

Głony na służbie u koralowców



MIKOŁAJ K. ZAPALSKI

Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski
m.zapalski@uw.edu.pl

Dr Mikołaj Zapalski zajmuje się koralowcami kopalnymi i współczesnymi oraz odczytywaniem interakcji międzygatunkowych w zapisie kopalnym. Jest laureatem nagrody naukowej Wydziału III Nauk Ścisłych i Nauk o Ziemi PAN z 2012 r.

Mają zazwyczaj mniej niż centymetr średnicy. A jednak potrafią zbudować kilkumetrowe kolonie. Jak to robią koralowce i jaki udział w tym mają jednokomórkowe glony?

Tak wielkie kolonie koralowców jak te *Acropora* widoczne na zdjęciu są charakterystyczne dla koralowców fotosymbiotycznych. Ziarnistość zdjęcia jest spowodowana dużą ilością planktonu. Rafa Black Tip, Park Narodowy Wysp Daymaniyat, Oman. Głębokość ok. 12 metrów

M. Zapalski (2)


Spośród wszystkich ekosystemów istniejących na Ziemi rafy koralowe uchodzą za najbardziej złożone. Największe występują pomiędzy zwrotnikami, w płytkich i ciepłych wodach o pełnym zasoleniu (czyli powyżej 35‰). Wielka Rafa Koralowa u wschodnich wybrzeży Australii rozciąga się na przestrzeni ponad 2000 kilometrów, a miejscami osiąga szerokość ponad 200 kilometrów. Nie jest strukturą litą, składa się z wielu (ponad 3000) atoli i raf i jest największą strukturą biogeniczną na Ziemi.

Głównymi konstruktorami raf są koralowce, ale istotną rolę grają również gąbki i glony wytwarzające szkielet wapienny. Szkielet koralowców również jest zbudowany z węglanu wapnia. Choć część koralowców jest osobnicza, w większości są one jednak zwierzętami kolonijnymi. Nimi zajmę się w tym artykule.

Szybkość fotosyntetyczna

Kolonie mają różne rozmiary, niekiedy osiągają średnicę kilku metrów, jednak wymiary pojedynczych osobników rzadko przekraczają centymetr średnicy. Koralowce tworzą szkielet zewnętrzny, który jest pokryty cienką „skórką” tkanek miękkich. Odkładają kolejne warstewki szkieletu poniżej swego ciała i tak następuje przyrost kolonii.

Jak to się dzieje, że tak drobne organizmy są zdolne do budowania tak wielkich struktur? Koralowce budują swój szkielet, „wychytując” jony wapnia oraz jony wodorowęglanowe, powstałe w wyniku dysocjacji kwasu węglowego tworzonego w wyniku rozpuszczania dwutlenku węgla w wodzie morskiej. Sekretom dominacji koralowców w budowlach rafowych jest ich symbioza koralowców z glonami, w tym konkretnym przypadku zwana fotosymbiozą. Wśród dzisiejszych koralowców spotykamy głównie symbiotyczne bruzdnice z rodzaju *Symbiodinium*, które nazywamy zook-



Płaskie i krzaczaste kolonie koralowców działają jak „panel słoneczny”, przez co znacznie ułatwiają glonom symbiotycznym fotosyntezę, a w konsekwencji szybką budowę szkieletów. Rafa Tatawa Besar, Park Narodowy Komodo, Indonezja. Głębokość ok. 3 metrów

santellami. Lokują się one w tkankach gospodarza, gdzie przy obecności światła przeprowadzają fotosyntezę. W jej trakcie glony pobierają dwutlenek węgla, który znajduje się w mikrośrodowisku wokół tkanek koralowca. W rezultacie lokalnie spada jego stężenie, a co za tym idzie, również ilość kwasu węglowego. To zaś powoduje, że poziom zasadowości wody wokół koralowca rośnie na tyle, że budowa węglanowego szkieletu jest dużo szybsza niż bez współpracy. Badania prowadzone na koralowcach nieposiadających glonów symbiotycznych (czyli koralowcach bezzoksantellowych) pokazały, że roczne przyrosty szkieletu np. u *Balanophyllia regia*, koralowca z umiarkowanych wód Atlantyku, wynoszą niespełna 2 milimetry rocznie, podczas gdy u koralowców fotosymbiotycznych roczne przyrosty wynoszą zazwyczaj kilkanaście do dwudziestu kilku milimetrów rocznie. Różnica w tempie przyrostu jest więc nawet dziesięciokrotna. Można zatem powiedzieć, że rafa rosną dzięki jednokomórkowym glonom.

To ostatnie stwierdzenie da się jeszcze rozszerzyć, gdyż oddziaływanie glonów nie dotyczy samego wzrostu szkieletu. Badania wykazały, że glony „dzieli się” z koralowcem wyprodukowanymi w procesie fotosyntezy substancjami organicznymi, pokrywając nawet 90% jego zapotrzebowania energetycznego. Jaka jest korzyść dla glona? Koralowiec zapewnia mu przede wszystkim schronienie, dostarcza (niemal bezpośrednio) dwutlenek węgla pochodzący z oddychania oraz produkty przemiany materii (głównie azotany). Korzyść jest zatem obopólna.

Praktyka sprzed milionów lat

Rafy koralowe są strukturami powstającymi na przestrzeni setek tysięcy, a nawet milionów lat. Można zatem zadać pytanie, jak dawno powstała fotosymbioza, jak stary jest związek koralowców z glonami. Jest ono o tyle istotne, że pierwsze duże rafy budowane przy współdziałaniu koralowców pojawiły się na Ziemi już w późnym ordowiku, czyli ok. 460 milionów lat temu. Niestety, komórki glonów symbiotycznych nie zachowują się w stanie kopalnym, dlatego dowodów pośrednich należy szukać w skamieniałych szkieletach ich potencjalnych gospodarzy.

Najstarsze rafy różniły się znacznie od współczesnych. Budowane były głównie przez mikroorganizmy oraz gąbki, udział koralowców był mniejszy niż w rafach współczesnych. Gromadę koralowców dzielimy na trzy podgromady: *Scleractinia*, *Rugosa* i *Tabulata*. Te pierwsze (inaczej zwane też sześciopromiennymi), które budują współczesne rafy, powszechnie pojawiły się dopiero w triasie (ok. 240 milionów lat temu). Ich wcześniejszy zapis kopalny jest niejasny, jednak sądzi się, że są dużo starsze i żyły równolegle z przedstawicielami dwóch pozostałych grup. Koralowce raf paleozoicznych były inne od współczesnych *Scleractinia* – należały do dwóch wymarłych 250 milionów lat temu podgromad *Rugosa* i *Tabulata*. Koralowce *Rugosa* były nieco podobne do współczesnych, natomiast *Tabulata* to organi-

zmy wyłącznie kolonijne, charakteryzujące się obecnością poziomych elementów szkieletowych – denek (stąd ich polska nazwa: denkowce). Można zatem powiedzieć, że około 250 milionów lat temu nastąpiła zmiana budowniczych raf.

Jeśli obecność symbiotycznych bruzdnic przyspiesza kalcyfikację, pierwszą przesłanką świadczącą o ich obecności powinien być szybki wzrost szkieletu koralowca. Badania koralowców *Tabulata*, bazujące na obecności cyklicznych (sezonowych) przyrostów, wykazały, że niektóre gatunki mogły przyrastać nawet ponad 20 milimetrów rocznie, podobnie jak współczesne koralowce fotosymbiotyczne. W niektórych grupach denkowców istniały jednak gatunki, które przyrastały tylko kilka milimetrów rocznie, podobnie jak *Balanophyllia*. Biorąc pod uwagę szybkość wzrostu, można sądzić, że przynajmniej część koralowców kopalnych miała symbiotyczne glony.

Te sprytnie bruzdnice

Wyczyn architektoniczny, do którego zdolne są koralowce fotosymbiotyczne, w zasadzie nie udaje się koralowcom bezzooksantelowym, których kolonie rzadko kiedy przekraczają 20 centymetrów (choć pojedyncze gatunki są w stanie budować kolonie kilkudziesięciocentymetrowe). Koralowce paleozoiczne prezentują pełne spektrum wielkości – od maleńkich, kilkucentymetrowych kolonii po wielkie budowle, grubo przekraczające 1 metr. To kolejna obserwacja pozwalająca sądzić, że do budowy części z nich przyczyniały się bruzdnice.

Badania prowadzone przez geochemika Petera Swarta (1983) i później we współpracy ze specjalistą od koralowców współczesnych George'em Stanleyem wykazały, że obecność glonów symbiotycznych zostawia ślad w składzie izotopowym szkieletu. Dwutlenek węgla występujący naturalnie oparty jest głównie na stabilnym izotopie węgla ^{12}C , w niewielkich ilościach występuje też ^{13}CO . Zooksantelle „chętniej” używają do fotosyntezy dwutlenku węgla z lekkim izotopem, $^{12}\text{CO}_2$, co powoduje relatywne wzbogacenie środowiska w cięższy dwutlenek węgla ($^{13}\text{CO}_2$). Ten zaś jest dostępny dla koralowców do budowy węglanowych szkieletów.

Koralowce zooksantellowe występują głównie w pasie wód tropikalnych. Cząstki wody morskiej z lżejszym izotopem tlenu, ^{16}O odparowują łatwiej, zostawiając morza tropikalne z nieco wyższą zawartością izotopu cięższego, ^{18}O . Podobnie jak w wypadku węgla szkielet koralowców zostaje wzbogacony w cięższy izotop.

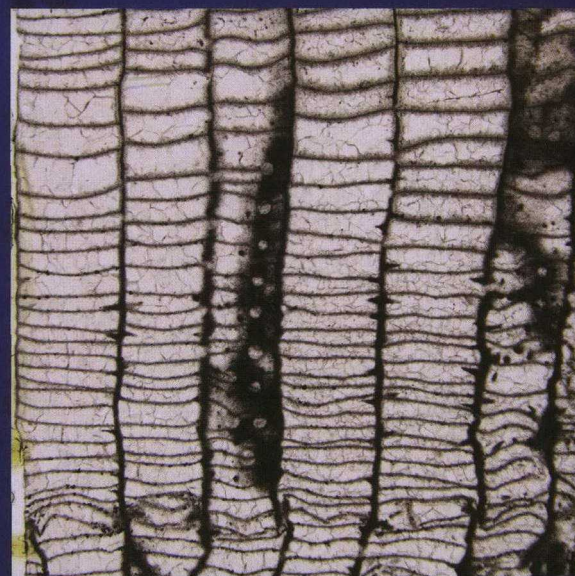
Badając skład izotopowy szkieletów koralowców kopalnych, udało się najpierw wykazać, że symbioza z glonami pojawiła się prawdopodobnie pod koniec triasu, czyli nieco ponad 200 milionów lat temu (Stanley i Swart, 1995). Najnowsze wstępne badania koralowców paleozoicznych, oparte zarówno na geochemii szkieletu, jak i cechach anatomicznych, takich jak tempo wzrostu,

wielkość kolonii czy jej struktura (również nieco różniąca się w przypadku obecności symbiontów), wykazały, że wiele z nich było również gospodarzami dla jednokomórkowych alg (Zapalski 2014), a zatem mechanizm budowy raf, oparty na współpracy koralowców z glonami, pojawił się zapewne już ok. 430 milionów lat temu.

Pozostaje problemem, jakie glony współbudowały rafa paleozoiczne. Badania molekularne prowadzone na zooksantellach wykazały, że bruzdnice *Symbiodinium* pojawiły się najprawdopodobniej we wczesnym eocenie (ok. 55 milionów lat temu), a zatem w starszych rafach symbiotyczne algi musiały być inne. Naturalnym kandydatem są inne bruzdnice, choć u niektórych organizmów (również miękkociących polipów, bliskich krewnych koralowców) występują również symbiotyczne jednokomórkowe zielenice. Pewną szansę na rozstrzygnięcie tego problemu dają badania materii organicznej w szkielecie, jednak na razie ten problem pozostaje nierozwiązany. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Stanley G.D. Jr. (2006). Photosymbiosis and the evolution of modern coral reefs. *Science* 312, 857-858.
- Stanley G.D. Jr. and Swart P.K. (1995). Evolution of the coral-zooxanthellae symbiosis during the Triassic: a geochemical approach. *Paleobiology* 21, 179-199.
- Zapalski M.K. (2014). Evidence of photosymbiosis in Palaeozoic tabulate corals. *Proceedings of the Royal Society B* 281, 20132663.



Fot. M. Zapalski

Przekrój podłużny koralowca z grupy *Tabulata*. Pionowe ciemne elementy to szkielet pomiędzy osobnikami, liczne poziome to zaś denka. Dolne zagęszczenie i rozrzedzenie denek powyżej obejmują przyrost roczny, górne zagęszczenie to początkowy przyrost w następnym roku. Długi bok zdjęcia to ok. 20 milimetrów, zatem sądząc z tempa przyrostu (kilkanaście milimetrów/rok), ten koralowiec zapewne był fotosymbiotyczny. Głaz narzutowy, okolice Warszawy, prawdopodobnie sylur (ok. 420 milionów lat)