

Tajemnica powstania pierwszych lasów na Ziemi

Dzisiaj lasy zajmują około jednej trzeciej powierzchni wszystkich lądów, a ich rola w systemie ziemskim jest ogromna. Tworzą skomplikowane ekosystemy z bogactwem flory i fauny, wpływają na tempo erozji i sedymentacji. Za pośrednictwem procesów takich jak fotosynteza czy respiracja regulują stosunki wodne, kształtują skład atmosfery i klimat. Problem ich obecności na Ziemi, zagrożenia związane z niekontrolowaną wycinką nabrały ostatnio szczególnego znaczenia w obliczu postępującej katastrofy klimatycznej. Widzimy, że znane porzekadło „nie było nas - był las, nie będzie nas - będzie las” może niestety okazać się nieprawdziwe w odniesieniu do swojego drugiego członu. Ale również jego pierwsza część jest mocno wątpliwa. Wprawdzie pierwsi ludzie zastali na Ziemi dziewicze puszcze, jednak przez 90 % historii globu brak było na lądach nie tylko lasów, ale też jakiegokolwiek roślinności. Jak doszło do powstania roślin drzewiastych i tworzonych przez nie maszywów leśnych? Odpowiedź na to pytanie wymaga zagłębienia się w otchłań czasu geologicznego, epoki odległe o setki milionów lat.

Początki kolonizacji lądów przez rośliny

Pierwsze rośliny, niepozorne mchy, wkroczyły na lądy ok. 500-470 mln lat temu (późny kambr-wczesny ordowik), poprzedzone glonami i porostami. Kolejne etapy ewolucji flory doprowadziły do rozprzestrzenienia się w sylurze, ok. 430 mln lat temu, bardziej zaawansowanych roślin naczyniowych, zaopatrzonych w przewodzącą wodę tkankę. Były to kilkudziesięciocentymetrowej wysokości widłaki pozbawione korzeni. W słynnej wczesnodewońskiej (ok. 410 mln lat) florze z miejscowości Rhyne w Szkocji występują już widłaki z zaczątkowymi korzeniami. Od środkowego dewonu (ok. 390 mln lat temu) znane są pierwsze progymnospermy, wymarła grupa przodków roślin nagozalążkowych, dysponująca głębszymi systemami korzeniowymi. Natomiast w późnym dewonie (ok. 380 mln lat) pojawiły się pierwsze rośliny o budowie drewna i sposobie wzrostu analogicznym do współczesnych drzew. Zaliczane są do rodzaju *Archaeopteris* osiągającego wysokość 30 m i mającego liście podobne do paproci.

Te skróte informacje o pierwszych roślinach lądowych wymagają komentarza dotyczącego materiałów, jakimi dysponują badający je paleobotanicy. Zgodnie z ogólną regułą paleontologii (od której oczywiście są wyjątki), im starszy jest materiał kopalny, tym słabiej bywa zachowany i trudniejszy do uzyskania. W dodatku, skamieniałości organizmów lądowych tworzą się w środowiskach dotkniętych procesami erozji, gdzie roślinność ma niewielkie szanse zachowania. Paleobotanicy dysponują więc bardzo fragmentarycznym materiałem badawczym, szczególnie w odniesieniu do pierwszych etapów ewolucji roślin. Luki w zapisie geologicznym są tu większe niż w przypadku skamieniałości zwierzęcych, zwłaszcza fauny morskiej. Sytuację poprawia fakt lepszego zachowania zarodników roślin - spor, które, roznoszone przez wiatry, często występują w osadach morskich. Problem palinologów (naukowców zajmujących się sporami) polega jednak na tym, że w wielu przypadkach nie są oni w stanie dowiązać swoich znalezisk do macierzystych roślin, których szczątki z reguły występują osobno.

Pierwsze lasy

Pierwsze wystąpienia „prawdziwego” lasu znane są z piętra żywet (ok. 385 mln lat) w północnej części stanu Nowy Jork. Nic nam jak dotąd nie wiadomo o żadnych stadiach pośrednich, jakichś kopalnych „zagajnikach” – rośliny drzewiaste pojawiają się bez wcześniejszej zapowiedzi w zapisie osadowym. Najbardziej znany, ikoniczny las Gilboa, dzisiaj rezerwat przyrodniczy, zachował się jako skamieniałe pnie drzew o wysokości

przekraczającej 8 m. Nie ulega wątpliwości, że, choć obecnie obalone, występują one w miejscu wzrostu, na co wskazują zachowane głębokie systemy korzeniowe. Otaczające je muły i piaski tworzyły się w warunkach okresowo zalewanej równiny nadmorskiej na przedpolu łańcucha górskiego Appalachów.

Niewątpliwie drzewa i związana z nimi biocenoza nie pojawiły się nagle i znikąd. Musiała je poprzedzić ewolucja jakichś form roślinnych, prowadząca do wzrostu ich wysokości, połączonego z głębokim zakorzeniem. To ostatnie było warunkiem utrzymania pionowej postury rośliny, ale i dostarczenia z gleby substancji odżywczych potrzebnych do osiągnięcia przez nią tak imponujących rozmiarów. I tu docieramy do sedna naszego problemu: jakie zmiany ewolucyjne, kiedy i w jakich okolicznościach spowodowały wykształcenie drzew i w konsekwencji powstanie lasów ?

Epizod Kačak

Odpowiedzi na pytania o powstanie lasów może dostarczyć badanie osadów późnego eiflu (388 mln lat), a więc o kilka mln lat poprzedzających najwcześniejsze znane lasy. Od czasu opublikowanej w *Nature* w 1985 r. pracy wybitnego brytyjskiego paleontologa i stratygrafa Michaela House'a wiemy, że był to krótkotrwały okres tworzenia się w różnych miejscach globu nietypowych ciemnych osadów bogatych w materiał organiczny, w tym w liczne szczątki roślinne. House ukuł na jego określenie termin „zdarzenie Kačak”, od czarnych łupków znanych pod tą nazwą z okolic Pragi Czeskiej (fig. 1). Późniejsze badania wykazały, że przedział czasu, w którym się takie osady tworzyły (a poznano je m.in. z Maroka, Gór Reńskich i Hiszpanii) wynosił w rzeczywistości niemal 400 tysięcy lat, lepiej więc mówić o epizodzie, niż o krótkotrwałym zdarzeniu.



Fig. 1. Odślonienie łupków Kačak w przekopie kolejowym Hlubočepy w Pradze. W tle – współczesny las.

Epizod Kačak stał się od kilku lat przedmiotem badań pracowników Państwowego Instytutu Geologicznego przy współpracy naukowców białoruskich, czeskich i niemieckich. Prace, prowadzone początkowo głównie na Białorusi, nie potwierdziły tam występowania w górnym

eiflu czarnych łupków. Doprowadziły jednak do odkrycia innego, nieznanego wcześniej zapisu osadowego epizodu Kačak, przedstawionego w artykule opublikowanym w 2021 roku w czasopiśmie *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Zamiast czarnych łupków znaleźliśmy jasne dolomity ze szczątkami tropikalnych, zwierząt płytkomorskich. Co ważne, udało się też znaleźć drobne ząbkowate skamieniałości - konodonty, które, choć należą do wymarłej, nieznannej grupy zwierząt, ale umożliwiają dokładne ustalenie wieku osadów. Niżej i wyżej występują utwory pozbawione fauny morskiej, osadzone w warunkach lagunowych lub rzecznych. Wskazuje to na krótkotrwały zalew morski, znany również z innych wystąpień opisywanego epizodu. Zbiornik uległ szybkiemu spłyceniu, a wody morskie zostały zastąpione przez słabo zasolone, a nawet słodkie. Świadczy o tym przejście osadów węglanowych w muły dostarczane z sąsiednich łądów, czemu towarzyszy zmiana w zespole skamieniałości.

Ważnym odkryciem było stwierdzenie w białoruskim epizodzie Kačak niespotykanego bogactwa szczątków ryb, uderzającego nawet na tle zróżnicowania w okresie dewońskim, zwanym „epoką ryb”. Co jednak ważniejsze, znaleziono bogate zespoły spor świadczące o wyjątkowym rozkwicie roślin, w tym o pojawieniu się wielu nowych gatunków flory w obszarach łądowych otaczających basen. Charakterystyczne jest występowanie formy *Rhabdosporites langii*, która jest wprawdzie znana z osadów nieco wcześniejszych, ale w trakcie epizodu Kačak osiągnęła wyjątkową liczebność. Formę tę można powiązać z konkretną rośliną o nazwie *Rellimia thomsonii* zaliczaną do progymnosperm (fig. 2). Ten niepozorny, metrowej wysokości krzew należy do grupy *Aneurophytales*, pierwszych reprezentantów roślin, które wykształciły miążgę. Tkanka ta pełni niezwykle ważną funkcję, jaką jest wytwarzanie drewna, budującego sztywny szkielet łodygi/pnia rośliny oraz łyka, umożliwiającego dopływ roztworów i substancji odżywczych pobieranych z gleby przez system korzeniowy.

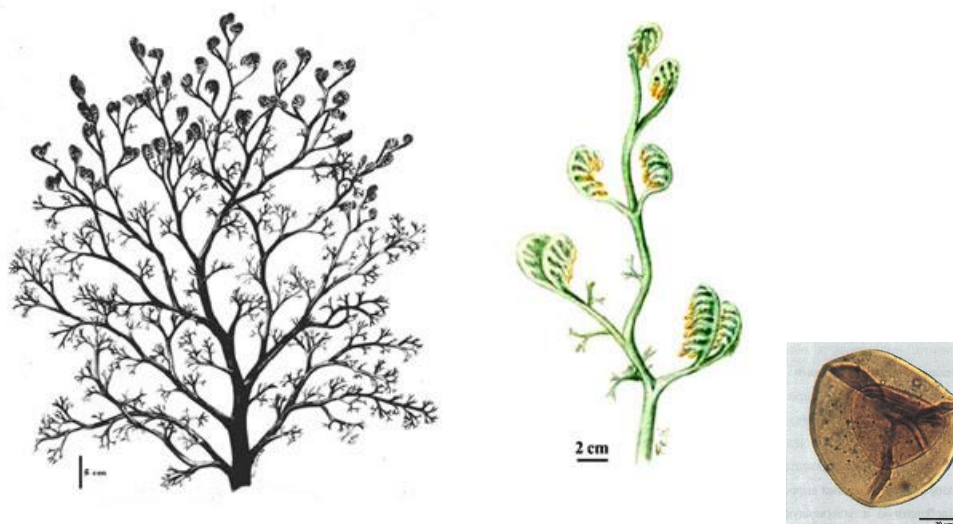


Fig. 2. *Rellimia* i jej sporangia (źródło: <https://pantip.com/topic/32168869>), po lewej stronie spora *Rhabdosporites langii* (fot. Weronika Obuchowska)

Epizod Kačak przełomem w rozwoju lasów na Ziemi ?

Z informacji opublikowanych w literaturze naukowej wynika, że bogactwo flory białoruskiej nie jest zjawiskiem odosobnionym, towarzyszy również innym osadom epizodu Kačak.

Wygląda więc na to, że mamy do czynienia u schyłku eiflu z rozkwitem roślinności na Ziemi. Towarzyszyło mu nasilenie procesów ewolucji flory lądowej – rozwój przystosowań, które umożliwiły powstanie drzew. Byłoby to więc brakujące ogniwo procesu, który doprowadził kilka milionów lat później do powstania prawdziwych lasów, takich jak „Gilboa Forest”. Tamtejszy las jest już złożonym ekosystemem, w którym najwyższe piętro tworzą wysokie rośliny z wymarłej klasy *Cladoxylopsida* spokrewnionej z paprociami. Prawdopodobnie odznaczały się one pustym w środku pniem (podobnie jak bambus), niewielkim udziałem tkanki drzewnej i koroną złożoną z pozbawionych liści gałęzi. Znaczną ilość tkanki drzewnej miały natomiast grube kłacza rośliny progymnospermowej tworzącej razem z formami widłakopodobnymi niższe piętro lasu (fig. 3).



Fig. 3. Las Gilboa – fotografia z przeszłości (autorzy: Gerard i Nadine Ciavatti). Widoczne drzewa z klasy *Cladoxylopsida*. Na pierwszym planie progymnospermy zbliżone do formy *Rellimia* (<http://www.evolution-biologique.org/galerie/Paleozoique/Devonien/413.html#prettyPhoto>)

Dlaczego jednak epizod Kačak miałby szczególnie sprzyjać wydarzeniu ewolucyjnemu jakim było wykształcenie się drzewiastości? Odpowiedzi na to pytanie dostarczają badania osadów i szczątków organicznych najwyższego eiflu. Wynika z nich istnienie całego łańcucha zdarzeń: od globalnego ocieplenia (rejestrowanego przez skład izotopowy szczątków organicznych, w tym konodontów), do wzrostu poziomu morza i epizodu wilgotnego klimatu. Ten ostatni zaznacza się zastępowaniem osadów węglanowych i solnych (powstających z reguły w klimacie suchym) przez nanoszone przez rzeki osady klastyczne – ropy, muły i piaski. Ciepły wilgotny klimat stworzył idealne warunki do rozwoju roślin lądowych, ich różnicowania w wyniku powstawania nowych adaptacji.

Jak powyższa hipoteza ma się do pierwotnej koncepcji epizodu Kačak, jako okresu tworzenia się czarnych łupków w środowiskach niskotlenowych? Wytłumaczenie wiąże się z obserwacją, iż owe ciemne osady występują niemal bez wyjątku w głębszych zbiornikach

morskich. Uważa się, że tworzyły się na głębokościach znacznie przekraczających niskie dziesiątki metrów typowe dla basenu białoruskiego, którego wody były skutecznie mieszane i natleniane przez falowanie i pływy. Natomiast przy głębokościach rzędu kilkuset metrów tworzyła się przydenna warstwa wód o deficycie tlenu szybko konsumowanego w procesach rozkładu szczątków organicznych, w tym roślin napławianych intensywnie z bujnych ekosystemów lądowych. Powstające w tych warunkach czarne osady stawały się „przechowalnią” węgla organicznego, kosztem atmosfery, w której spadała zawartość CO₂. Prowadziło to do ochłodzenia klimatu i związanego z nim spadku globalnego poziomu morza i wnurzania nowych lądów. To z kolei tłumaczy obserwację, iż epizod Kačak często kończy się okresem erozji.

Dociekliwy Czytelnik może jednak zapytać: no dobrze, ale co właściwie było powodem globalnego ocieplenia, które zapoczątkowało epizod Kacak ? Na to pytanie nie umiemy jeszcze odpowiedzieć. Może była to wyjątkowa zbieżność cykli astronomicznych i wzrost nasłonecznienia, może nagły dopływ CO₂ związany z nasileniem wulkanizmu, a może jeszcze jakaś inna przyczyna. Badania trwają ...

Marek Narkiewicz, Katarzyna Narkiewicz