



**Dr Maciej T.
Krajcarz**

zajmuje się stratygrafią oraz odtwarzaniem procesów depozycyjnych i postdepozycyjnych na archeologicznych i paleontologicznych stanowiskach jaskiniowych w Polsce i w Azji Środkowej. W swoich badaniach wdraża metody biogeologii i geoarcheologii. Stypendysta Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego RP oraz Niemieckiej Agencji Wymiany Akademickiej (DAAD). Prowadzi wykłady na Uniwersytecie Warszawskim oraz Narodowym Uniwersytecie w Nowosybirsku.
mkrajcarz@twarda.pan.pl

WIEDZA Z KOŚCI

Kopalne kości dostarczają naukowcom informacji na temat wieku skał, ale też środowiska i klimatu, w których żyli dawni ludzie i zwierzęta. Trzeba tylko wiedzieć, jakich metod użyć, żeby te informacje wydobyć.

dr Maciej T. Krajcarz

Instytut Nauk Geologicznych
Polska Akademia Nauk, Warszawa

Zwierzęce kości znajdowane są często podczas prac wykopaliskowych, zwłaszcza w jaskiniach, ale też na terenie dawnych obozowisk łowieckich, osad, grodów i w miejscach składowania odpadków. Kości ludzkie są rzadsze, jedynie na niektórych typach stanowisk archeologicznych, przede wszystkim na cmentarzyskach, należą do głównych znalezisk. Są ważnym obiektem badań w archeologii, antropologii, paleontologii i geologii. Przynoszą wiele istotnych informacji na temat czwartorzędzie i starszych okresów.

Są stosowane w biostratygrafii, czyli określaniu wieku skał w oparciu o tzw. skamieniałości przewodnie, czyli gatunki charakterystyczne dla określonych okresów geologicznych. Metoda ma ograniczone zastosowanie w czwartorzędzie, ze względu na stosunkowo krótki czas jego trwania, w którym nie mogło

zająć wiele ważnych zmian ewolucyjnych. Znacznie większe znaczenie mają kości kopalne dla chronostratygrafii tego okresu, czyli mierzenia tzw. bezwzględnego wieku warstw w latach (częściej w tysiącach, dziesiątkach tysięcy i setkach tysięcy lat). Są dobrym materiałem zwłaszcza do datowania radiowęglowego i uranowo-torowego, gdyż gromadzą jeszcze za życia osobnika promieniotwórcze izotopy węgla i uranu. Wreszcie badania kości są narzędziem analizy zmian środowiska (klimatu, krajobrazów, ekosystemów), jako że na podstawie składu gatunkowego zespołu kopalnego można wnioskować o składzie dawnych biocenoz i o dawnych środowiskach. Również badania biogeochemiczne kości pozwalają na wnioskowanie o paleoekologii i klimacie. Służą temu np. analizy stosunków izotopów trwałych węgla, tlenu, wodoru, siarki i azotu w szczątkach, które odzwierciedlają dietę i środowisko życia zwierząt i ludzi.

Wędrowki

Podstawą wymienionych badań na zespołach kości kopalnych jest wiedza o ich homogeniczności. Niezależnie od celu i rodzaju badań, żeby miały one sens,



Żuchwa hieny jaskiniowej znaleziona w Jaskini Perspektywicznej na Wyżynie Częstochowskiej. Choć hieny kojarzą nam się z Afryką, żyły niegdyś w Europie Środkowej i wymarły na tym terenie ok. 40 tys. lat temu. Jednak ta kość została znaleziona w warstwie, które odłożyła się zaledwie tysiąc lat temu. Jest to wymowny przykład redepozycji, czyli wtórnego przemieszczenia się obiektów między warstwami geologicznymi.

kości muszą być jednowiekowe i z tego samego czasu, w którym doszło do akumulacji osadu. W przeciwnym razie badałoby się nie zespół kości odpowiadający danemu okresowi, lecz przypadkowy zbiór kości, reprezentujących różne środowiska i ekosystemy.

W badaniach polskich stanowisk zespoły kopalnych kości w osadach czwartorzędowych były przez długi czas traktowane jako stosunkowo homogeniczne. Przyjmowało się, że zostały oryginalnie zdeponowane w tych samych warstwach, w których zostały znalezione podczas prac wykopaliskowych. Tymczasem liczne badania prowadzone za granicą, jak również prace rozpoczęte w Polsce przez autora tego artykułu i obserwacje sygnalizowane przez innych badaczy wskazują, że pewna część kości w polskich osadach późnoczwartorzędowych nie znajduje się *in situ*, tzn. w miejscu ich pierwotnej depozycji.

Kości mogą być przemieszczone pomiędzy warstwami z różnych powodów. Najważniejsze to przemieszanie osadu przez zwierzęta, które wygrzebują nory, mogą zarówno wykopywać, jak i zakopywać kości. Duże znaczenie mają również procesy związane z oddziaływaniem mrozu: kości i inne obiekty mogą się osuwać w szczeliny powstające w głęboko przemar-

zniętym osadzie albo wymarzać, czyli powolnie przemieszczać się spod ziemi ku górze wypchane przez soczewki lodu gruntowego tworzące się każdej zimy. Wpływ na ich położenie może też mieć transport geologiczny. Erozja, zwłaszcza rzeczna, lub denudacja na stoku mogą naruszyć różnowiekowe pokłady i przemieścić je, a w końcu zdeponować w nowym miejscu

Czym jest diagenезa?

jest jedną z nielicznych tkanek kręgowców, które mają szansę przetrwać procesy rozkładu i zachować się w stanie kopalnym. Ogół przemian, jakim ulega kość od momentu znalezienia się w ziemi, nazywamy **fosylizacją** lub **diagenезą**. Rozpoczynają się one zaraz po śmierci osobnika i mogą trwać przez miliony lat, prowadząc do przekształcenia kości w skamieniałość. Ogólnie możemy je podzielić na **wczesną** i **późną diagenезę**. Granica między tymi dwoma etapami jest płynna, ale taki podział jest przydatny w badaniach tafonomicznych. **Wczesna diagenезa** zachodzi, gdy kość wciąż jeszcze zachowuje swoją pierwotną budowę i przyżyciowe składniki. **Późna diagenезa** to zjawiska zachodzące w skamieniałościach, czyli w szczątkach mocno zmienionych.

kości pochodzące z różnych warstw. Niektóre środowiska geologiczne są szczególnie predysponowane do mieszania różnowiekowych kości, zwłaszcza koryta rzeczne oraz podnóża stoków. Ale nawet tam, gdzie akumulacja osadów zachodzi spokojnie, np. w jaskiniach lub w przypadku osadów nawiewanych przez wiatr, może dojść do przemieszania wskutek wtórnych procesów postsedymentacyjnych.

Ograniczenia

Istnieje kilka sposobów ustalania, czy kości z danego zespołu są jednowiekowe. Najprostszym kryterium jest analiza ogólnego makroskopowego stanu ich zachowania, a więc takich cech jak kolor, kruchość, stopień spękania i pokrycia wytrąceniami mineralnymi. Metoda ta jest jednak na tyle subiektywna, że może mieć co najwyżej wstępny charakter.

Innym sposobem jest analiza paleoekologiczna zespołu. Opiera się ona na oczywistym założeniu, że kości osobników, które żyły razem, muszą reprezentować jeden ekosystem. Zatem kości zwierząt z różnych środowisk, np. tundrowych (takich jak piżmowół albo leming) i typowo leśnych (jak ryś lub wiewiórka) pochodzą z różnych okresów geologicznych. Jeśli szczątki zwierząt o różnych wymaganiach ekologicznych występują razem, jednoznacznie wskazuje to na zmieszanie zespołów. Metoda ta zawodzi jednak w przypadkach zmieszania zespołów pochodzących z podobnych środowisk, jak również w przypadku wymarłych gatunków, o których ekologii niewiele wiadomo.

Najlepszą metodą jest datowanie fizykochemiczne, ponieważ pozwala ono określić czas, w którym każda kość została zdeponowana. Najbardziej precyzyjne są datowania radiowęglowe. Pozwalają nie tylko na określenie jednorodności, ale też na wydatowanie momentu, kiedy nastąpiła depozycja. I ten sposób ma jednak istotne ograniczenia. Po pierwsze, jest kosztowny. Po

drugie, białkowy składnik kości, który zawiera organiczny węgiel będący podstawą datowania, musi być dobrze zachowany, a jest to komponent, który najłatwiej ulega rozkładowi. Po trzecie, po ok. 50 tys. lat liczba wciąż rozpadających się atomów radioaktywnego węgla C14 staje się tak mała, że pomiar ich zawartości jest niemożliwy.

Jest jeszcze jedna metoda ustalania jednorodności zespołu kości kopalnych: wykorzystanie geochemicznych zmian diagenetycznych.

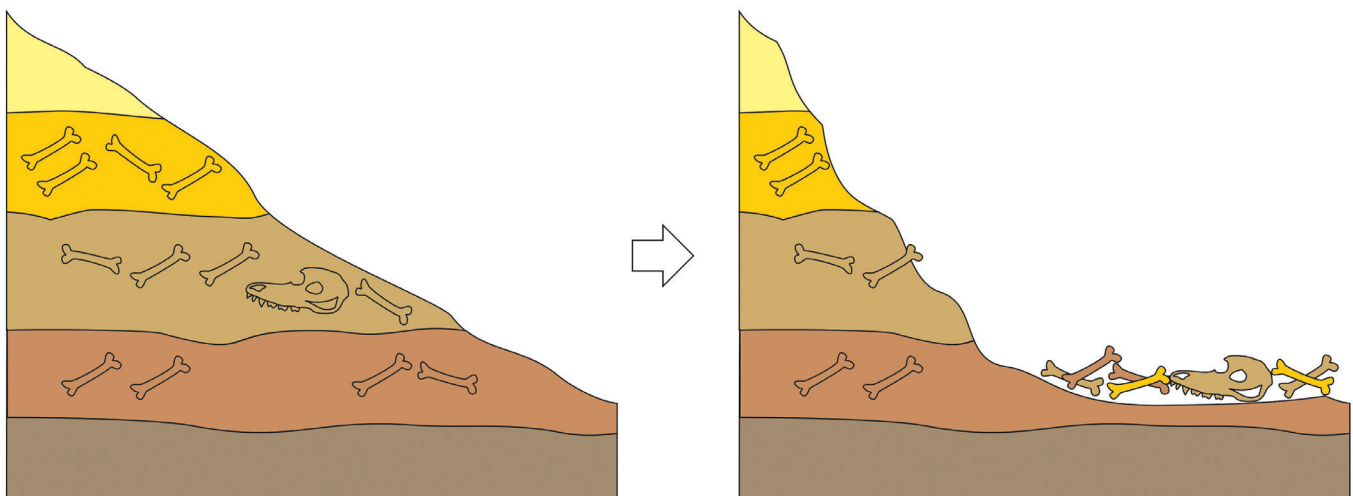
Odmienność

W badaniach kości czwartorzędowych, a więc młodych w geologicznej skali czasu, znaczenie ma wczesna diagenеза. Składają się na nią:

- rozpuszczanie lub hydroliza prowadzące do usunięcia organicznych lub mineralnych składników kości, w zależności od wilgotności osadu i pH wody przesączającej się przez kość;
- rekrytalizacja, czyli rozpuszczanie i ponowna krytalizacja apatytu (składnika kości, minerału z grupy fosforanów), prowadząca do zmniejszenia porowatości i zmiany składu chemicznego kryształów wskutek wbudowania jonów ze środowiska,
- absorpcja i adsorpcja jonów z wód gruntowych, prowadząca do zmiany składu chemicznego apatytu;
- mineralizacja, czyli wytrącanie nowych minerałów, najczęściej kalcytu, pirytu, gipsu i innych;
- fragmentacja i kompaktacja, czyli zniekształcenie kości wskutek mechanicznego nacisku wywieranego przez otaczający osad.

Diagenеза zmienia różne parametry kości, takie jak skład chemiczny, skład mineralny, stopień krytaliczności, porowatość, strukturę tkanki, fragmentaryczność i rozmiar. Każdy z nich można wykorzystać w analizie jednorodności zespołów.

Koncepcja „geochemicznego odcisku palca”. Kości zdeponowane w różnych warstwach geologicznych uzyskują odmienny skład chemiczny. Wskutek erozji i ponownego zdeponowania w nowym miejscu kości z różnych warstw mogą zostać zmieszane razem, ale pierwotne cechy chemiczne nabyte podczas wczesnej diagenезы pozostają i pozwalają na rozpoznanie pochodzenia poszczególnych okazów.



DR MACIEJ T. KRAJCARZ



Dotychczasowe badania wskazują, że kości pochodzące z różnych warstw mają odmienny skład chemiczny apatytu. To skutek oddziaływania na kość warunków zewnętrznych, takich jak wilgotność, porowatość, pH i potencjał redoks osadu oraz różna dostępność jonów w środowisku. Zjawisko to, nazywane „geochemicznym odciskiem palca”, można wykorzystywać do rozpoznawania, z której warstwy pochodzi dana kość, a w konsekwencji do ustalenia jednorodności zespołu.

Ślady

Apatyt kostny, zwany też bioapatytem, przyjmuje podręcznikowy wzór hydroksylapatytu $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. Wzór ten pokazuje jednak tylko uproszczony skład chemiczny, gdyż nie uwzględnia pierwiastków śladowych, które w niewielkich ilościach zawsze występują w bioapatycie. Metale takie jak Na, K, Mg, Sr, Ba czy lantanowce podstawią pozycję wapnia. Fosforan jest częściowo zastępowany m.in. węglanem, siarczanem i wodorofosforanem. Natomiast w pozycję grupy OH^- podstawią się jony F^- , Cl^- lub O^{2-} . Zawartość pierwiastków głównych w apatycie, czyli wapnia, fosforu i tlenu, nie zmienia się znacząco w trakcie diagenety. Natomiast istotne zmiany dotyczą pierwiastków śladowych.

Ważne pytanie, które nasuwa się w kontekście stosowania zmian chemicznych do badań jednorodności brzmi: jak szybko i w jakich kierunkach one zachodzą w zależności od osadu. Autor przeprowadził eksperyment: zakopał świeże kości zwierzęce w pojemnikach z różnymi rodzajami osadów, takich jak piaski, lesy, gliny, torfy i namuły. Trzymał je w laboratorium w kontrolowanych warunkach temperatury i wilgotności przez 2,5 roku, a po odkopaniu analizował, jak zmienił się skład chemiczny kości. Okazało się, że w tak krótkim czasie – w porównaniu z setkami i tysiącami lat, jakimi mierzymy czas w geologii i archeologii – kości uległy znacznym zmianom, które zależały od rodzaju osadu i wilgotności. Pozwoliło to na wyróżnienie kierunków w których zachodzą zmiany diagenetyczne w zależności od warunków otoczenia. Eksperyment udowodnił również, że skład chemiczny kształtuje się już w pierwszych latach pobytu kości w ziemi. Oznacza to, że jeśli później nastąpi przemie-

szanie kości między różnymi warstwami, to poszczególne okazy będą już miały wykształcony charakterystyczny skład chemiczny, który pozwoli na identyfikację ich pierwotnego położenia.

Praktyka

Badania jednorodności zespołów są wdrażane na kilku polskich stanowiskach archeologiczno-paleontologicznych, m.in. w jaskiniach Biśnik, Nietoperzowej i Perspektywicznej, w których występuje po kilkanaście warstw zawierających kopalne kości. Prowadzi się je także dla średniowiecznych nawarstwień na rynku w Krakowie oraz dla stanowiska łowców mamutów i reniferów w Jaksicach.

Rozwijana w projekcie metoda pozwala na badanie kości niezależnie od stopnia zwiertzenia kolagenu, nie ma też limitów wiekowych, które ograniczają stosowalność datowania radiowęglowego. Co istotne przy badaniach dużych zbiorów kości, jest to też metoda znacznie tańsza. Nie pozwala co prawda na poznanie wieku tzw. bezwzględnego (w latach), ale umożliwia określenie względnych relacji wiekowych, czyli czy kości są jednowiekowe, czy nie.

Bardzo ważną możliwością zastosowania tej metody będzie jej użycie przy wyborze kości reprezentatywnych dla warstwy do datowań radiowęglowych lub innych badań – datowania U/Th, analizy stosunków izotopów trwałych czy badań genetycznych dawnych zwierząt i ludzi. Pozwoli ona na wyeliminowanie niepewności co do pochodzenia kości, które zawsze towarzyszą takim badaniom. Umożliwi także rozpoznawanie przynależności danego okazu do warstwy – co ma znaczenie w przypadku szczególnie ważnych kości: ludzkich w paleolicie, rzadkich lub wskaźnikowych gatunków, ze śladami obróbki antropogenicznej, a także o nieznannej lub niepewnej przynależności (z zagubioną lub zniszczoną dokumentacją, pochodzących z dawnych badań, odzyskanych z rabunku itd.). Pośrednio wnioski uzyskane na podstawie analizy szczątków kostnych mogą być argumentem w dyskusji nad ewentualnym przemieszaniem także innych źródeł archeologicznych, np. wyrobów krzemienych.

MACIEJ T. KRAJCARZ

Eksperymentalne badania zmian chemicznych w kościach. Po lewej pojemniki z różnymi osadami i przygotowane do zakopania fragmenty świeżych kości. Po prawej przykładowe kości odkopane po upływie 2,5 roku. Pierwszy okaz to kość porównawcza, niezakopywana. Najbardziej zmieniony okaz o czerwonym zabarwieniu był zakopany w torfie.

Chcesz wiedzieć więcej?

Krajcarz M.T. (2013). Geochemical evidence for postsedimentary re-deposition of animal bones at multilayered sites. The case of Biśnik Cave, southern Poland. *Archaeologia Polona* 49 (2011): 153–162.

Krajcarz M.T. (2017). Alteration of the metal content in bones after 2.5-year experimental exposure to sediments. *Archaeological and Anthropological Sciences*, doi: 10.1007/s12520-017-0533-2.

Trueman C.N., Behrensmeier A.K., Potts R. & Tuross N. (2006). High-resolution records of location and stratigraphic provenance from the rare earth element composition of fossil bones. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70: 4343–4355.