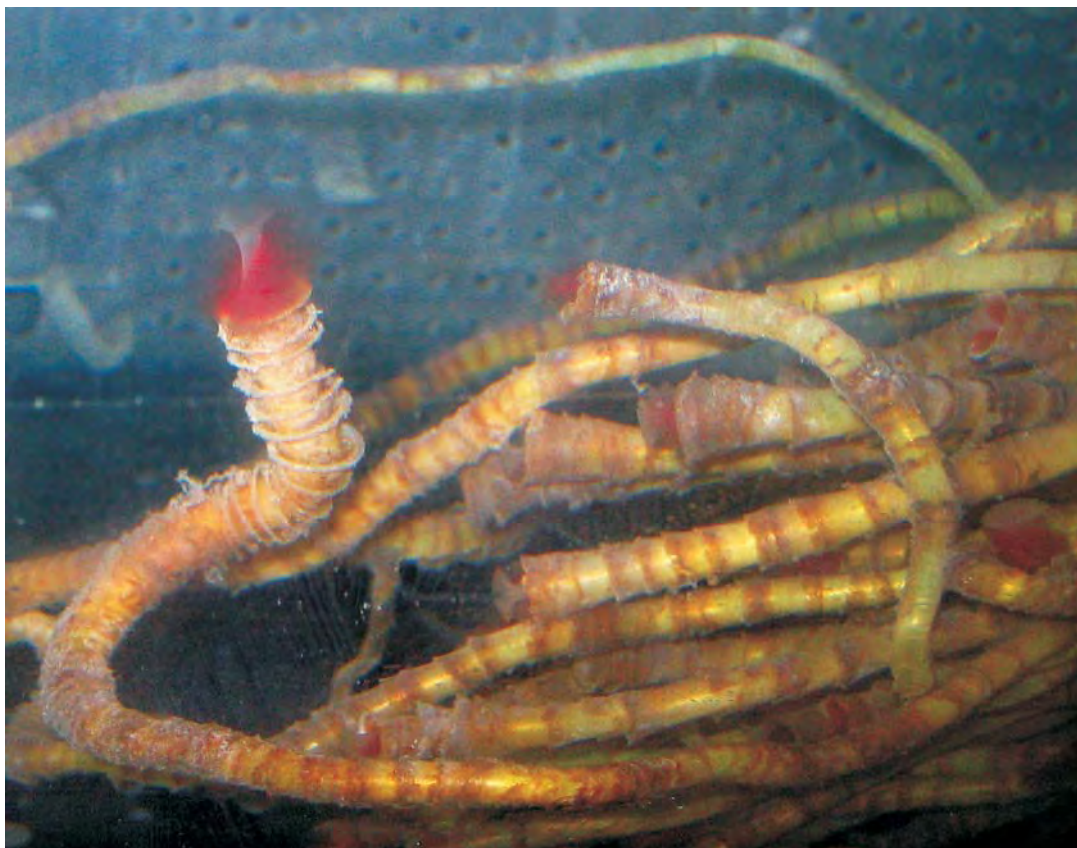
Paleontolodzy do boju!

Niemal natychmiast po odkryciu współczesnych kominów hydrotermalnych i źródeł węglowodorowych zasiedlonych przez zespoły chemosyntetyczne paleontolodzy ruszyli w teren w poszukiwaniu ich kopalnych odpowied-

ników. Szybko okazało się, że w literaturze geologicznej już wcześniej istniały opisy skamieniałości z takich zespołów. W szczególności chodzi o skamieniałości z tzw. pseudobioherm lub chemoherm. Tym ostatnim mianem określa się w literaturze geologicznej budowę węglanową, które rozwinęły się wokół źródeł węglowodorowych w wyniku anaerobowego utleniania metanu przez bakterie. Proces ten prowadzi do zwiększenia alkaliczności środowiska, co z kolei sprzyja lokalnemu wytrącaniu węglanów, wskutek czego tworzą się budowe typu pseudobioherm i chemoherm. Powstałe w ten sposób węglany można stosunkowo łatwo zidentyfikować w stanie kopalnym dzięki bardzo niskim wartościom izotopu węgla ^{13}C oraz charakterystycznym biomarkerom, które powstają podczas aktywności bakterii metanotroficznych dawnych ekosystemów chemosyntetycznych.

Przed odkryciem współczesnych zespołów ze źródeł węglowodorowych, kopalne struktury – określane obecnie jako pseudobiohermy i chemoherry – były najczęściej interpretowane jako osuwiska lub spływy podmorskie. Takiej interpretacji sprzyjała obfita fauna występująca lokalnie w tych osadach, co wyróżniało je z ubogich w skamieniałości otaczających osadów głębokomorskich. Pierwszą faunę tego typu opisano już w 1895 roku z kredowych utworów Kalifornii. Podobne zespoły stwierdzono także z Morawskich Karpat oraz z okolic Krakowa, skąd w 1957 roku Gertruda Biernat opisała zespół ramienionogów z rodzaju *Peregrinella*, który – jak się później okazało – jest typowy dla wczesnokredowych źródeł węglowodorowych. W 1967 roku w Japonii opublikowano doniesienie o znalezisku określonym jako „gęsto upakowane nagromadzenie rurkowatych skamieniałości”. Dopiero w 2003 roku skamieniałości te zostały zidentyfikowane jako rurki rurkoczułkowców...

Badania kopalnych zespołów chemosymbiotycznych nabrały niezwykłego przyspieszenia w początkach XXI w., głównie dzięki odkryciom licznych kopalnych źródeł węglo-



Współczesne rurkoczulkowce w akwarium JAMSTEC w Yokosuce, Japonia (fot. Andrzej Kaim).

wodorowych w Japonii i na pacyficznym wybrzeżu Ameryki Północnej (Little 2002, Campbell 2006).

Kopalne zespoły kominów hydrotermalnych

Zespoły kominów hydrotermalnych są niezwykle rzadkie w zapisie kopalnym (Little 2002). Znamy około 20 zawierających je stanowisk, z czego aż 9 pochodzi z sylursko-dewońskich utworów Uralu, a kolejnych sześć z górnej kredy Cypru. Dodatkowym utrudnieniem jest zazwyczaj słaby stan zachowania skamieniałości; zwykle są to odciski lub oś-

ródki zachowane w masywnych złożach siarczków metali. Cechą charakterystyczną tych zespołów jest obecność rurek, które interpretuje się jako rurki rurkoczulkowców. W skład paleozoicznych zespołów kominów hydrotermalnych wchodzi także jednotarczowce (Monoplacophora), ramienionogi bezzawiasowe z grupy lingulidów oraz bardzo nieliczne ślimaki i małże. W jedynym znanym stanowisku z jury – z Kalifornii – również dominują rurkoczulkowce, a dodatkowo pojawiają się ramienionogi zawiasowe z grupy rynchonellidów i nieliczni przedstawiciele Vetigastropoda. Górnokredowe zespoły z Cypru są również zdominowane przez rurkoczulkowce, ale poja-



Kopalne rurkoczulkowce z górnej kredy Omagari, Japonia (fot. Andrzej Kaim).

wiają się w nich także ślimaki z rodziny Provannidae. Zaskakujący w zespołach mezozoicznych jest brak małżów. Jeszcze uboższy jest skład dwóch najmłodszych, paleogeńskich zespołów z Filipin i Nowej Kaledonii, gdzie występują tylko rurkoczulkowce.

Kopalne zespoły źródeł węglowodorowych

W przeciwieństwie do kominów hydrotermalnych, zapis kopalny źródeł węglowodorowych jest dość dobry, poczynając od najwyższej jury (Campbell 2006). Wcześniejsze wystąpienia są rzadkie. Najstarsze zespoły ze źró-

deł węglowodorowych są znane z dewonu Maroka, górnego dewonu Nowady i dolnego karbonu Niemiec. Zespoły te są zdominowane przez rurki (prawdopodobnie należące do rurkoczulkowców), duże ramienionogi z grupy rynchonellidów (rodzaje *Dzieduszyckia* i *Ibergirhynchia*) oraz słabo zachowane duże małże, klasyfikowane jako modiomorfidy (wymarła grupa *Anomalodesmata*) lub solemydy. Bardzo nieliczne są ślimaki, które przypominają współczesne pleurotomarie.

Najstarszy zespół mezozoiczny odkryty w dolnej jurze Argentyny. Składa się on wyłącznie z rurek rurkoczulkowców. W oksfordzie (górna jura) Francji pojawia się pierwszy



Kopalne budowle węglanowe związane z zespołami chemosyntetycznymi tworzą w obecnej morfologii wystające ponad powierzchnię terenu ostańce erozyjne. Na górze górnokredowe osady źródła węglowodorowego w Omagari, Japonia. Na dole również górnokredowe utwory tego typu w Południowej Dakocie (fot. Andrzej Kaim).

zespół źródeł węglowodorowych, zdominowany przez małże z rodziny Lucinidae. To najwcześniejszy zespół, który można uznać za współczesny pod względem charakteru, jeśli pominiemy stałą obecność rurkoczulkowców od paleozoiku do dziś. Podobny zespół znamy z utworów najwyższej jury (piętro tytońskie) antarktycznej Wyspy Aleksandra, tam jednak pojawiają się – od razu masowo – ślimaki z wymarłej rodziny Hokkaidoconchidae, którą uważa się za grupę wyjściową dla Provannidae. Hokkaidoconchidy są bardzo charakterystycznym składnikiem kredowych zespołów Ameryki Północnej i Japonii; począwszy od cenomanu są one stopniowo wypierane przez provannidy. Zespoły z dolnej kredy, oprócz występowania hokkaidoconchidów i lucinidów, charakteryzują się również obecnością ramienionogów *Peregrinella* i dużego małża *Caspiconcha*, zaliczanego do Modiomorphidae. Wszystkie cztery wymienione grupy mają szeroki zasięg geograficzny: od Antarktydy po Grenlandię i od Japonii po Krym, Karpaty i Alpy.

W późnej kredzie znikają modiomorfidy i *Peregrinella*, a hokkaidoconchidy są zastępowane przez provannidy. Pojawiają się za to masowo pierwsze czaszki, które osiedlały się na rurkach rurkoczulkowców, liczne vetigastropody oraz masowo występujące raki dziesięcionogie, zbliżone do rodzaju *Calianassa*. Wśród małżów liczne są lucinidy, thyasiridy, solemydy i niewielkie vesicomidy. Prawdopodobnie również w tym samym czasie pojawiają się neomfalidy z rodzaju *Retiskenea*.

W paleogenie i neogenie zapis kopalny zespołów źródeł węglowodorowych jest już obfity. Z samej tylko Japonii opisano około setki stanowisk (Majima i inni 2005). Zespoły te są zdominowane przez duże małże. Oprócz lucinidów pojawiają się tu wielkie vesicomidy z rodzaju *Calypotgena* oraz omułki z rodzaju *Bathymodiolus*, a także wiele gatunków ślimaków, które są znane ze współczesnych źródeł hydrotermalnych. Jedynym dobrze rozpo-

nanym przedstawicielem neomfalidów pozostaje nadal *Retiskenea*.

Kopalne zespoły ze szkieletów kręgowców

Walenie pojawiły się w zapisie kopalnym w eocenie. Już od początku ich szczątkom towarzyszyły zespoły oparte na aktywności bakterii chemosyntetyzujących. W eocenie i oligocenie ich skład był jeszcze niespecyficzny i przypominał raczej równowiekowe zespoły z zatopionego drewna. Zespoły takie zostały opisane ze stanu Waszyngton i składały się z thyasiridów, lucinidów, omułek z rodzaju *Idas* i drapieżnego neogastropoda z rodzaju *Colus*. Sytuacja zmienia się w miocenie, kiedy pojawiły się zespoły bardzo zbliżone do współczesnych. Znamy kilka przykładów takich zespołów z Japonii i jeden z Kalifornii. Pojawiają się tam omułki *Adipicola*, vesicomidy *Vesicomya* i *Calypotgena* oraz provannidy.

Przez wiele lat zastanawiano się, czy szkielety wielkich gadów morskich z mezozoiku również mogły stanowić podstawę bytowania dla ekosystemów chemosyntetycznych. Jednak dopiero w 2006 roku odkryto w Japonii szkielet plezjozaura z wyraźnymi śladami aktywności bakteryjnej. Szkielet ten był zasiedlony przez liczne ślimaki z rodziny Provannidae (Kaim i in. 2008). W następnym roku znaleziono szkielety plezjozaurów stowarzyszone już nie tylko z provannidami, ale także z lucinidami, thyasiridami i solemydami – małżami charakterystycznymi dla zespołów chemosyntetycznych.

Kopalne zespoły z zatopionego drewna

Kluczowym wydarzeniem dla powstania ekosystemów zatopionego drewna było pojawienie się świdraków z podrodziny Xylophaginae, które potrafiły zasiedlać drewno opadłe



Omulki *Adipicola* na kości walenia z miocenu Japonii, zbiory Muzeum Historii Naturalnej w Hobetsu, Japonia (fot. Andrzej Kaim).

na dno morza. Odbłyło się to prawdopodobnie na przełomie jury i kredy. Wcześniej drewno było zasiedlane jedynie przez świdraki z podrodziny Teredininae, które preferowały drewno dryfujące lub zatopione w płytkim morzu. Najstarszy zespół z głębokowodnymi ksylofagami został niedawno opisany z kredy Japonii i składa się z tych samych taksonów, które rozpoznano w równoległych zespołach ze źródeł węglowodorowych i szkieletów plezjozaurów: przedstawicieli thyasiridów, czaszokowatych, hokkaidoconchidów, provannindów oraz vetigastropodów.

Jurajskie zespoły bezkręgowców z zatopionego drewna, znalezione przeze mnie w środkowojurajskich łożach rudonośnych w okolicach Częstochowy, nie zawierają ksylofagów. Jedynymi stwierdzonymi w nich organizmami po-

dejrzanymi o posiadanie symbiotycznych bakterii fermentujących celulozę drewna są chitony. Zupełnie inny jest skład fauny ślimakowej, w której występują przedstawiciele wymarłych grup, takich jak maturifuzidy i pommerozygidy, a w szczególności wymarły rodzaj *Cosmocerithium*, zaliczany zwykle do rodziny Eumetulidae.

Nie relikty, lecz nowe nabytki

Ponad trzydzieści lat po odkrycia pierwszego komina hydrotermalnego i jego dziwacznych mieszkańców stopniowo zaczyna wyłaniać się spójny obraz ewolucji ekosystemów chemosyntetycznych. Wydaje się, że zespoły oparte na działalności bakterii chemosyntetyzujących pojawiały się już od wczesnego pa-

Kłody zatopionego drewna (ang. *sunken wood*)

Dryfujące kłody drewna są prędzej czy później wyrzucane na brzeg lub – po nasiąknięciu wodą – opadają na dno, gdzie stanowią pokaźne źródło materii organicznej w postaci zawartej w drewnie celulozy. Niektóre organizmy morskie (małże świdraki, chitony) goszczą w swoich tkankach miękkich bakterie symbiotyczne fermentujące celulozę. Świdraki tworzą gęste kolonie w obumarłych pniach, wprowadzając do środowiska olbrzymią ilość produktów przemiany materii. Dzięki temu w niedotlenionych osadach dennych wokół pnia następuje wzbogacenie w zredukowane składniki (zwłaszcza związki siarki), które są używane przez bakterie do procesu chemosyntezy (Kiel i Goedert 2006).

leozoiku, choć pod względem składu taksonomicznego znacznie odbiegały one od zespołów współczesnych. Jedynym elementem uporczywie obecnym we wszystkich typach zespołów chemosyntetycznych są rurkoczułkowce. Trzeba jednak zaznaczyć, że ich identyfikacja w szeregu stanowisk paleozoicznych wzbudza poważne wątpliwości.

W paleozoiku i mezozoiku rurkoczułkowcom towarzyszyły liczne ramienionogi z rzędu Rhynchonellida oraz małże z rodziny Modiomorphidae, które wymarły w albie (najpóźniejsza wczesna kreda). W jurajskich ekosystemach chemosyntetycznych pojawiły się lucinidy, a w kredzie thyasiridy i małe vesicomomydy oraz provannidy. Na przełomie jury i kredy pojawiły się również głębokowodne ksylofagi, dając początek „nowoczesnym” zespołom z zatopionego drewna. Również w kredzie pojawiły się zespoły, które rozwijały się na szkieletach kręgowców. Z eocenu są znane pierwsze zespoły ze szkieletów waleni, a ukształtowanie ich obecnego składu taksonomicznego przypada na miocen. Pierwsze neomfalidy są notowane z kredy, lecz żadne stanowisko kopalne nie dostarczyło dotąd tak olbrzymiego zróżnicowania, jakie obserwuje się w zespołach współczesnych. Wydaje się, że radiacja neomfalidów mogła nastąpić stosunkowo niedawno. Poważnym problemem w jej odtworzeniu jest brak dobrze zachowanych kopalnych zespołów kominów hydrotermalnych

z paleogenu i neogenu. Poszukiwanie zawierających je stanowisk jest teraz pierwszoplanowym zadaniem paleontologów, którzy nadal zawzięcie tropią kopalne ekosystemy chemosyntetyczne.

Zapis kopalny pokazuje jednoznacznie, że zwierzęta z zespołów chemosyntetycznych nie są „żyjącymi skamieniałościami” i hipotezę Newmana (1985) o ich praprawnym rodowodzie należy zdecydowanie odrzucić. Najbar-



Skamieniałe drewno z licznymi rurkami drewnotoczy, zbiory Muzeum Historii Naturalnej w Nakagawa, Japonia (fot. Andrzej Kaim).

dziej prawdopodobna jest hipoteza, że zwierzęta tworzące współczesne zespoły chemosyntetyczne pojawiały się stopniowo i, ewoluując w kierunku form endemicznych, wypierały z nich wcześniejsze, gorzej przystosowane organizmy. Stosunkowo prosty plan budowy wielu organizmów bytujących w takich środowiskach jest najprawdopodobniej wynikiem specyficznego trybu życia, a zwłaszcza symbiozy z bakteriami chemosyntetyzującymi.

Literatura cytowana

- Campbell, K.A. 2006. Hydrocarbon seep and hydrothermal vent paleoenvironments and paleontology: Past developments and future research directions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 232: 362–407.
- Desbruyères, D., Segonzac, M., i Bright, M. 2006. *Handbook of deep-sea hydrothermal vent fauna*. 544 s. Biologiezentrum der Oberösterreichische Landesmuseum, Linz.
- Kaim, A., Kobayashi, Y., Echizenya, H., Jenkins, R.G., i Tanabe, K. 2008. Chemosynthesis-based associations on Cretaceous plesiosaurid carcasses. *Acta Palaeontologica Polonica* 53: 97–104.
- Kiel, S. i Goedert, J.L. 2006. A wood-fall association from Late Eocene deep-water sediments of Washington state, USA. *Palaios* 21: 548–556.
- Lesicki, A. 1998. Mięczaki (Mollusca) w ekosystemach opartych o chemoautotrofię. *Przegląd Zoologiczny* 42: 5–33.
- Little, C.T.S. 2002. The fossil record of hydrothermal vent communities. *Cahiers de Biologie Marine* 43: 313–316.
- Majima, R., Nobuhara, T., i Kitazaki, T. 2005. Review of fossil chemosynthetic assemblages in Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 227: 86–123.
- Newman, W.A. 1985. The abyssal hydrothermal vent invertebrate fauna. A glimpse of antiquity? *Bulletin of the Biological Society of Washington* 6: 231–242.
- Smith, C.R. i Baco, A.R. 2003. Ecology of whale falls at the deep-sea floor. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 41: 311–354.
- Van Dover, C.L. 2000. *The ecology of deep-sea hydrothermal vents*. 424 s. Princeton University Press, Princeton.

Prażaba *Czatkobatrachus polonicus* i ewolucja płazów nowożytnych

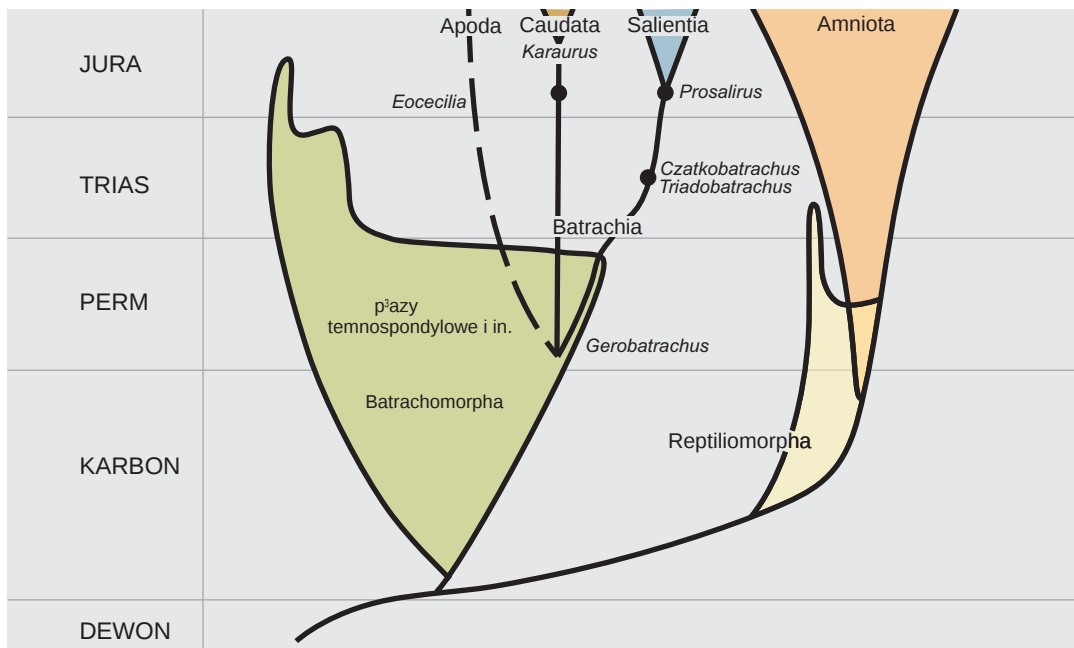
Magdalena BORSUK-BIAŁYNICKA

Żaby pojawiły się w utworach wczesnej jury jako w pełni uformowana grupa wyspecjalizowanych płazów, które różniły się pod względem konstrukcji szkieletu od wszystkich innych kręgowców. Ogromna luka oddzielająca żaby, zarówno pod względem morfologicznym jak i czasowym, od paleozoicznych czworonogów uznawanych za płazy, to w oczach kreacjonisty oczywisty dowód ich powstania w wyniku pojedynczego aktu stworzenia. Jednak paleontolodzy, obcujący niejako na co dzień z procesem ewolucji, który ujawnia się w stopniowo zappełniających się szeregach form przejściowych, wierzą że odkrycie takich brakujących ogniw jest tylko kwestią czasu. W przypadku zwierząt tak małych, jak żaby, znalezienie przodków kopalnych bywa bardzo trudne. Odkryta na terenie Polski prażaba z gatunku *Czatkobatrachus polonicus* stanowi cenne uzupełnienie wczesnego rodowodu płazów bezogonowych.

Płazy to czworonogi bezowodniowe, nie posiadające w jaju błon płodowych (m.in. owodni), które zabezpieczają zarodek, umożliwiając jego rozwój na lądzie. Są one wskutek tego częściowo uzależnione od środowiska wodnego. Z pewnością taką cechą rozrodu charakteryzowały się najwcześniejsze czworonogi. Jednak w zróżnicowanej grupie paleozoicznych czworonogów udało się, na podstawie czystej osteologii, rozpoznać dwie podgrupy, z których tylko jedna, Batrachomorpha, zasługuje rzeczywiście na miano płazów, podczas gdy druga, Reptiliomorpha (powszechnie zwana gadami), nawiązuje budową do owodniowców, chociaż nie da się powiedzieć, w którym momencie należące tu zwierzęta uzyskały błony płodowe. Rozdzielenie obu grup nastąpiło bardzo dawno, we wczesnym karbonie, ok. 340 milionów lat temu, a więc ok. 40 milionów lat po wyjściu kręgowców na ląd.

Płazy nowożytne, czyli żyjące do dziś płazy ogoniaste, bezogonowe i beznogie, znane są od wczesnej jury. Łączą je głównie cechy czaszki, części miękkich i szereg cech fizjologicznych, np. właściwości nagiej, wilgotnej skóry, która wspomaga układ oddechowy. Tylko niektóre cechy uważa się za specjalizacje odziedziczone po wyłącznym wspólnym przodku płazów ogoniastych i bezogonowych, które określane są wspólną nazwą Batrachia. Pochodzenie płazów beznogich jest wciąż przedmiotem sporów.

Przodków Batrachia upatruje się wśród permskich czworonogów zwanych płazami temnospondylowymi, a odrębne linie ogoniastych i bezogonowych oddzieliły się zapewne około połowy permu, jak to sugerują także badania molekularne. Odkryty niedawno w Teksasie wczesnopermski (sprzed ok. 280 milionów lat) rodzaj *Gerobatrachus* (Anderson i in. 2008) zasługuje na miano brakującego ogniw pomiędzy karbońskimi płazami temnospon-



Dwa główne odgałęzienia ewolucyjne czworonogów: Batrachomorpha (płazokształtne) i Reptiliomorpha (gadziokształtne) rozdzieliły się we wczesnym karbonie. Nowoczesne Reptiliomorpha, czyli Amniota (Owodniowce) znane są od późnego karbonu, natomiast nowoczesne Batrachomorpha, w tym Batrachia, od wczesnego permu.

dyłowymi a pierwszymi, całkowicie uformowanymi, jurajskimi przedstawicielami obu grup Batrachia. O ile płazy ogoniaste swoją postać i sposób poruszania się przypominają pierwotne czworonogi, to płazy bezogonowe, czyli żaby, zmodyfikowały całkowicie swą strukturę biomechaniczną.

Podstawy zabiegu ruchu

Typ przystosowawczy płazów bezogonowych kojarzy się najczęściej z przemieszczalnością skokową, chociaż nie u wszystkich jest ona równie doskonała, a niektóre nie skaczą w ogóle. Konstrukcja szkieletu żaby obejmuje

Płazy

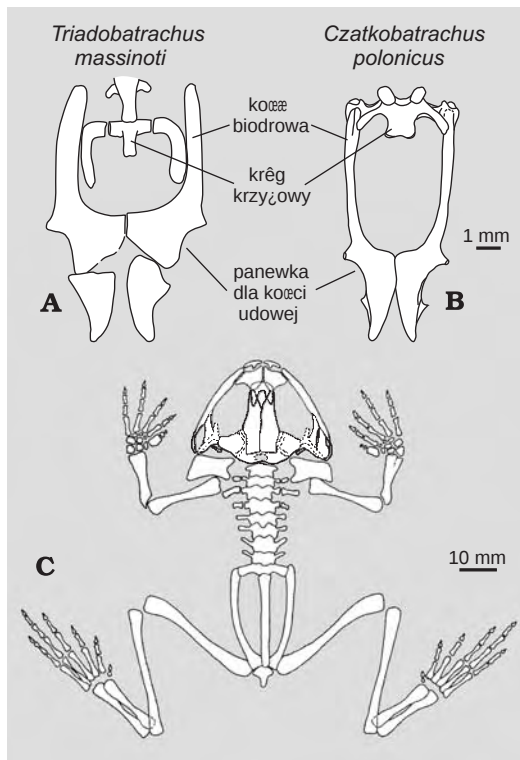
Płazy (Amphibia) to jednostka systematyczna utworzona przez Karola Linneusza w połowie XVIII wieku. W ujęciu szwedzkiego uczonego jednostka ta zawierała wszystkie zmiennocieplne czworonogi. W obecnym rozumieniu funkcjonuje ona od początku XIX wieku, obejmując przede wszystkim trzy grupy współczesnych czworonogów:

1. Płazy ogoniaste (Urodela, Caudata), do których należą m.in. salamandry i traszki,
2. Płazy bezogonowe (Anura, Salientia), czyli żaby,
3. Płazy beznogie (Apoda, Gymnophiona), do których należą wyspecjalizowane płazy strefy tropikalnej, odkryte na początku XIX wieku.

bardzo skrócony kręgosłup, w tym złane w sztywny patyk szczątkowe kręgi ogona, oraz wydłużone elementy tylnych kończyn: kość udową, złane z sobą kości podudzia, patykowate kości stępu i długą stopę. Wraz z wydłużoną kością biodrową tworzą one rodzaj sprężyny dającej napęd krótkiemu ciału. Taki obraz biomechanicznej struktury szkieletu żaby jest jednak dalece niepełny.

Od dłuższego czasu, wśród badaczy płazów bezogonowych, narasta świadomość znaczenia dla lokomocji żabiej ruchów w obrębie kręgosłupa. Są to przede wszystkim ruchy w stawie krzyżowo-biodrowym i krzyżowo-ogonowym, a więc w obrębie wspomnianego wyżej krótkiego tułowia żaby. Nie jest on już sztywną całością poruszaną sprężyną nóg, lecz aktywnym elementem lokomocji.

Kluczowe znaczenie ma tu całkowicie swoisty kształt kości biodrowej, wychylonej ku przodowi od panewki w kierunku kości krzyżowej. Wbrew analogiom ze ssakami, ustawiona w ten sposób kość biodrowa żaby nie stanowi wydłużonego ramienia mięśni uda, lecz ramię dla mięśni tułowia, które zginają i prostują grzbiet zwierzęcia. Kierunek tych ruchów, a zarazem typ lokomocji, jest determinowany przez stawy, które tworzy kość krzyżowa z sąsiadującymi kośćmi, a także system więzadeł (Emerson i Jongh 1980, Emerson 1982). U najsprawniejszych skoczków wąski koniec kręgu krzyżowego zestawia się z wąskim końcem kości biodrowej, a staw ten lokuje się w jednej osi ze stawem krzyżowo-ogonowym, tworząc idealną poprzeczną oś dla ruchów zginania i prostowania w płaszczyźnie symetrii ciała. Węzadło wiąże same końce kości. Silne zginanie kręgosłupa przed skokiem i następnie gwałtowne prostowanie go, aż do ustawienia przodu ciała w osi skoku napędzanego prostowaniem nóg (Jenkins i Shubin 1998), to istotne elementy przemieszczalności skokowej. Z kolei rozszerzone na końcach wyrostki poprzeczne kości krzyżowej sprzyjają innego typu ruchomości: ruchom bocznym kości krzyżowej

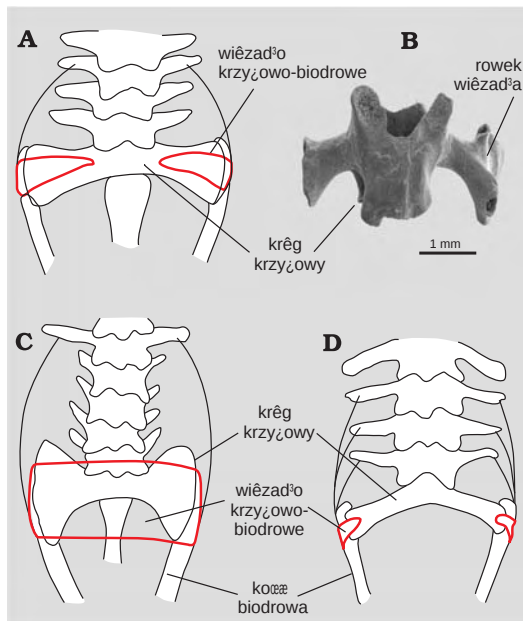


A. Miednica i kręgi krzyżowe wczesnotriasowej prażaby *Triadobatrachus massinoti* z Madagaskaru. B. Miednica i kręgi krzyżowe wczesnotriasowej prażaby *Czatkobatrachus polonicus* z Polski. C. Szkielet późnojurajskiej żaby *Eodiscoglossus santoniae* z Hiszpanii.

względem miednicy, gdy więzadło, biegnąc w poprzecznym rowku, przytwierdza się blisko osi ciała, lub ruchom przodo-tylnym kości biodrowej względem krzyżowej, jeśli więzadło obejmuje miednicę w postaci zewnętrznego bandaża, nie wiążąc ściśle ich końców (Whiting 1961).

Brakujące ogniwa

Dramatyczna przemiana ewolucyjna, jaką przeszły płazy bezogonowe w ciągu ok. 80 milionów lat, pomiędzy wczesnym permem a wczesną jurą, udokumentowana była do niedawna przez jeden tylko gatunek, *Triadobatra-*



Typy stawów krzyżowo-biodrowych u żab (wg Emerson i Jongh 1980). **A.** Wyrostki kręgu krzyżowego rozszerzone na końcach, więzadło przyczepione blisko osi ciała – typ sprzyjający ruchom bocznym kręgosłupa – krok ropuszy. **B.** Kręg krzyżowy prażaby *Czatkobatrachus polonicus* z wczesnego triasu Polski nawiązujący do poprzedniego typu. **C.** Węzadło w formie rękawa pozwalające na ruchy przodo-tylne w stawie krzyżowo-biodrowym. **D.** Typ stawu wyspecjalizowanych skoczków pozwalający na zginanie i prostowanie kręgosłupa w osi poprzecznej.

chus massinoti z wczesnego triasu Madagaskaru. Gatunek ten reprezentowany jest przez pojedynczy okaz, zachowany w postaci naturalnego odlewu (Piveteau 1936). *Czatkobatrachus polonicus* odkryty w latach dziewięćdziesiątych we wczesnotriasowych utworach krasowych w kamieniołomie Czatkowice koło Krakowa, jako drugi w świecie, dokumentuje ten przejściowy etap filogenezy płazów bezogonowych (Evans i Borsuk-Białynicka 1998). W odróżnieniu od swego madagaskarskiego krewniaka *Czatkobatrachus* reprezentowany jest przez oddzielne elementy szkieletu, które jednak występują w wielu egzemplarzach i do-

brze zachowują swe trójwymiarowe kształty, w sposób istotny wzbogacając naszą wiedzę o przebiegu ewolucji w tej grupie.

Oba rodzaje mają typową dla płazów bezogonowych miednicę o zwróconej ku przodowi gałęzi kości biodrowej. U *Triadobatrachus* kręgosłup przedkrzyżowy jest skrócony do 14 kręgów (6–9 u dzisiejszych żab, 19–24 u najbliższych spokrewnionych płazów paleozoicznych). Podobnie skrócony był on zapewne u *Czatkobatrachus*, na co wskazuje podobny stan redukcji kręgów ogonowych u obu rodzajów. Ewolucja szkieletu tułowia w historii rodowej płazów bezogonowych wyprzedza zdecydowanie ewolucję samych kończyn, które zachowują pierwotne proporcje i budowę podramienia, podudzia i stępu. Sugeruje to, że praca tułowia odegrała rolę wiodącą w ewolucji aparatu ruchowego, a przejście z esowatych ruchów bocznych na zgięcia i wyprosty w płaszczyźnie symetrii ciała były elementem tych przemian.

Globalne prażaby

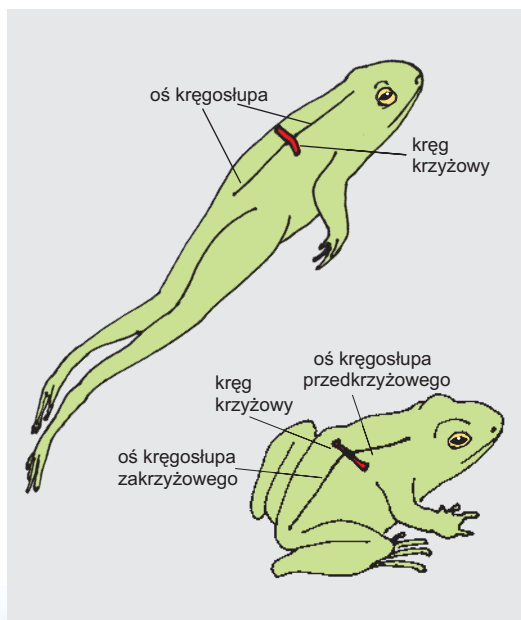
Odkrycie *Czatkobatrachus* wskazuje na globalne rozprzestrzenienie prażab we wczesnym triasie, co jest zgodne z oczekiwaniami w związku z zoogeograficzną jednolitością superkontynentu Pangea. Szeroki zasięg geograficzny prażab sugeruje stosunkowo dużą ich liczebność i prawdopodobieństwo zróżnicowania. Trudno sobie bowiem wyobrazić, aby tak blisko spokrewnione, i w żadnej mierze nie reliktywne formy, rozmieszczone były punktowo w tak wielkiej odległości. Oba rodzaje, *Triadobatrachus* i *Czatkobatrachus*, przy swych wszystkich podobieństwach, reprezentują dwa różne typy środowiskowe. Ten pierwszy jest formą wodną, o słabo wykształconym stawie krzyżowo-biodrowym i stosunkowo krótkich kończynach. Ten drugi to zwierzę lądowe o kości udowej wydłużonej w stopniu przypominającym dzisiejszą ropuchę, o bardzo silnie skostniałych nasadach kości, silnie wydłużonej kości biodro-

Prażaba z Czatkowic

Prażaba z gatunku *Czatkobatrachus polonicus* została odkryta w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku we wczesnotriasowych utworach krasowych kamieniołomu Czatkowice koło Krakowa (Evans i Borsuk-Białynicka 1998). Jest to drugi w świecie i pierwszy z północnej półkuli gatunek kopalny wypełniający trwającą ok. 80 mln lat lukę w historii rodowej płazów bezogonowych (Salientia). Zachowane części szkieletu dowodzą, że było to zwierzę ok. 5 cm długości, o skróconym kręgosłupie, które poruszało się naprzemiennym krokiem „ropuszym”, było jednak zdolne do wykonywania niewielkich skoków.



Rekonstrukcja *Czatkobatrachus polonicus* (rysunek K. Sabbath, za zgodą redakcji „Świata Nauki”).



Oś kręgosłupa zgięta przed skokiem prostuje się w trakcie skoku żaby, wskutek czego przednia część tułowia ustawia się w osi działania siły napędowej nóg (uproszczona wersja rysunku Jenkinsa i Shubina 1998: fig. 11).

wej i wyrafinowanej budowie stawu krzyżowo-biodrowego. Zwierzęta te ilustrują przypuszczalnie tylko niewielki fragment zmienności prażab i nie dają odpowiedzi na nurtujące pokolenia badaczy pytanie, czy architektura szkieletu żaby powstała w wodzie, czy na lądzie.

Rozszerzone przodo-tylnie zakończenie wyrostka kości krzyżowej nosi ślad poprzecznego więzadła krzyżowo-biodrowego, które przyczepiało się blisko osi ciała. Jest to jeden z najcenniejszych elementów ujawnionych przez materiał z czatkowickiego krasu. Ten typ więzadła wskazuje na zdolność *Czatkobatrachus* do ruchów bocznych przedkrzyżowej części ciała względem usztywnionej części biodrowej, a więc i naprzemienne używanie kończyn. Typ lokomocji był jednak mieszany, bo wydłużenie kości biodrowej i udowej wskazuje na zdolność do niewielkich skoków, metodą obustronnie synchronicznych ruchów.

Mozaikowość strukturalną *Czatkobatrachus* ilustruje także budowa obręczy barkowej, która zdecydowanie różni się od wyspecjalizowanej obręczy płazów bezogonowych, zachowując raczej postać prymitywną właściwą płazom

ogoniastym. W odróżnieniu od dzisiejszych żab panewka stawu barkowego *Czatkobatrachus* jest zwrócona zdecydowanie do zewnątrz, co odpowiada bardziej rozstawionym na boki i przesuniętym do przodu kończynom. Wraz z silnym skostnieniem stawów barkowego i łokciowego może to świadczyć o dużym znaczeniu podporowej roli kończyn przednich. Taka pozycja koresponduje z hipotezą znanych amerykańskich paleontologów Gansa i Parsonsa (1966) dotyczącą okoliczności przejścia płazów pra-bezogonowych z naprzemiennych na symetryczne ruchy kończyn i związany z tym problem zmiany koordynacji nerwowej mięśni. Według tej koncepcji zwierzęta te miały czaić się na przelatujące owady, a następnie rzucać się w kierunku ofiary nagłym ruchem tylnych kończyn, wspierając przód ciała na kończynach przednich. Hipoteza ta pozostaje wciąż jedną z wielu prób odtworzenia adaptacyjnych warunkowań ewolucji tej grupy płazów.

Literatura cytowana

- Anderson, J.S., Reisz, R.R., Scott, D., Fröbisch, N.B. i Sumida, S.S. 2008 A stem batrachian from the Early Permian of Texas and the origin of frogs and salamanders. *Nature* 453: 22: 515–518.
- Emerson, Sh.B. 1982. Frog postcranial morphology: Identification of a functional complex. *Copeia* 1982: 603–613.
- Emerson, Sh. B i De Jongh, H.J. 1980. Muscle activity at the ilio-sacral articulation of frogs. *Journal of Morphology* 106: 1–76.
- Evans S.E. i Borsuk-Białynicka, M. 1998. A stem-group frog from the Early Triassic of Poland. *Acta Palaeontologica Polonica* 43: 573–580.
- Gans, C. i Parsons, Th.S. 1966. On the origin of the jumping mechanism in frogs. *Evolution* 20: 92–99.
- Jenkins, F. Jr i Shubin, N. 1998. *Prosalirus bitis* and the anuran caudopelvic mechanism. *Journal of Vertebrate Paleontology* 18: 495–510.
- Piveteau, J. 1936. Origine et evolution morphologique des Amphibiens Anoures. *Comptes Rendues de l'Academie des Sciences Paris* 203: 1084–1086.
- Whiting, H.F. 1961. Pelvic girdle in amphibian locomotion. *Symposium Zoological Society of London* 5: 43–57.

Karol Sabath: W pierwszą rocznicę śmierci

Wystawa w Muzeum Ewolucji

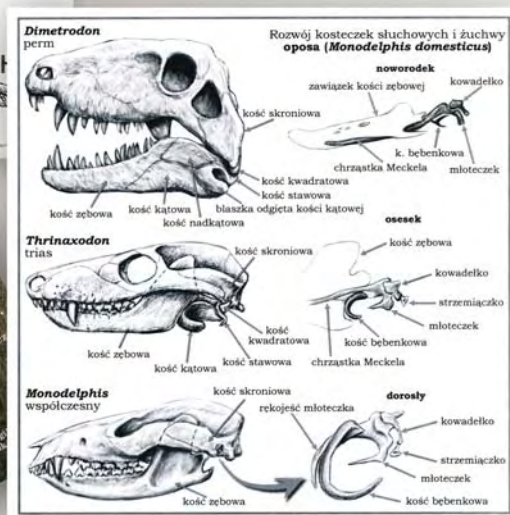
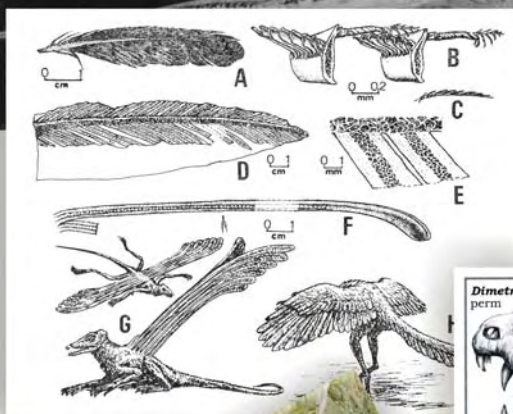


Wystawa została wykonana w Muzeum Ewolucji Instytutu Paleobiologii PAN pod patronatem Komitetu Zoologii PAN

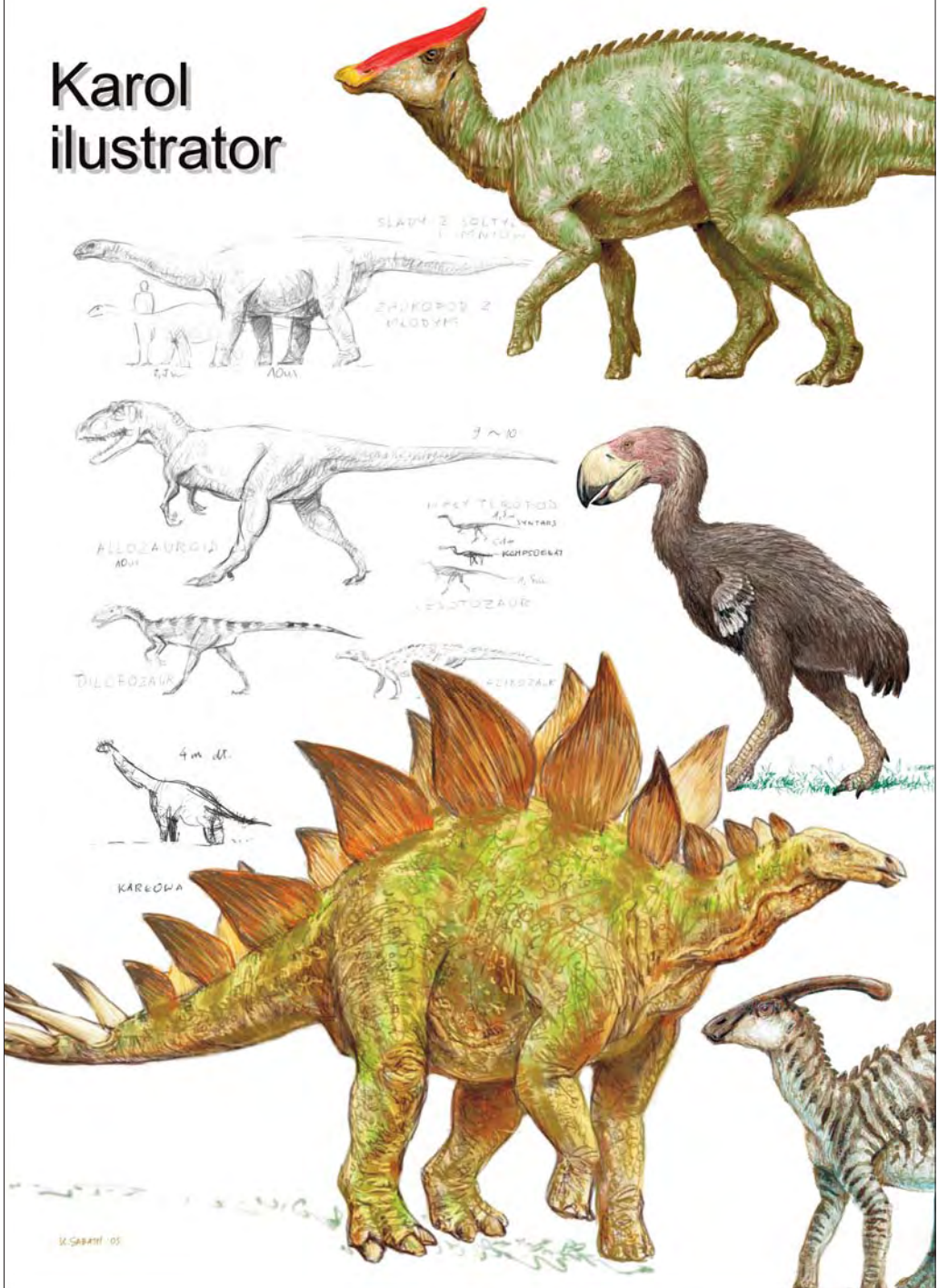
Autorzy: Marcin Machalski oraz Aleksandra Hołda-Michalska

Za przekazane materiały fotograficzne i graficzne dziękujemy Katarzynie Adamali, Marcie Szubert oraz Gerardowi Gierlińskiemu. Dziękujemy również wszystkim innym osobom, które przyczyniły się do powstania tej wystawy.

Karol ilustrator

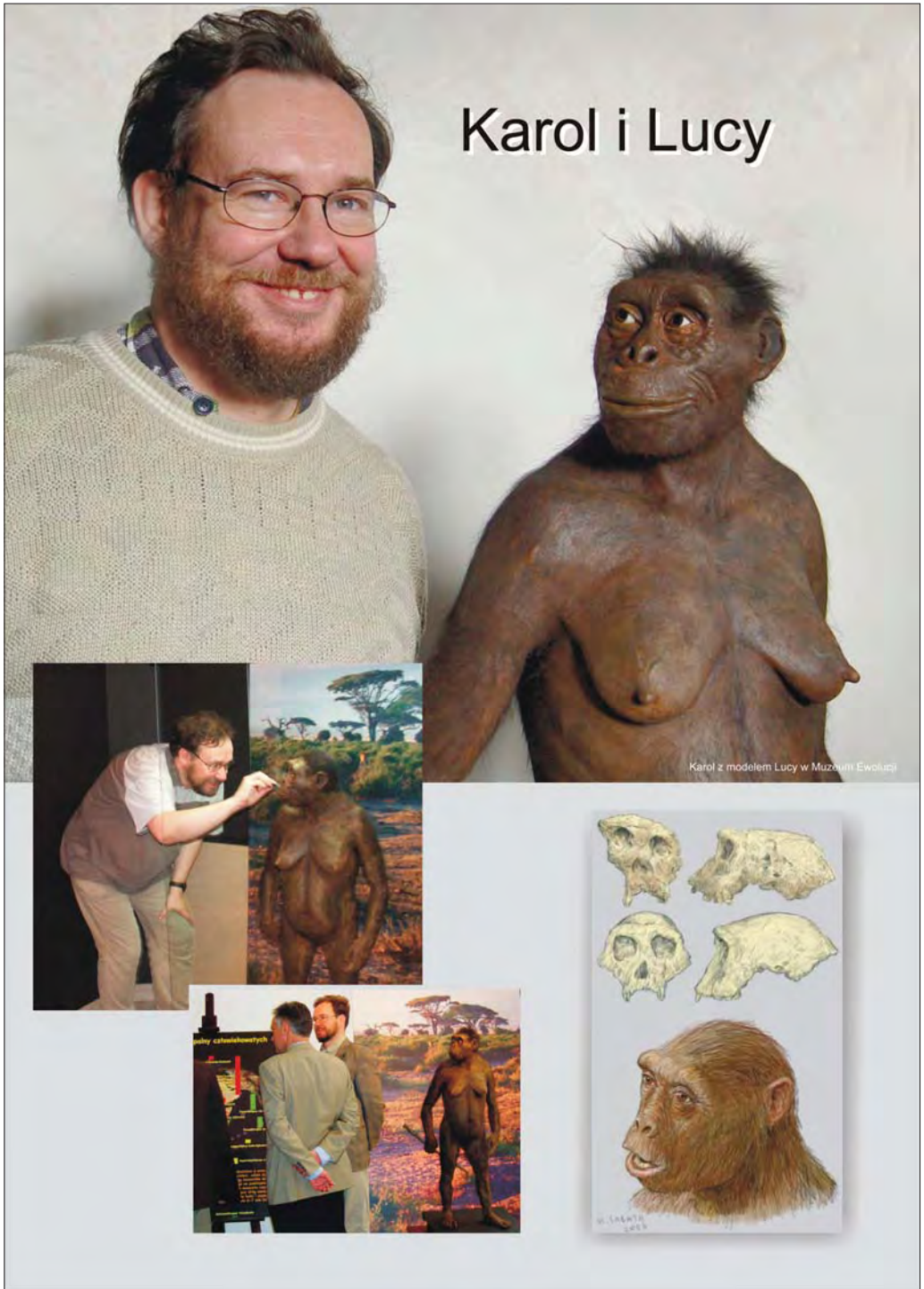


Karol
ilustrator





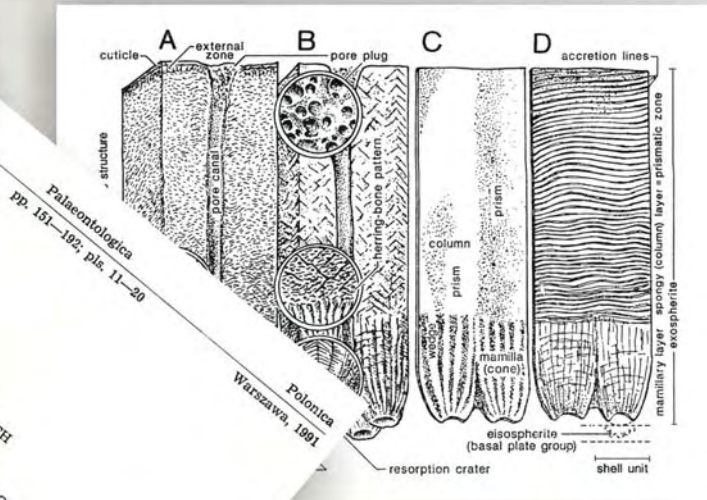




Karol i jaja



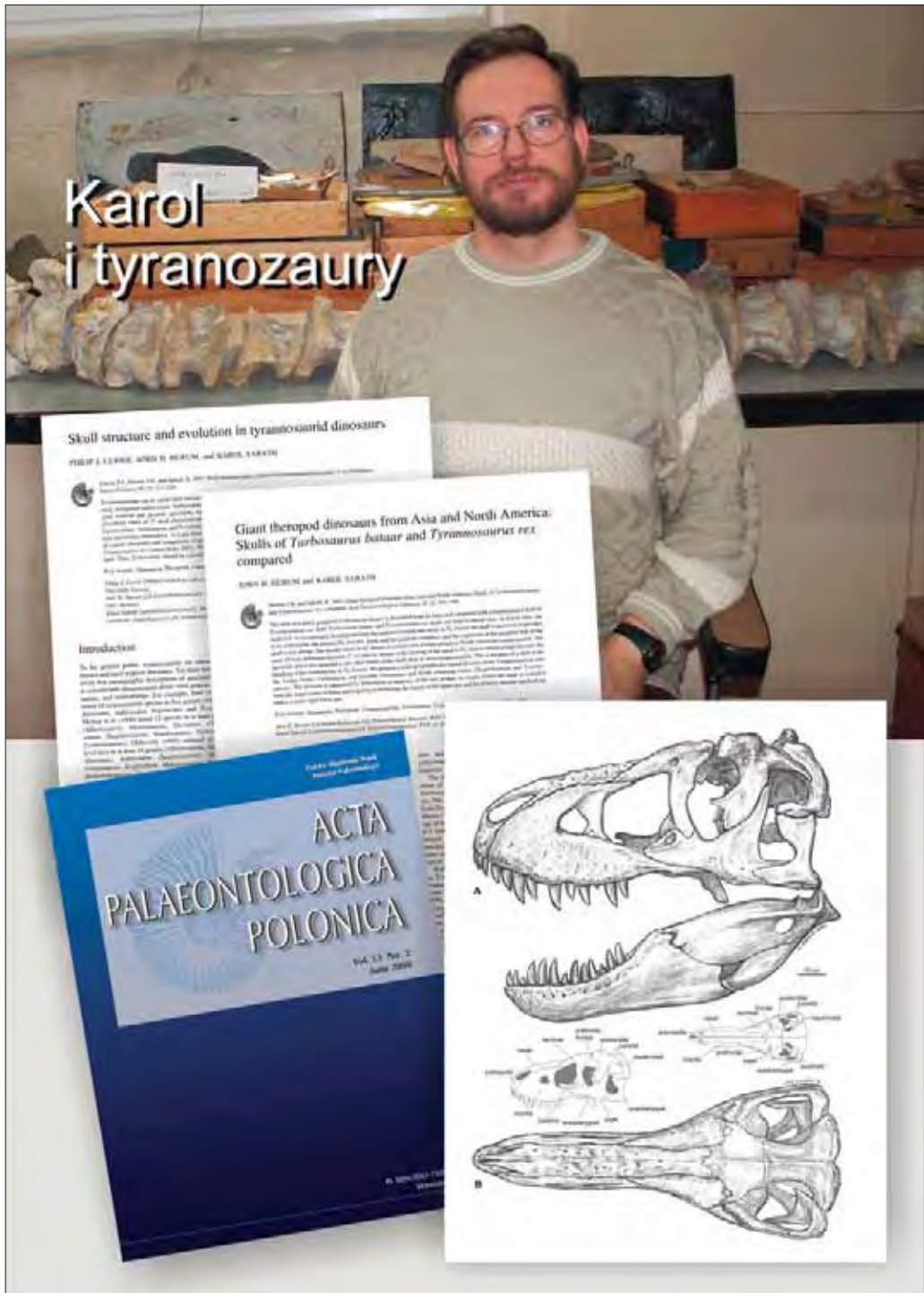
owiraptor na jajach



typy mikrostruktur jaj dinozaurów

KAROL SABATH
UPPER CRETACEOUS AMNIOTIC EGGS FROM THE GOBI DESERT
Palaeontologica
pp. 131-194, pls. 11-20
Warszawa, 1991





Autorzy



Magdalena Borsuk-Białynicka

Instytut Paleobiologii PAN
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Polska
e-mail: borsuk.b@twarda.pan.pl



Elena A. Jagt-Yazykova

Uniwersytet Opolski, Wydział Przyrodniczo-Techniczny
ul. Oleska 22, PL-45 052 Opole, Polska
e-mail: eyazykova@uni.opole.pl



John W.M. Jagt

Natuurhistorisch Museum Maastricht (SCZ),
de Bosquetplein 6-7, NL-6211 KJ Maastricht, the Netherlands
e-mail: john.jagt@maastricht.nl



Andrzej Kaim

Instytut Paleobiologii PAN
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Polska
e-mail: kaim@twarda.pan.pl



Wojciech Mikołuszko

dziennikarz naukowy
e-mail: mikoluszko@poczta.fm



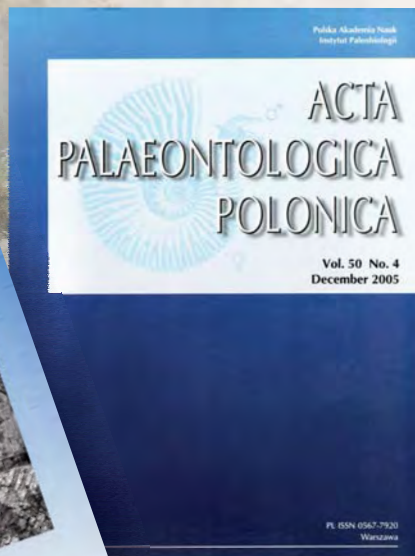
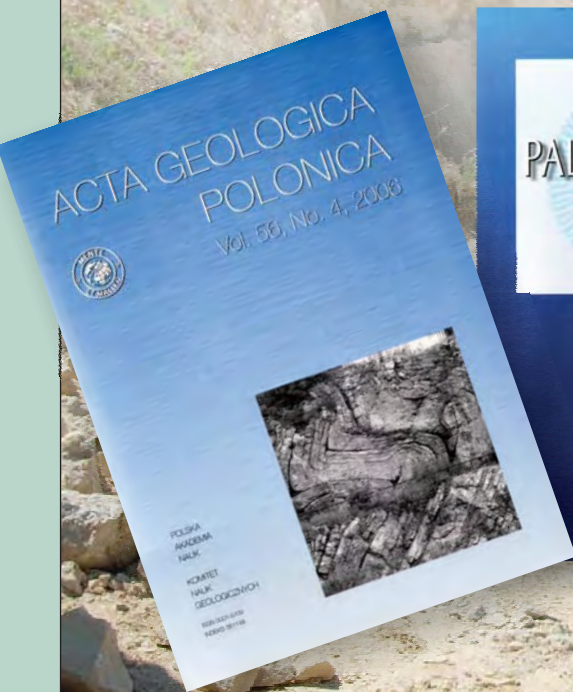
Marcin Ryszkiewicz

Muzeum Ziemi PAN
Aleja na Skarpie 20/26, 27, 00-488 Warszawa, Polska
e-mail: Marcin.Ryszkiewicz@agora.pl



Adam Urbanek

Instytut Paleobiologii PAN
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Polska
e-mail: urbanek@twarda.pan.pl



**Acta
Palaeontologica
Polonica**

**Acta
Geologica
Polonica**

**Przypuszczalnie najlepsze
czasopisma w swojej klasie ...**

stylostudio

pracownia rzeźb i projektów

ul. Bekasa 1/19

44-100 Gliwice

tel: 032 725 18 54

tel.kom: 0 664 964 797

e-mail: studio@stylostudio.com

www.stylostudio.com



Makiety i dioramy



Rzeźby edukacyjne

Lejek grawitacyjny - skarbonka



Koncepcje i projekty zagospodarowania przestrzeni





Spis treści

• Od redaktora	3
<i>Marcin Ryszkiewicz</i>	
• Coraz mniej brakujących ogniw	4
<i>John W.M. Jagt i Elena Jagt-Yazykova</i>	
• Morskie gady z Maastricht, czyli o współpracy między amatorami, naukowcami i mediami	13
<i>Wojciech Mikołuszko</i>	
• O powstawaniu artykułów popularnonaukowych drogą doboru naturalnego	20
<i>Adam Urbanek</i>	
• Ewolucjonizm: teoria naukowa i pogląd na świat	23
<i>Andrzej Kaim</i>	
• Ekosystemy chemosyntetyczne i ich zapis kopalny	32
<i>Magdalena Borsuk-Białynicka</i>	
• <i>Czatkobatrachus polonicus</i> i ewolucja płazów nowożytnych	45
• Karol Sabbath: W pierwszą rocznicę śmierci wystawa w Muzeum Ewolucji	51
• Autorzy	60

Rekonstrukcja szkieletu drapieżnego dinozaura *Tarbosaurus bataar*, późna kreda, pustynia Gobi, Mongolia (fot. Marian Dziewiński)

redakcja:

Marcin Machalski

projekt artystyczny:

Andrzej Baliński

Aleksandra Hołda-Michalska

Marcin Machalski

Aleksandra Szmielew

skład:

Aleksandra Szmielew

druk:

Piotr Ciesielski

Usługi Poligraficzne i Wydawnicze

wydawca:

Instytut Paleobiologii PAN

ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

www.paleo.pan.pl; paleo@twarda.pan.pl

nakład:

300 egz.

© Instytut Paleobiologii PAN