

# Algorytm przyrody

JAROSŁAW TYSZKA

Instytut Nauk Geologicznych, Kraków  
Polska Akademia Nauk  
ndtyszka@cyf-kr.edu.pl

PAWEŁ TOPA

Katedra Informatyki, Kraków  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
topa@agh.edu.pl

**Gdy obserwuje się niezwykle piękne, misterne skorupki otwornic, rodzi się pytanie, jak one to robią. Otóż tak jak architekturą budową ich szkieletów rządzi prosta matematyka. Kiedy odkryje się kluczową zasadę, można hodować je w komputerze**

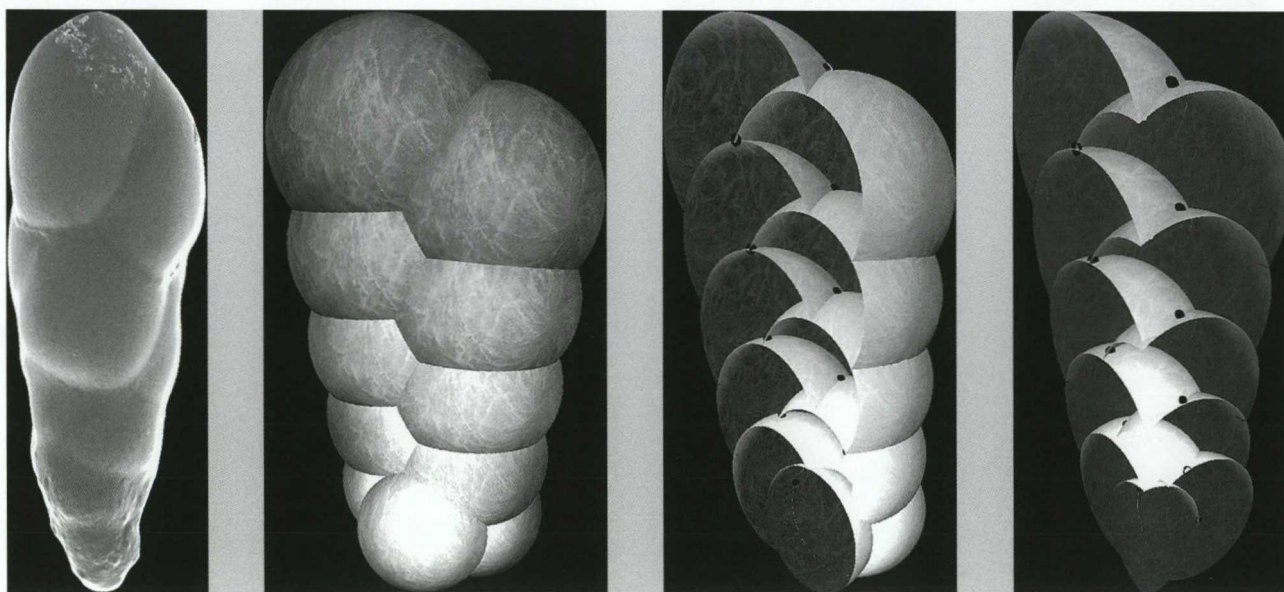
Kości dinozaurów, mamutów, odciski trylobitów, muszle amonitów... Pasjonujemy się skamieniałościami dużych organizmów, zapominając o nieprzebranych skarbach mikroskopijnej wielkości. Otwornice to organizmy jednokomórkowe należące do pierwotniaków. Choć niektóre osiągają 20 centymetrów, większość nie przekracza dziesiątych części milimetra. Są typowymi mikroskamieniałościami znajduwanymi w drobnoziarnistych osadach po-

chodzenia morskiego, zarówno starych, jak i współczesnych. Otwornice istnieją od 600 milionów lat i występują we wszystkich strefach klimatycznych, w morzach i oceanach o każdej głębokości - od lagun i estuariów po głębiny oceanów. Niewielka próbka osadu, jeden centymetr sześcienny, może zawierać dziesiątki, setki, a nawet tysiące ich skorupek.

Prawie 200 lat badań nad otwornicami kopalnymi i współczesnymi pozwoliło zebrać dane opisowe ok. 3,6 tys. rodzajów oraz ponad 60 tys. gatunków. To niezwykle zróżnicowanie form charakterystycznych dla pewnych okresów i regionów sprawia, że analiza otwornic w danym osadzie pozwala uzyskać rzetelną informację na temat czasu geologicznego i warunków środowiska. Obecnie trudno wyobrazić sobie badania paleoceanograficzne czy poszukiwanie złóż ropy i gazu bez analizowania otwornic.

## Klucz do skorupki

Mikropaleontolodzy i biolodzy starali się klasyfikować to bogactwo odmian, tworząc grupy systematyczne na podstawie podobieństw składu i morfologii skorupki. Ostatnie lata umożliwiły weryfikowanie tych systematyk za pomocą technik biologii molekularnej. Okazuje się, że wiele podziałów i hipotez opartych na samej budowie skorupki mija się z prawdą, a związek morfologii z informacją



Jarosław Tyszka, Paweł Topa

Program eForams to wirtualna hodowla otwornic. Potrafi wiernie odtwarzać strukturę ich szkieletów za pomocą zależności matematycznych

zapisaną w genach jest nieznaną. Nie wiemy, które geny odpowiadają za kształt skorupki otwornic. Poznanie procesów, które to warunkują, jest kluczowym celem badań nad tymi organizmami.

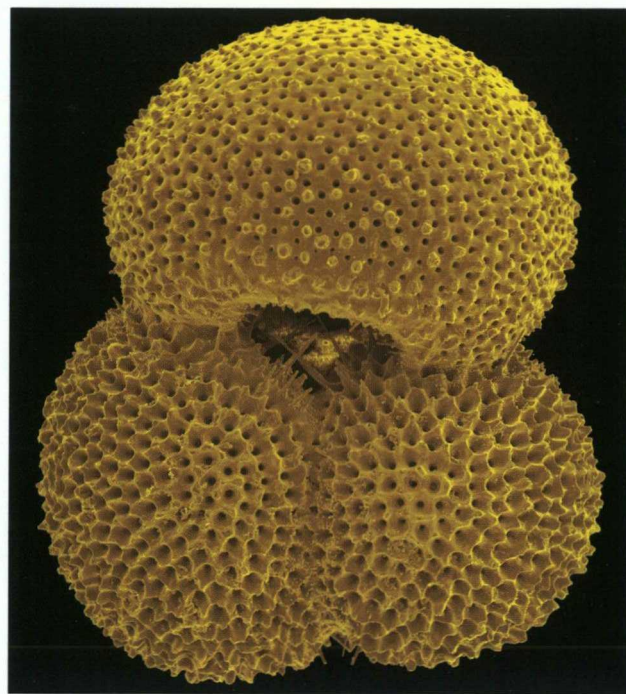
Większość organizmów w trakcie wzrostu osobniczego zwiększa swoje rozmiary. Nie jest to takie proste, jeśli organizm ma sztywny, mineralny szkielet. Jednak otwornice świetnie sobie z tym radzą, dobudowując do istniejącego szkieletu dodatkowe elementy w postaci kolejnych komór lub przedłużając istniejące rurkowate komory na podobieństwo muszli ślimaków czy małży. Ten wzrost może przebiegać według bardzo różnych schematów. Na przykład u otwornic wielokomorowych poszczególne komory mogą wzrastać spiralnie, jednoseryjnie (komory ułożone w jednym rzędzie), dwuseryjnie (w dwóch rzędach), trójseryjnie lub też mogą zmieniać nagle sposób wzrostu, dajmy na to z trójseryjnego na dwuseryjny. Co tym wszystkim rządzi? Odpowiedzi na to pytanie może udzielić model teoretyczny opracowany na podstawie obserwacji empirycznych.

Pierwszy model wzrostu otwornic opisał Wolfgang H. Berger w 1969 roku. Jego wirtualne, dwuwymiarowe muszle wzrastały poprzez dodawanie w powtarzalny sposób kolejnych okręgów. W miarę wzrostu komory były obracane, powiększane i przesuwane według określonych parametrów, powiązanych ze stałym punktem odniesienia w postaci „środka otwornicy”. W efekcie powstawały dwuwymiarowe, a później trójwymiarowe wirtualne otwornice o regularnych kształtach, przypominające spiralne formy prawdziwych otwornic. Model ten, podobnie jak późniejsze modele wielu innych autorów, nie potrafił jednak symulować form o zmiennych wzorach wzrostu. Przyczyna była dość trywialna. Mianowicie zapomniano o podstawowym elemencie skorupki otwornicy, jakim jest ujście.

### Od otworu do otworu

Ujście, czyli otwór lub seria otworów w szkielecie otwornicy, zostało uwzględnione w łacińskiej nazwie tej grupy organizmów: *Foraminiferida* – w języku łacińskim *foramen* to *otwór*. Właśnie ujścia wydały nam się elementem kluczowym, decydującym o sposobie dobudowywania komór, bo kolejna komora tworzona jest właśnie tam, gdzie znajduje się ujście. Większość otwornic, zarówno wapiennych, jak i aglutynujących, stara się minimalizować odległości pomiędzy kolejnymi ujściami. Ta grupa jest pierwszym celem naszych badań.

Teoretyczne zdefiniowanie ujścia stało się możliwe dzięki zmianie układu odniesienia. W miejsce stałego odniesienia dla wszystkich komór w postaci osi lub punktu środkowego wprowadziliśmy układ ruchomy, w którym ujście poprzedniej komory automatycznie staje się punktem odniesienia dla następnej. Taki system jest bardziej zgodny z regułami obowiązującymi w przyrodzie. Wyznaczenie każdego kolejnego ujścia to rzecz dość prosta geometrycznie,



Photolake/BC&W

**Otwornice to mikroskopijne organizmy jednokomórkowe budujące niezwykle skomplikowane i zróżnicowane szkielety**

polegająca na znalezieniu najkrótszej odległości pomiędzy starym ujściem a powierzchnią nowej komory.

Implementacja tej zasady w postaci programu komputerowego umożliwia generowanie form geometrycznych naśladujących kształt i proces wzrostu szkieletu otwornic. Powstało kilka takich programów, odtwarzających całe spektrum morfotypów otwornic wielokomorowych. Najistotniejsza jest możliwość symulacji form regularnie lub nieregularnie zmieniających sposób dobudowywania komór. Program umożliwia interaktywną zmianę wielu parametrów, obracanie symulacji otwornic w przestrzeni trójwymiarowej oraz wykonywanie przekrojów pozwalających zajrzeć do ich wnętrza.

Mimo że prezentowany model opiera się na podstawach biologicznych, wciąż jest modelem geometrycznym, o parametrach definiowanych za pomocą kątów i współczynników. Ostatecznym celem badań jest opracowanie modelu trzeciej generacji, który uwzględni fakt, że forma szkieletu otwornicy jest uzależniona od samoorganizacji cytoszkieletu komórki kontrolowanej przez genotyp i wpływ środowiska. Najciekawsze odkrycia są wciąż przed nami. ■

#### Chcesz wiedzieć więcej?

Tyszka J. (2006). Morphospace of foraminiferal shells: results from the moving reference model. *Lethaia*, 39 (1), 1–12.

Tyszka J., Topa P. (2005). A new approach to modeling of foraminiferal shells. *Paleobiology*, 31 (3), 526–541.

eForams – VirtualLab of Foraminiferal Morphogenesis: <http://eforams.icsr.agh.edu.pl/index.php/VirtuaLab>.