

JĄDROWE ŻYCIE Z ARCHAIKU



**Prof. dr hab.
Józef Kaźmierczak**

jest emerytowanym pracownikiem Zakładu Paleobiologii Środowiskowej IP PAN. Zajmuje się przede wszystkim wczesną ewolucją systemów żywych, koewolucją życia i planety oraz astrobiologią.

jkaz@twarda.pan.pl



**Dr hab.
Barbara Kremer**

pracuje w Zakładzie Paleobiologii Środowiskowej. Zajmuje się przede wszystkim badaniem roli mikroorganizmów w ewolucji biosfery i procesach skałotwórczych.

kremer@twarda.pan.pl

**prof. dr hab.
Józef Kaźmierczak
dr hab.
Barbara Kremer**

Instytut Paleobiologii,
Polska Akademia Nauk, Warszawa

Narodziny życia i wczesne etapy ewolucji wysunęły się w ostatnich latach na pierwszy plan programów badawczych wielkich ośrodków naukowych, zarówno w płaszczyźnie teoretycznej, jak i eksperymentalnej. Poza aspektami czysto poznawczymi to wielkie zainteresowanie zagadnieniami biogenezy i wczesnego rozwoju systemów żywych wynika z intensywnie realizowanego międzynarodowego programu badań astrobiologicznych, opracowanego przez NASA w postaci dokumentu znanego jako Astrobiology Roadmap. Szczególne miejsce zajmują w nim wytyczne dotyczące poszukiwania życia na Marsie, zarówno tego być może istniejącego obecnie, jak i tego z odległej przeszłości tej planety. Przy logicznym założeniu, że wczesne fazy formowania się Ziemi i Marsa były podobne, duże oczekiwania wiążą się z wynikami poszukiwań śladów życia zachowanych w najstarszych ziemskich formacjach skalnych. Dla ekspertów przygotowujących i nadzorujących realizację misji marsjańskich stanowią one ważne wskazówki przy wyborze miejsc i tras operacyjnych dla marsjańskich lądowików i łazików.

Pojedynczo i w koloniach

Geologiczne formacje osadowe zwane archaikiem utworzyły się w czasie pierwszych 2-2.5 mld istnienia Ziemi. Z tego powodu są przedmiotem wielkiego zainteresowania paleobiologów, mimo wielkiej rzadkości znajdujących w nich obiektów o cechach biologicznych, ich bardzo słabego stanu zachowania, i trudności w ustaleniu ich afiliacji systematycznej. Zachowało się bardzo niewiele skał pochodzących



NAJSTARSZE JĄDROWE FORMY ŻYCIA

Kiedy i gdzie powstało życie na Ziemi?
To pytanie od dawna nurtuje nie tylko
naukowców. Częściowo na nie odpowiada
odkrycie najstarszych mikroglonów.

Fot.1

Liczące 2,8 do 2,7 mld
lat stromatolity z Afryki
Południowej, w których
znaleziono zostały
pozostałości najstarszych
jądrowych form życia



Fot. 2

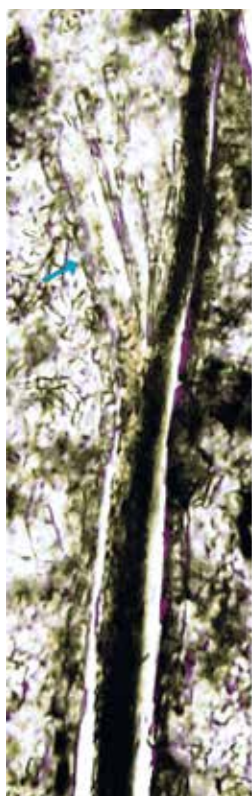
Rozgałęziona szczytowa część plechy syfonalnego mikroglona z nearchaiku Afryki Południowej (z lewej) i analogiczne mikroglony dzisiejsze

Fot. 3

Wymacerowane chemicznie z jeziornego stromatolitu archaiku Afryki Południowej fragmenty plech syfonalnych mikroglonów z przypuszczalnymi strukturami reprodukcyjnymi (z prawej)

Fot. 4

Jądrowe formy życia sprzed prawie 2,8 mld lat (nearchaik Afryki Południowej): fragmenty zmineralizowanych plech syfonalnych mikroglonów



2

z tego najwcześniejszego okresu ewolucji życia. Takie „archaiczne” ostańce można znaleźć zaledwie w kilku miejscach na świecie, np. na Grenlandii, w Australii i Afryce Południowej. Paleobiologia archaiku dostarczyła bardzo nielicznych skamieniałości biomorficznych obiektów interpretowanych jako pozostałości mikrobów, porównywanych najczęściej z dzisiejszymi cyjanobakteriami, tj. fototroficznymi mikroorganizmami o organizacji bezejądrowej (prokariotycznej).

Od powstania życia na Ziemi, co wydarzyło się mniej więcej 3,7 mld lat temu, życie miało postać pojedynczych komórek, z czasem tworzących kolonie i maty mikrobialne. Choć pojedyncze komórki niezwykle rzadko zachowują się w skale, maty mikrobialne (przede wszystkim **cyjanobakteryjne**) ulegały mineralizacji, tworząc **stromatolity** i przetrwały do dziś, stanowiąc jednocześnie dowód wczesnego pojawienia się życia na naszej planecie. Otwartym pozostawało natomiast pytanie o istnienie w archaiku form życia o organizacji jądrowej (eukariotycznej).

Bez zniechęcenia

Organizmy eukariotyczne były z pewnością jednym z największych wynalazków ewolucyjnych w historii życia. Choć dokładny czas ich pojawienia się jest nieznan, podejmowane są próby jego określenia w oparciu o metody molekularne. Te ostatnie – zwane zegarami molekularnymi – wskazują, że eukarionty wyewoluowały nie wcześniej niż ok. 2 mld lat temu.

Nieco inaczej sprawa przedstawia się od strony zapisu paleontologicznego. Najstarsze do tej pory znaleziska, uznane za wiarygodne pozostałości eukariontów, pochodzą z osadów liczących 1,8–1,6 mld lat. Rozpoznanie organizmów eukariotycznych w zapisie kopalnym archaiku jest niezwykle trudne i kontrowersyjne, ponieważ jedynym kryterium, jakim dysponujemy, jest morfologia. Choć w przeważającej większości jednokomórkowe eukarionty są rozmiarowo większe od komórek bakterii, są też takie, których rozmiary są takie same jak dużych **komórek prokariotycznych**. Ściany większości jednokomórkowych glonów nie mają też żadnych struktur je wyróżniających. Ponadto osady archaiku przeszły diagenезę, tzn. że przez długi czas były poddane wysokiej temperaturze i ciśnieniu, wpływającym destrukcyjnie na delikatną materię organiczną. To nie zniechęca jednak badaczy do poszukiwania najstarszych śladów życia.

Dokumentacja odkrycia

W wyniku realizacji projektu finansowanego w ramach rządowego programu współpracy naukowej pomiędzy Polską i Republiką Afryki Południowej i grantu Narodowego Centrum Nauki odkryliśmy i udokumentowaliśmy, za pomocą szczegółowej analizy mineralogicznej, geochemicznej i nanoskopowej, pierwsze morfologicznie zachowane mikroskamieniałości eukariotyczne z osadów archaiku. Znaleźliśmy je dzięki współpracy z profesorem Władysławem Altermannem

SŁOWNICZEK

Cyjanobakterie (sinice)

– fototroficzne mikroorganizmy o organizacji bezejądrowej (prokariotyczne).

Stromatolity

– warstwowane struktury sedimentacyjne utworzone przez maty mikrobialne, najczęściej cyjanobakteryjne

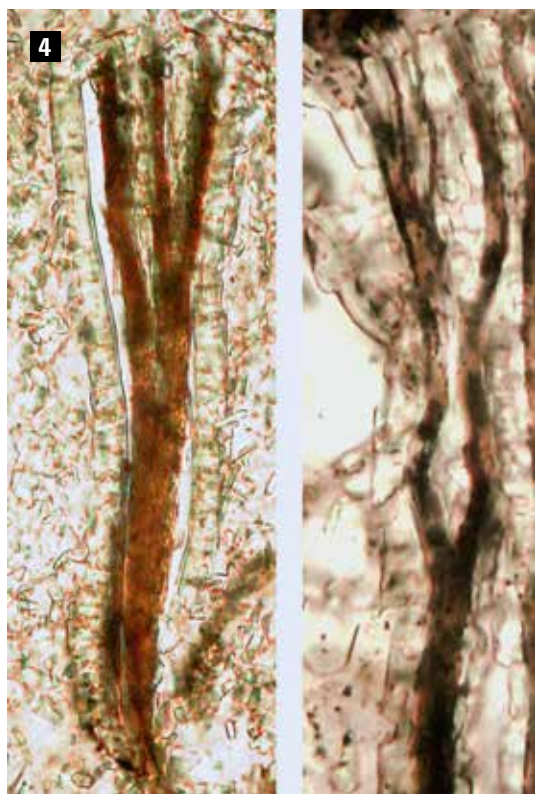
Komórki prokariotyczne

– komórki o organizacji bezejądrowej, występujące wyłącznie jako organizmy jednokomórkowe

Komórki eukariotyczne

– komórki o organizacji jądrowej, podstawowe jednostki strukturalne i funkcjonalne wszystkich organizmów wielokomórkowych, występujące też jako samodzielne organizmy jednokomórkowe, (np. pierwotniaki i niektóre glony).

NAJSTARSZE JĄDROWE FORMY ŻYCIA



Odkrycie pozostałości najstarszych glonowych organizmów jądrowych w osadach zbiorników śródlądowych podważa pogląd, iż najstarsze organizmy powstały w morzu i dopiero znacznie później zasiedliły inne środowiska

(Pretoria University) w jeziornych stromatolitach neoarchaiku Afryki Południowej (Sodium Group, Ventersdorp Supergroup) liczących ok. 2,8–2,7 mld lat. Mają one formę rzadko terminalnie rozgałęziających się, niesegmentowanych mineralnych rurek, o średnicy 30–70 mikrometrów i długości kilkuset mikrometrów, w których wnętrzu zachowane są często ślady węglistej substancji, przypuszczalnie pozostałości po zdegradowanej cytoplazmie. Obiekty te są zmineralizowane krzemionką i glinokrzemianami, materia organiczna zachowała się zaś w bardzo niewielkich ilościach. Od ścianek rurek odchodzą niekiedy banieczkowate struktury przypominające gametangia niektórych glonów. Pod względem anatomicznym te mikroskamieniałości dają się dobrze porównać z dzisiejszymi i kopalnymi mikroglonami cewnikowatymi (syfonalnymi) zaliczanymi do zielenic (rząd *Ulvales*) lub różnowiciowców (rząd *Vaucheriales*). To wielkie morfologiczne podobieństwo mikroglonów z archaiku Afryki Południowej do żyjących przedstawicieli glonów cewnikowatych potwierdza poglądy tych biologów ewolucyjnych, którzy na podstawie badań molekularnych widzą w nich formy wyjściowe do rozwoju roślinności naszej planety.

Początki w jeziorach?

Odkrycie tak wczesnych organizmów jądrowych jest naukową sensacją na światową skalę. Przesuwa ono dotychczas udokumentowany czas pojawienia się w zapisie paleontologicznym pierwszych eukarion-

tów o ponad miliard lat i oznacza konieczność dokonania zasadniczej korekty w kalibracji opracowanych dotychczas filogenetycznych skal biomolekularnych (tzw. zegarów molekularnych) oraz zredefiniowania obowiązujących obecnie modeli funkcjonowania i ewolucji wczesnej biosfery Ziemi. Nasze odkrycie ma też znaczenie przy konstruowaniu programów poszukiwań życia na innych planetach. Silnie zmineralizowane plechy odkrytych przez nas mikroglonów są ponadto dowodem bardzo wczesnego rozwoju procesów biomineralizacyjnych w przyrodzie pierwotnej Ziemi. Ponieważ wszystkie glony są organizmami tlenowymi – wytwarzającymi tlen i jednocześnie wymagającymi tlenu w procesach metabolicznych – ich obecność w późnym archaiku pozwala zrewidować rozpowszechnione dotychczas poglądy o beztlenowej lub bardzo nisko tlenowej atmosferze archaiku. Jeziorny charakter środowiska życia odkrytych przez nas mikroglonów w sąsiedztwie struktur zwanych stromatolitami wskazuje ponadto na istnienie w tym czasie śródlądowych akwenów pod względem hydrochemicznym takiej mineralizacji sprzyjających. Odkrycie pozostałości najstarszych glonowych organizmów jądrowych w osadach zbiorników śródlądowych podważa obowiązujący dotychczas pogląd, iż najstarsze organizmy powstały w morzu i dopiero znacznie później zasiedliły inne środowiska.

JÓZEF KAŹMIERCZAK
 BARBARA KREMER

Chcesz wiedzieć więcej?

Kaźmierczak J., Kremer B., Altermann W., Franchi I. (2016). Tubular microfossils from 2.8–2.7 Ga-old lacustrine deposits of South Africa: A sign for early origin of eukaryotes? *Precambrian Res.* 286, 180–194.

Knoll A.H., Javaux E.J., Hewitt D., Cohen P. (2006). Eukaryotic organisms in Proterozoic oceans. *Phil. Trans. R. Soc. B* 361, 1023–1038.

Knoll A.H., Bergmann K.D., Strauss J.V. (2016). Life: the first two billion years. *Phil. Trans. R. Soc. B* 371: 20150493.