



Sprawa wydawała się przedawniona – kości w masowej mogile miały 70 mln lat. Znaleźliśmy jednak dość poszlak, by wskazać winnego

**Raymond R. Rogers
i David W. Krause**

WIELKI MIĘSOŻERNY DINOZAUR *Majungatholus atopus* (powyżej), żyjący na obszarze dzisiejszego północno-zachodniego Madagaskaru (na stronie obok na górze), zginął przedwcześnie około 70 mln lat temu. Członkowie zespołu autorów delikatnie wydobyli jego szczątki, w tym żuchwę z karbowanymi zębami służącymi do cięcia mięsa (z prawej) i zapakowali je w gips na czas transportu do Stanów Zjednoczonych (na stronie obok na dole). Tam badacze szczegółowo przeanalizowali skamieniałości, szukając przyczyn śmierci zwierzęcia.



Na tropie zabójcy sprzed wieków



Jedne zwłoki spoczywają na lewym boku, z głową i szyją mocno odgiętą w tył – w klasycznej pozie pośmiertnej. Kończyny zachowały anatomiczny układ, choć kiedy przyrzeć się bliżej, widać, że kości rąk i stóp są przemieszczone, a kilku brakuje. Czaszka jest nieco zdeformowana, niemniej i jej kawałki leżą blisko siebie. Zupełnie przepadł natomiast koniec ogona. Nieopodal leży więcej szczątków, jedne gorzej, inne lepiej zachowane. Kilka jest niemal kompletnych, z niektórych została tylko czaszka, łopatka albo pojedyncza kość kończyny. Czy nieszczęśnicy zginęli właśnie tutaj, czy może ich kości zebrano dopiero po śmierci? Czy zginęli jednocześnie, czy też umierali w dużych odstępach czasu?

Nasz zespół, złożony z malgaskich i amerykańskich paleontologów i geologów, zaczął sobie zadawać takie pytania, gdy tylko latem 2005 roku odkryliśmy to

cmentarzysko w pradawnych osadach północno-zachodniego Madagaskaru, wyspy, która glebom o barwie czerwieni weneckiej zawdzięcza przydomek Wielkiej Czerwonej Wyspy. W poszukiwaniu odpowiedzi dotarliśmy do intrygujących informacji, a samo dochodzenie było równie interesujące jak jego wyniki.

Zaczęliśmy od nazwania stanowiska paleontologicznego, które odkryliśmy. Oznaczenie MAD05-42 wskazuje rok znalezienia i kolejność wśród innych na tym obszarze. Potem zabraliśmy się za identyfikację ofiar. Nasze doświadczenia z badań w okolicy szybko pozwoliły ustalić, że w MAD05-42 spoczywają przede wszystkim szczątki rozmaitych dinozaurów.

To nie jedyne cmentarzysko tych gadów na północno-zachodnim Madagaskarze. Pasuje do wzorca, który wielokrotnie napotykalismy w ciągu kilkunastu lat badań półpustynnych te-

renów trawiastych wokół wioski Berivotra. Odkrywaliśmy tam kolejne nagromadzenia kości, zdumiewające obfitością szczątków zwierząt dużych i małych, młodych i starych. Toteż próbując ustalić, co zabiło dinozaury z MAD05-42, nie mogliśmy pominąć kwestii, dlaczego znajdujemy tutaj tyle pokładów kostnych i czemu są tak świetnie zachowane.

Akta bardzo starej sprawy

BYŁO MILIONY LAT ZA PÓŹNO na użycie większości narzędzi nowoczesnej kryminalistyki. Żeby zebrać materiał dowodowy ukryty w kościach i skale, musieliśmy sięgnąć po geologiczne techniki datowania i dorobek dziedziny znanej jako tafonomia, badającej losy materii organicznej przechodzącej ze świata żywego do martwego.

Najpierw trzeba było wydobyć kości ze skał. To bardzo żmudna praca. Zaczęliśmy od usunięcia nadkładu łopatom i młotkami geologicznymi, potem

sięgnęliśmy po narzędzia dentystyczne i miękkie pędzle, starając się nie uszkodzić kruchej powierzchni kości. Kiedy w pełni odsłoniliśmy pozostałości szkieletu, nanosiliśmy je na plan i fotografowaliśmy w miejscu znalezienia, by utrwalić wszelkie znaczące stosunki przestrzenne. Następnie nasączaliśmy kości spoiwami chemicznymi i starannie zabezpieczaliśmy ochronnymi opatrunkami z płótna i gipsu. Zagipсовane katalogowaliśmy i pakowaliśmy w daleką podróż do pracowni w Stanach Zjednoczonych. Gdy dotarły na miejsce, starannie usuwaliśmy resztki osadu i przystępowaliśmy do drobiazgowych badań, m.in. szukając na powierzchniach jakichkolwiek śladów wskazujących na tożsamość zabójcy.

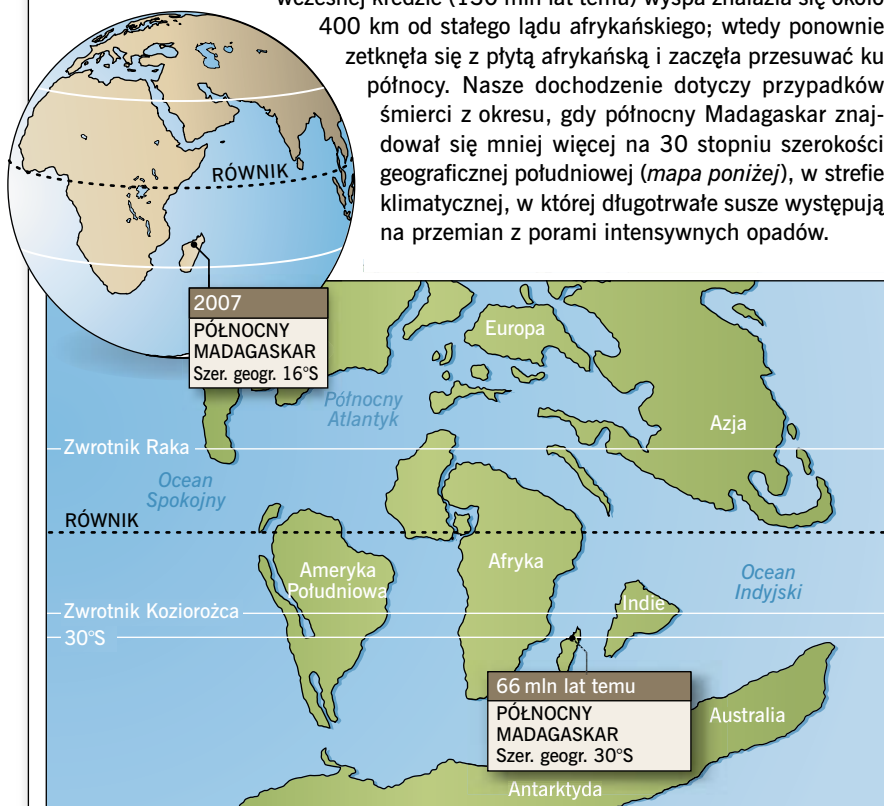
Już w terenie ustaliliśmy, że szczątki ofiar zachowały się w charakterystycznych warstwach osadowych znanych jako formacja Maevarano. Występują one kilkadziesiąt metrów poniżej skał pochodzących sprzed około 65 mln lat, z okresu przejścia kredy w trzeciorzęd (według obecnej nomenklatury – w paleogen), czasów wielkiego wymierania, kiedy wyginęły wszystkie dinozaury z wyjątkiem ptaków* oraz wiele innych grup organizmów [patrz: Luann Becker „Pod ostrzałem”; *Świat Nauki*, maj 2002 oraz David A. Kring i Daniel D. Durda „Dzień, w którym spłonął świat”; *Świat Nauki*, luty 2004]. Pokład kostny leży 44.5 m poniżej poziomu wielkiego wymierania i 14.5 m poniżej miejscowego stropu formacji Maevarano. Datowanie radiometryczne minerałów ze skał wulkanicznych w warstwach poniżej tej formacji pozwoliło określić ich wiek na około 88 mln lat.

Powyżej formacji Maevarano i częściowo z nią przemieszane leżą natomiast osady pozostawione przez morza omywające zachodnie brzegi wyspy. Zawierają muszle i szkieleciki jednokomórkowców z gatunków datowanych w innych stanowiskach na schyłek okresu kredowego, ale nie na sam jego koniec. Na podstawie tych danych możemy oszacować, że śmierć dosięgła zwierzęta z odkrywki MAD05-42 mniej więcej 70 mln lat temu. Cokolwiek więc je zabiło, nie miało związku z wielkim wymieraniem, które nastąpiło kilka milionów lat później.

W kolejnym etapie dochodzenia posłużyliśmy się tafonomią. Nauka ta analizuje

DOWODY GEOLOGICZNE

Historia Madagaskaru wskazuje możliwą przyczynę śmierci tylu tamtejszych zwierząt przed 70 mln lat. Na początku ery mezozoicznej (250 mln lat temu) Madagaskar leżał w sercu Gondwany. Ruchy tektoniczne przemieściły płyty litosfery i we wczesnej kredzie (130 mln lat temu) wyspa znalazła się około 400 km od stałego lądu afrykańskiego; wtedy ponownie zetknęła się z płytą afrykańską i zaczęła przesuwac ku północy. Nasze dochodzenie dotyczy przypadków śmierci z okresu, gdy północny Madagaskar znajdował się mniej więcej na 30 stopniu szerokości geograficznej południowej (mapa poniżej), w strefie klimatycznej, w której długotrwałe susze występują na przemian z porami intensywnych opadów.



Inne zbiorowe groby

Jedno z pierwszych odkrytych stanowisk, MAD93-18, w najbardziej dramatyczny sposób przedstawia seryjność działania pradawnego zabójcy z Madagaskaru: ukazuje trzy odrębne warstwy zawierające kości, jedna nad drugą. Prowadzone tam prace wykopaliskowe dostarczyły prawie kompletnych szkieletów wielkiego zauropoda *Rapetosaurus* (poniżej z lewej i z prawej), jak również szczątków kostnych wielu innych zwierząt wcześniej nieznanach nauce, w tym prymitywnego ptaka, *Rahonavis ostromi* (z prawej), o drobnych, delikatnych kościach.



uszkodzenia kości (czy zostały zwęglone w ogniu, połamane albo pogryzione), stan zwłok (czy są rozczłonkowane i wybiórczo pozbawione niektórych części, co wskazywałoby na działania padlinożerców lub drapieżników) i dzieje pogrzebienia (jak szczątki zostały pokryte osadem i co działo się z nimi później). Badania procesu fosylizacji, a więc w uproszczeniu, kamienienia kości, także należą do jej domen.

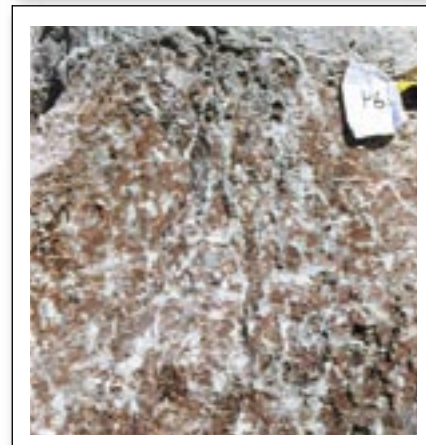
Ocena odkrywki MAD05-42 metodami tafonomicznymi pozwoliła stwierdzić, że zwierzęta padały w dłuższym okresie, może w ciągu tygodni lub miesięcy, ponieważ losy ich zwłok były bardzo zróżnicowane. Na przykład kil-

ka okazów było prawie nietkniętych, a inne – rozkawałkowane i rozwłócone na dużej powierzchni, co nie mogło nastąpić błyskawicznie. W dodatku niektóre kości były doskonale zachowane, podczas gdy wiele zdradzało oznaki długiego wystawienia na działanie czynników atmosferycznych i niszczenia powierzchni. Kiedy zwierzęta, których szczątki znajdujemy w danej warstwie skalnej, padły w różnym czasie, opisujemy stanowisko jako „uśrednione czasowo” i używamy wskazówek tafonomicznych, by oszacować, ile minęło od pierwszej śmierci do ostatniej. Chociaż nie możemy określić dokładnie czasu potrzebnego

na ukształtowanie się cementarzyska, wiemy, że pogrzebane tutaj zwierzęta nie zginęły w tej samej chwili.

Miejsce zbrodni

GEOLOGICZNA HISTORIA Madagaskaru także dostarczyła ważnych wskazówek na temat okoliczności śmierci dinozaurów. Na początku ery mezozoicznej (250 mln lat temu) Madagaskar tkwił w sercu Gondwany (południowej części superkontynentu Pangea), wciśnięty między Afrykę i Indie, z Antarktydą blisko południowego krańca. Ruchy tektoniczne wkrótce mocno przemieściły płyty litosfery i w późnej jurze (160 mln lat temu) Madagaskar, oderwany już od Afryki,



KOPALNE GLEBY I SKAŁY zawierają przekonujące dowody na suchość klimatu Madagaskaru w późnej kredzie. Odlewy pionowych korzeni (z *prawej na dole*) wskazują na przystosowanie roślin do półpustynnych warunków życia: szukanie głęboko położonych źródeł wilgoci. Korzeniom często towarzyszą złoże węglanu wapnia, tworzące się w suchych okolicach. Inne osady, pozostałość piaszczystych rzek (*górne fotografie*), wskazują, że przepływ wody zmieniał się dramatycznie. Kiedy był silny, przemieszczał masy piasku w dół rzeki, tworząc przekątnie uławiczone osady (z *prawej na górze*). Dinozaury i wiele innych zwierząt przybywały nad płytkie rzeki w poszukiwaniu pożywienia – kości w stanowisku MAD05-42 odkryto właśnie w takim dawnym korycie okresowej rzeki.

migrował na południe, wciąż połączony z Indiami. W późnej kredzie (88 mln lat temu) ponownie zetknął się z płytą afrykańską, ale około 400 km od stałego lądu, natomiast subkontynent indyjski i Antarktyda odsunęły się daleko od niego, i czwarta co do wielkości wyspa świata znalazła się w izolacji.

Po ponownym połączeniu z płytą afrykańską Madagaskar przemieścił się na północ ku swemu obecnemu położeniu w tropikach półkuli południowej. Ale kiedy około 70 mln lat temu zginęły zwierzęta ze stanowiska MAD05-42, północny Madagaskar znajdował się mniej więcej na 30 stopniu szerokości geograficznej południowej – wciąż daleko od

zwrótnika Koziorożca i zapewne w granicach klimatu podzwrotnikowego. Dziś największe pustynie i półpustynie rozciągają się w strefach pomiędzy 15 a 35 stopniem na północ i na południe od równika. Te suche pasy są efektem działania wielkoskalowych układów cyrkulacji atmosferycznej (znanych jako komórki Hadleya), kierujących ku ziemi masy gorącego, suchego powietrza, które wcześniej oddało wilgoć w pobliżu równika. Masy zstępującego powietrza tworzą strefy wyżowe, zwykle zapobiegające opadom, ale kiedy deszcze już przyjdą, bywają ulewne.

W skałach formacji Maevarano znajdujemy przekonujące dowody na sezonowość i niską wilgotność klimatu późnokredowego Madagaskaru.

Najbardziej wymowne są pięknie zachowane pionowe odlewy korzeni w czerwonych utlenionych paleoglebach (glebach kopalnych). Pionowe korzenie są dziś pospolite tam, gdzie rośliny przystosowały się do suchych warunków, sięgając po głębsze źródła wilgoci i substancji odżywczych. Ponadto wiele pozostałości korzeni z formacji Maevarano jest inkrustowanych węglanem wapnia albo występuje na przemian z nieregularnymi skupieniami tego minerału, guzkami węglanowymi. We współczesnym świecie utlenione gleby ze złożami węglanu wapnia zwykle występują w okolicach półpustynnych i pustynnych, gdzie parowanie i transpiracja znacznie zmniejszają efekt opadów.

Inne pradawne osady na tym obszarze odkładały się w płytkich, piaszczystych rzekach. One również stanowią wymowne świadectwo podzwrotnikowej przeszłości, wyraźnie wskazując, że przepływ wody zmieniał się radykalnie i zapewne sezonowo. Kiedy rzeki płynęły, nurt przesunął zmarszczki prądowe i wydmy w dół rzeki, powodując

Suto zastawiony stół

Umierające masowo zwierzęta z późnokredowego Madagaskaru dostarczały wspañiałej uczty padlinożercom. Nekrofagia, czyli żywienie się ciałami martwych istot, to nisza, której obsadzenie jest konieczne dla zamknięcia łańcucha pokarmowego. Dziś zajmuje się tym wiele organizmów, od bakterii po duże kręgowce. Wraz z naszym kolegą Erikiem M. Robertsem, który jako student towarzyszył nam na Madagaskarze 10 lat temu, a teraz jest wykładowcą na University of Witwatersrand w Johannesburgu, znaleźliśmy ślady nekrofagicznej działalności owadów w kościach madagaskarskich dinozaurów: centymetrowej długości owalne dołki, zwykle w niegdysiejszej gąbczastej tkance wewnątrz kości. Te jamki to znaki, że dorosłe chrząszcze żerowały na padlinie i składały jaja. Wylęgające się z nich larwy również żerowały na ścierwie i mocnymi żuwaczkami wygryzały jamki, w których się przepoczwarzają.

Ale padliną żywiły się nie tylko owady. Analiza śladów ogryzania przyniosła niepodważalne dowody, że ucztowały tu też dinozaury. We współpracy z Kristiną Curry Rogers z Science Museum of Minnesota udokumentowaliśmy ślady zębów siedmiometrowego teropoda *Majungatholus atopus* na kościach pochodzących z co najmniej trzech różnych poziomów zawierających kości. Porównanie kształtu i wielkości śladów zębów ze szczękami i zębami różnych zwierząt mięsożernych pozwoliło nam wykluczyć innych podejrzanych.

Kilka z ogryzionych kości z naszych próbek należało do rapetozaura (*Rapetosaurus krausei*), nieznanego wcześniej długoszyjnego zauropoda, opisanego przez Curry Rogers podczas studiów doktoranckich na Stony Brook University. Zdecydowana większość kości, głównie żebra i kręgi, z wyraźnymi śladami zębów należy jednak do samego mażungatola. Kanibalizm wcale nie jest rzadką strategią pokarmową pośród żyjących dziś zwierząt i na pewno nie powinien nas zaskakiwać u dinozaurów. Odkrycie kopalnych świadectw kanibalizmu to jednak inna sprawa i tylko nam na podstawie wykopalisk z Madagaskaru udało się dobrze udokumentować przypadek tego zjawiska wśród dinozaurów. Niestety, ślady ogryzania nie przesądzają, czy *Majungatholus* faktycznie zabił osobniki, na których żerował, a więc czy polował na przedstawicieli własnego gatunku, czy po prostu oportunistycznie żywił się ich padliną.



OWALNE JAMKI w kościach dinozaura (powyżej) to znak, że zwłoki zostały zasiedlone przed chrząszcze żywiące się padliną i składające w niej jaja (poniżej).



WYMOWNE ŚLADY na kościach i drobniejsze rowki w ich obrębie (strzałki), dokładnie pasują wielkością i rozstawieniem do zębów mażungatola oraz karbów na ich piłkowanych przednich i tylnych krawędziach tnących.

powstawanie zespołów kolejnych skosnie nachylonych warstewek osadów, co geolodzy nazywają uławiceniem przekątnym.

Dinozaury i rozmaite inne zwierzęta niewątpliwie odwiedzały te rzeki w poszukiwaniu wody, pożywienia lub schronienia. Kości ze stanowiska MAD05-42 są rozproszone właśnie w jednym z takich dawnych koryt rzecznych. Przez część roku koryta były suche, czasami

jednak wypełniały się rwącym nurtem gęstego koktajlu błota i piasku. Wrócimy jeszcze do tych szlamów, bo grają ważną rolę w naszej historii.

Ustalenie sprawcy

ZWIERZĘ może zakończyć żywot na wiele sposobów – zbyt wiele, by w zapisie kopalnym jednoznacznie wskazać zabójcę. Ale w przypadkach masowej zagłady, jak w formacji Maevarano, wybór ma-

leje. Starając się ograniczyć możliwości do jednej, znowu odwołaliśmy się do tafonomii. Na cmentarzyskach paleontologicznych Madagaskaru na ogół zgromadzone są szczątki więcej niż jednego gatunku; są to rozmaite dinozaury, jak w MAD05-42, a nawet przedstawiciele wielu różnych grup zwierząt, jak w stanowisku MAD93-18 [ramka na stronie 55], w którym znaleziono pozostałości szkieletów ryb, żółwi, węży, krokodyli,

MORDERCZE SŁOŃCE. Zwierzęta zebrały się w korycie wysychającej rzeki i tam zginęły, gdy skończył się pokarm i woda. Wielki dinozaur *Majungatholus* żerował na szczątkach rapetozaura (na pierwszym planie), jak również własnych pobratymców (w głębi z lewej). Ptaki (*Rahonavis*) też żywiły się padliną. Bezpośrednią przyczyną śmierci mogło być odwodnienie, udar cieplny, głód, a nawet zatrucie stojącej wody. Padliną żywiły się też inni mięsożercy i owady. Kres dramatowi położyły spływy błotne spowodowane przez ulewne deszcze, szczelnie okrywając zwierzęce szczątki i pozwalając im przetrwać miliony lat.



trzech gatunków nieptasich dinozaurów, a także ptaków i ssaków. Zabójca nie był zatem wybredny, nie zwracał uwagi na rozmiary ofiar, ich wiek, przynależność systematyczną ani środowisko życia – co wystarcza, by z kręgu podejrzanych wykluczyć drapieżnika, na przykład mięsożernego dinozaura czy krokodyla, ponieważ – przynajmniej

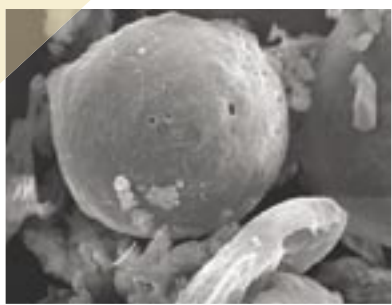
w naszych czasach – drapieżniki mają zwykle jakieś, mniej lub bardziej zdecydowane, preferencje.

Nie znajdujemy też żadnego potwierdzenia scenariusza odwołującego się do zarazy (choć trudno, dysponując skamieniałymi kośćmi, wykluczyć choroby). A ponieważ ofiary nie zginęły jednocześnie, można odrzucić tak nagle i dramatyczne scenariusze, jak trzęsienie ziemi, powódź albo pożar. Cokolwiek zabiło te zwierzęta, działało przez dłuższy czas i atakowało ofiary pojedynczo po tym, jak z własnej woli dotarły nad rzekę. Mamy też niezbity dowód, że morderca uderzał wielokrotnie w różnych miejscach, ale za każdym razem w bardzo podobny sposób. Zwierzęta nie padły jak rażone gromem pewnego pechowego dnia, takich złych dni było wiele.

Cały materiał dowodowy wskazuje jednego zabójcę: suszę. Mamy do czynienia z podzwrotnikowym ekosystemem, z wyraźnymi świadectwami niedoboru wody i sezonowości klimatu.

Zwierzęta najwidoczniej zebrały się w korycie wysychającej rzeki, prawdopodobnie wokół pozostałych zbiorników, gdzie kolejno ginęły, gdy kończyło się pożywienie i woda. Dzisiaj mordercze susze, zwłaszcza w niektórych rejonach Afryki i wnętrza Australii, także zmuszają zwierzęta do skupiania się wokół ocalałych zbiorników. Gdy deszcz nie nadchodzi, tysiące zwierząt padają w miejscu, z którym wiązały ostatnią nadzieję na znalezienie wody, a ich ciała mogą latami gromadzić się w takich „strefach śmierci”.

Badania nad przyczynami śmierci wskutek suszy w naszych czasach wskazują, że zwierzęta z cmentarzysk Maevrano mogły umierać z wielu powodów: odwodnienia, udaru cieplnego, niedożywienia, a nawet zatrucia wskutek zakażenia kurczących się zatęchłych zbiorników wody. Mamy pewne przesłanki świadczące, że w takich bajorach mogło dochodzić do zakwitu glonów. Michael Zavada z East Tennessee State Univer-



ZARODNIKI GLONÓW znalezione w skałach kryjących kości świadczą, że wody kurczących się bajor mogły być trujące.



sity, specjalista od pyłków kredowych roślin, wyizolował zarodniki glonów ze skał otaczających kości [ilustracja na stronie obok]. Trzeba jednak jeszcze zweryfikować, czy są one wystarczającym świadectwem zakwitów.

Ale jak to możliwe, że zachowały się szczątki zwierząt, wiele z nich w tak znakomitym stanie? Nie przetrwałyby długo na powierzchni gruntu, regularnie przeczesywanej przez padlinożerców i wystawionej na działanie słońca, pod którego wpływem nawet największe kości powoli, ale nieubłaganie bieleją, aż zaczynają się kruszyć i w końcu obracają się w pył. Aby utrwaliły się w zapisie kopalnym, musiały być szybko pogrzebane. Można zaryzykować twierdzenie, że rychły pochówek jest dla doczesnych szczątków kluczem do wieczności.

Na szczęście dla nas, paleontologów, mordercza pogoda miała współnika – bardzo sprawnego grabarza. Susza, która okresowo przynosiła zagładę w spieczonych koryta rzek, musiała w koń-

cu ustępować, a kiedy deszcze wracały, i to zwykle gwałtownie, powodowały intensywne spływy błota. Lepki zielony szlam i piasek zalewał i okrywał kości. Charakterystyka sedimentologiczna osadów ze skamieniałościami odpowiada szczególnej kategorii przepływu płynu, w którym tłumiona jest turbulencja, i zarówno woda, jak i osad przemieszczają się jako plastyczna całość. Takie zjawisko, znane jako spływ błotny, zdarza się i dzisiaj. Niedawnym przykładem są śmiertelne osuwiska w Gwatemali w 2005 roku, wywołane przez ulewne deszcze huraganu Stan.

Kolejne mordercze posuchy zbierały żniwo, a potem grube warstwy mułu

i piasku pokrywały ciała i rozrzucone kości zwierząt, które umarły czy to chwilę przedtem, czy to wiele miesięcy wcześniej, grzebiąc je na wieki we wspólnej mogile. Dopiero 70 mln lat później otworzyliśmy te grobowce, a zdumiewająca historia ich powstania ujrzała światło dzienne. ■

* Formalnie ptaki są podgrupą teropodów (dinozaurów drapieżnych), które przystosowały się do latania, podobnie jak nietoperze wśród ssaków. Nie należy wyodrębniać jej w osobny takson wyższej rangi (np. gromadę), by nie łamać zasady monofiletyczności, czyli skupiania wszystkich potomków jednego przodka w tym samym taksonie. *Rahonavis* i *Majungatholus*, które miały wspólnego przodka około 200 mln lat temu, są bliżej spokrewnione ze sobą niż z żółwiami czy jaszczurkami (ostatni wspólny przodek żył około 300 mln lat temu).

JEŚLI CHCESZ WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Potwory z Gondwany. John Flynn i David Krause; *National Geographic*, tom 2, nr 8, s. 68-81; VIII/2000.

The Natural History of Madagascar. Red. i tłum. Steven M. Goodman i Jonathan P. Benstead; University of Chicago Press, 2004.

Cannibalism in the Madagascan Dinosaur *Majungatholus atopus*. Raymond R. Rogers, David W. Krause i Kristina Curry Rogers; *Nature*, tom 422, s. 515-518; 3 IV 2003.