

## ODKRYCIA

Skąd zdobyć informacje o diecie, zdrowiu i pasożytach nękających zwierzęta, które dawno wyginęły?

Jest takie źródło – niezwykle cenne, choć może mało estetyczne: koprolity, czyli po prostu skamieniałe ekskrementy.



dr Krzysztof Owocki

Institut Paleobiologii  
Polska Akademia Nauk, Warszawa

**Dr Krzysztof Owocki** jest adiunktem Zakładu Paleobiologii Środowiskowej IP PAN. Zajmuje się przede wszystkim mikrotafonomią, diagenезą i geochemią skamieniałych kości i zębów mezozoicznych kręgowców lądowych, jest również członkiem międzynarodowego zespołu badającego koprolity z mezozoiku Polski i późnego permu Rosji.  
kowoc@twarda.pan.pl

**K**oprolity tak jak tropy, gniazda, nory czy ślady żerowania są zaliczane do skamieniałości śladowych (ang. *trace fossils*). Większość ich pierwotnego składu chemicznego ulega zmianie podczas procesów fosylizacji i zwykle jest zastąpiona węglanem lub fosforanem wapnia, krzemionką albo syderitem. Na ich powierzchni mogą się również zachować ślady związane z ich wysuszeniem, przyklejeniem, ścieraniem lub złamaniem, co jest związane ze środowiskiem ich pogrzebienia, zanim uległy fosylizacji. Dostarczają jednak informacji o aktywności fizjologicznej organizmu i mają też często dużo większą szansę zachowania się w zapisie kopalnym – każde zwierzę w ciągu swojego życia pozostawia po sobie tysiące odchodów.

W literaturze naukowej koprolity jako pierwszy opisał w 1829 r. brytyjski geolog i paleontolog William Buckland, który w części brzusznej jurajskich ichtiozaurów odkrył dziwne kamienne struktury z kośćmi ryb i zidentyfikował je jako skamieniały kał.

## Podejście

W ostatnich dziesięcioleciach w badaniach koprolitów dokonany został znaczący postęp. Badacze, zamiast postrzegać je wyłącznie jako produkt uboczny działalności życiowej zwierząt, zaczęli je traktować jako kapsuły czasu, w których ukryte zostały informacje na temat pradawnych ekosystemów.

Analiza koprolitów jest prosta i wykorzystuje się do niej niedrogi techniki. Morfologia i rozmiar – kształt spirali, segmentacja, stosunek długości do szerokości – służą do klasyfikacji dowolnego zbioru na różne

morfotypy. Takie informacje mogą pomóc rozróżniać koprolity pochodzące od różnych zwierząt, a w najlepszym wypadku umożliwiają identyfikację konkretnego producenta.

Ale najcenniejsze informacje paleobiologiczne niosą ze sobą zawarte w koprolitach inkluzje. Tradycyjnie, aby je zbadać, należy rozmyć lub rozpuścić dany koprolit lub, gdy jest dobrze zmineralizowany, wykonać preparat do badań w mikroskopie optycznym. Zarówno uzyskane z rozmycia/rozpuszczania inkluzje, jak i preparaty można również badać za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego, co umożliwia zobrazowanie szczegółów badanego obiektu w mikrometrowej skali. Są to zdecydowanie najczęściej używane techniki ujawniania struktur, takich jak odłamki kości czy pasożyty, w koprolitach. Rozpuszczanie w kwasach próbek koprolitu może być skuteczne przy poszukiwaniu w nich pozostałości pyłków i zarodników oraz pasożytów. Znacznie rzadziej stosuje się w badaniach koprolitów analizy geochemiczne, takie jak określanie koncentracji pierwiastków z grupy lantanowców, które stosowane są do analizy aspektów tafonomicznych, czyli rekonstrukcji historii pogrzebienia i środowiska fosylizacji. Stosuje się także analizy stabilnych izotopów węgla w celu zbadania diety roślinożerców. Badania te są kosztowne i inwazyjne, gdyż badana próbka ulega podczas analizy całkowitej dezintegracji.

## Spojrzenie

Na początku tego wieku niemiecki paleontolog Adolf Seilacher i inni badacze słusznie uznali koprolity za nową kategorię procesów fosylizacyjnych (tzw. Konservat-Lagerstätte), które jako takie należy wyodrębnić z zasobów muzealnych szafek i magazynów. W ostatnich latach uwagę badaczy przykuła częsta znakomita konserwacja w nich tkanek miękkich, i to zarówno bezkręgowców, jak i kręgowców. Wydaje

# Z ODCHODÓW

się, że proces ten jest ściśle powiązany z wczesną mineralizacją pod wpływem aktywności bakteryjnej w odchodach. Obfitość fosforanu w ekskrementach drapieżników znacznie zwiększa nie tylko możliwość przemiany koprolitów w skamieniałości, ale także ułatwia fosylizację zawartych w nich miękkich tkanek. Znane są przypadki zachowania tak delikatnych struktur jak tkanka mięśniowa wewnątrz koprolitów dinozaurów drapieżnych, jaja tasiemców (włącznie z rozwijającymi się w nich embrionami) w permskim koprolicie rekina, a także włosy paleoceanickich ssaków.

Zasadniczym wymogiem dla zachowania tkanek miękkich jest kompletne lub częściowe zahamowanie procesów prowadzących do całkowitego rozkładu materiałów organicznych, co może zostać spowodowane czynnikami środowiskowymi (np. pH, utlenianie, temperatura) lub przez aktywność biomineralizujących mikroorganizmów. Najczęściej badane koprolity pochodzą od zwierząt mięsożernych, gdyż są znacznie liczniejsze w zapisie kopalnym niż kopro-

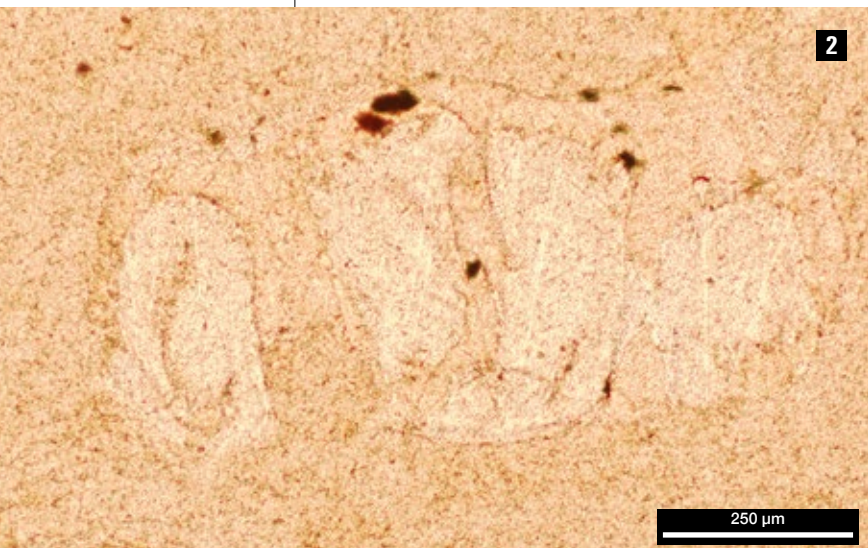
lity roślinożerców. Jest to związane z dużą zawartością fosforanu w odchodach drapieżników z powodu diety składającej się z mięśni i kości, co przekłada się na ich większy potencjał fosylizacyjny niż w przypadku bogatej i łatwo ulegającej rozkładowi materii roślinnej w odchodach roślinożerców. Wysoka zawartość fosforanu w koprolitach doprowadziła nawet w XIX w. do eksploatacji koprolitów jako cennego nawozu fosforanowego do celów rolniczych.

## Ujawnienie

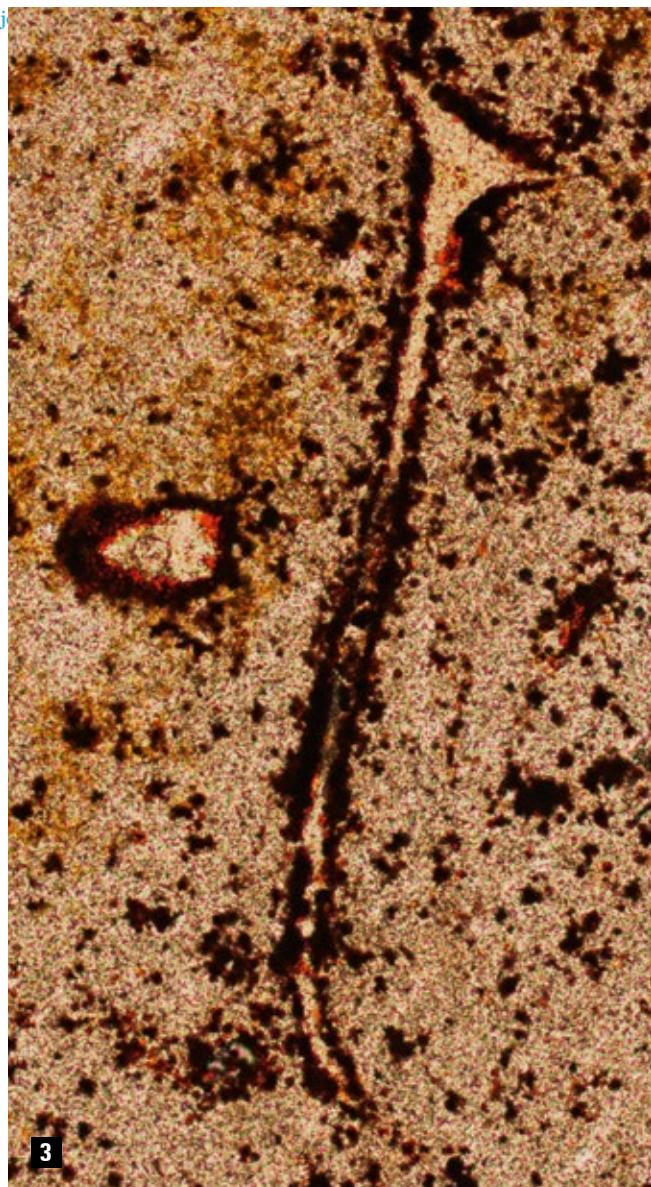
W latach 70. ubiegłego stulecia amerykański paleontolog Robert T. Bakker zasugerował, że kopalne gady zwane terapsydami były endotermiczne i posiadały futro. Argumentował to m.in. tym, że kości terapsydów są silnie unaczynione, niektóre z nich zamieszkiwały strefy klimatyczne zbyt chłodne dla zwierząt o gadzim metabolizmie, stosunki ilościowe pomiędzy drapieżnikami i ofiarami w ich populacjach przypominały zaś te u dzisiejszych ssaków. W ciągu ostatnich



ZDJEŃCIE Z MIKROSKOPIU SKANINGOWEGO



ZDJEŃCIE Z MIKROSKOPIU OPTYCZNEGO



Fot. 1  
Kość płaza  
wewnątrz koprolitu  
(średnica kości ok. 0,7 mm).

Fot. 2  
Elementy w koprolicie  
interpretowane jako  
pozostałości działania  
pasożytniczego.

Fot. 3  
Struktury interpretowane  
jako pozostałości włosów.

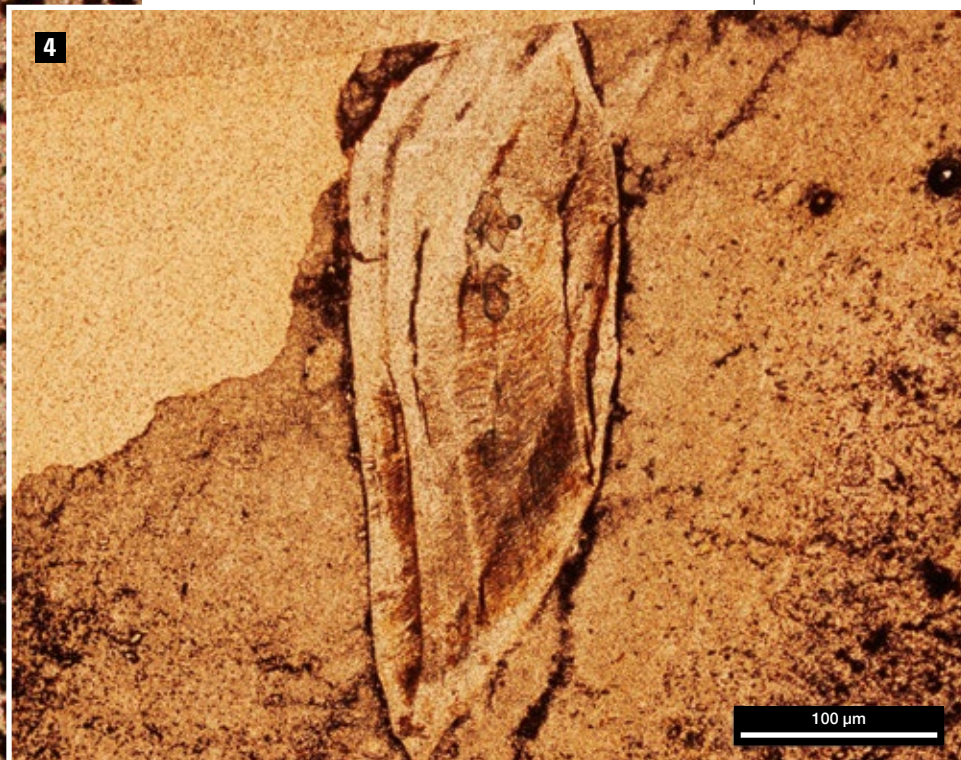
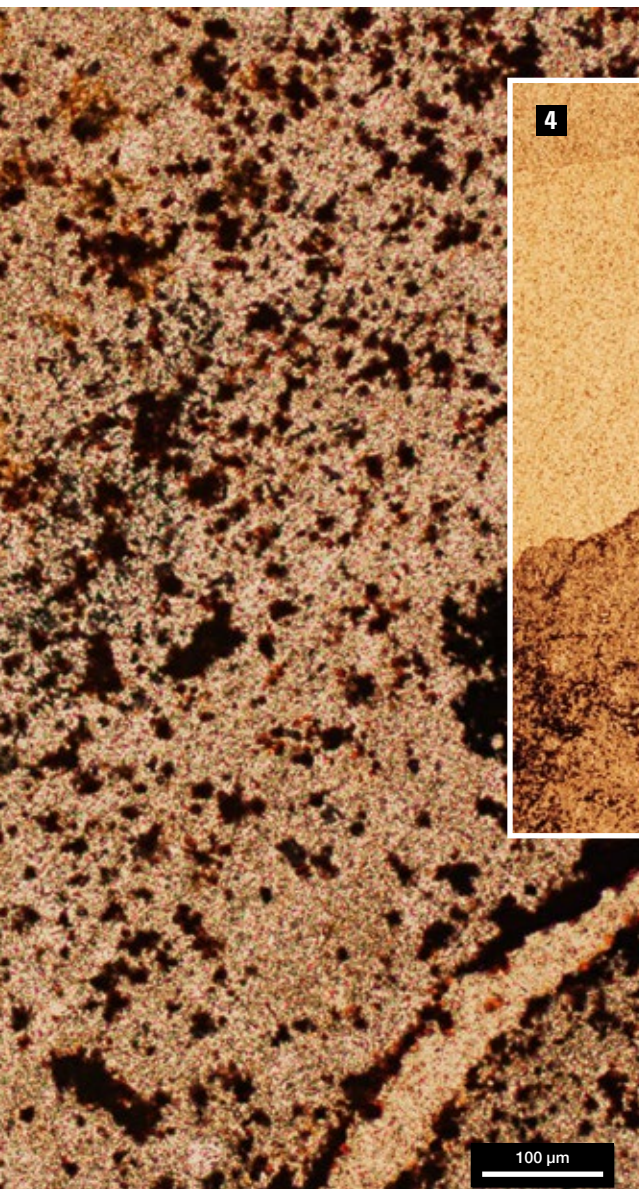
Fot. 4  
Łuska ryby  
promieniopłetwej  
w koprolicie.

kilku lat badania koprolitów rzuciły nowe światło na fizjologię przodków ssaków i ich krewnych. Badacze z Południowej Afryki znaleźli w permskich koprolitach więcej niż tylko kości. Niektóre koprolity zawierały enigmatyczne podłużne struktury o średnicy kilkunastu mikrometrów i długości kilku milimetrów. Roger M.H. Smith i Jennifer Botha-Brink z Bloemfontein Paleosystems Centre zasugerowali, że struktury te to szczątki roślin, grzybów lub – być może – także włosów.

Nasz zespół badał m.in. koprolity pochodzące z rosyjskiego późnopermskiego stanowiska we Vyznikach, gdzie wyróżniliśmy łącznie dziewięć różnych morfotypów koprolitów, przy czym naszą uwagę szczególnie przykuły dwa największe. Niestrawione fragmenty kości są obecne w koprolitach typu A, są natomiast dość rzadkie i silnie strawione w koprolitach typu B. Gady takie jak np. krokodyle charakteryzują się dłuższym trawieniem niż ssaki i trawią spożyte kości praktycznie doszczętnie. Niestrawione kości są natomiast często znajdowane w odchodach ssaków. Idąc tym tokiem rozumowania, przypisaliśmy bogate w kości koprolity typu A terapsydowym mięsożercom, natomiast ubogie w kości koprolity typu B

archozauromorfom. Obie wspomniane grupy występują w zapisie kopalnym Vyznik, niemniej terapsydy wydają się bardziej prawdopodobne jako zwierzęta o szybszym metabolizmie niż wczesne archozauromorfy (przodkowie dzisiejszych krokodyli i ptaków).

Wśród inkluzji wewnątrz badanych przez nas koprolitów znaleźliśmy m.in. fragmenty dużych koron zębów archozauromorfów, wytrawiony ząb ryby dwudysznej, szczątki ryb promieniopłetwych (łuski i małe fragmenty kości) oraz odłamki kości płazów i gadów. Jednakże najdziwniejsze okazały się rurkowate struktury o długości do 4 mm, które zinterpretowaliśmy jako odlewy włosopodobnych obiektów, przy czym niektóre zdają się nawet ukazywać rozgałęzione korzenie. Włosy są bardzo wytrzymałe na trawienie i często są obecne w odchodach dzisiejszych mięsożerców oraz znane są ze skamieniałych odchodów z paleoceanu. Jeśli interpretacja ta jest słuszna, opisane przez nasz zespół struktury są dwukrotnie starsze niż najwcześniejszy dotychczas znany zapis włosów jurajsko-kredowych ssaków. Wskazywałoby to, że niektóre terapsydy wykształciły włosopodobną okrywą ciała już w późnym paleozoiku, jeszcze przed pojawieniem się pierwszych ssaków. Włosy te miały prawdopodobnie



ZDJEĆIE Z MIKROSKOPU OPTYCZNEGO

ZDJEĆIE Z MIKROSKOPU OPTYCZNEGO

### Skatologia lub inaczej koprologia

– nauka zajmująca się badaniem odchodów – jest ważną dziedziną medycyny i zoologii. Zoolog zajmujący się ssakami rzadko widuje interesujące go osobniki, lecz ekskrementom przygląda się często. Te należące do zagrożonych gatunków są tak cenne, że specjalnie do ich wyszukiwania szkoli się psy tropiące. W Rosji na przykład szukają one odchodów tygrysów syberyjskich.

funkcję termoregulacyjną jako izolacja cieplna. Już w latach 60. XX w. niektórzy badacze sugerowali, że włosy ssaków mogłyby być pochodzenia czuciowego, a perforacje występujące na czaszce późnopermskiego terapsyda *Olivera parringtoni* wskazują właśnie na obecność włosów czuciowych. Odkrycia z Południowej Afryki i Rosji sugerują, że mięsożerne terapsydy z późnego permu zdążyły rozwinąć izolację cieplną (futro) i przyspieszony metabolizm. Opublikowane w tym roku przez międzynarodowy zespół w „Life” wyniki badań składu izotopowego tlenu z kości i zębów terapsydów zdają się potwierdzać nasze przypuszczenia.

## Oczekiwanie

Powyższe metody badania koprolitów są destrukcyjne i inwazyjne, przez co nie zawsze można ich użyć, zwłaszcza gdy w danym stanowisku paleontologicznym koprolity są rzadkie lub prawie w ogóle nie występują, albo mamy do czynienia z okazami muzealnymi. Rozwiązaniem tego problemu może być mikrotomografia synchrotronowa (PPC-SRμCT), pozwalająca na uzyskanie wysokiej jakości wirtual-

nej trójwymiarowej rekonstrukcji inkluzji wewnątrz koprolitów, takich jak delikatne szczątki chrząszczy lub pozostałości ryb i fragmenty małży. Takie skany są nieinwazyjne i pozwalają precyzyjnie badać rzadkie próbki bez naruszenia ich struktury lub modyfikacji składu chemicznego. Całą zawartość koprolitu można odwzorowywać w trzech wymiarach z niezwykle wręcz dokładnością, co umożliwia ocenę statystyczną istotną dla pytań paleobiologicznych, takich jak dieta, pasożytnictwo i identyfikacja producentów koprolitu. Możliwe jest również dokonywanie ilościowych pomiarów cech, takich jak pęcherzyki gazu, a nawet badanie wewnętrznej struktury poszczególnych inkluzji.

Ponieważ, tak jak bursztyn, koprolity działają jak małe środowiska (osobliwości) fosylizacyjne typu Konservat-Lagerstätten, można się spodziewać, że dzięki tej nowatorskiej metodzie wiele rzadkich i nowych skamieniałości zostanie wkrótce odkrytych. W przypadku zastosowania tej metody do większej liczby koprolitów z tego samego stanowiska paleontologicznego możliwe będzie lepsze poznanie piramidy troficznej pradawnych ekosystemów.

**KRZYSZTOF OWOCKI**

Chcesz wiedzieć więcej?

Bajdek P., Qvarnstrom M., Owocki K., Sulej T., Sennikov A.G., Golubev V.K., Niedźwiedzki G. (2016). Microbiota and food residues including possible evidence of pre-mammalian hair in Upper Permian coprolites from Russia. *Lethaia* 49, 455–477.

Bajdek P., Owocki K., Sennikov A.G., Golubev V.K., Niedźwiedzki G. (2017). Residues from the Upper Permian carnivore coprolites from Vyazniki in Russia – key questions in reconstruction of feeding habits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 482, 70–82.

Qvarnström M., Niedźwiedzki G., Tafforeau P., Žigaitė Ž. & Ahlberg P.E. (2017). Synchrotron phase-contrast microtomography of coprolites generates novel palaeobiological data. *Scientific Reports*, 7: 2723, DOI: 10.1038/s41598-017-02893-9