

Jak powstało ptasie pióro?

Tomasz Sulej & Grzegorz Niedźwiedzki

Piękne barwne oka piór pawiego ogona od stuleci zadziwiają ludzi. Jak mogło powstać coś tak niezwykłego? Gdy Karol Darwin ogłosił swoją teorię ewolucji, jej przeciwnicy przywoływali właśnie pióro pawia jako przykład struktury biologicznej, która nie mogła powstać drogą doboru naturalnego. Twórca teorii ewolucji wiele energii włożył w rozwiązanie tego zagadnienia, które wykraczało poza możliwości ówczesnej nauki. W tym samym czasie w skałach jurajskich Bawarii znaleziony został odcisk pióra prapłata, z którego znaczenia ani Karol Darwin, ani jego współcześni nie zdawali sobie jeszcze sprawy. Pióra są tworem wyjątkowymi, wyłącznymi dla ptaków. Już w okresie jurajskim umożliwiały im lot. Pierwotnie być może pełniły inne funkcje, na przykład jako izolacja termiczna. Pytanie o genezę ptasiego pióra pozostaje jednak bez odpowiedzi. Przebieg rozwoju (organogenezy) pióra nie daje na nie odpowiedzi, bowiem prawdopodobnie proces ten w toku ewolucji podległ wtórnej modyfikacji.

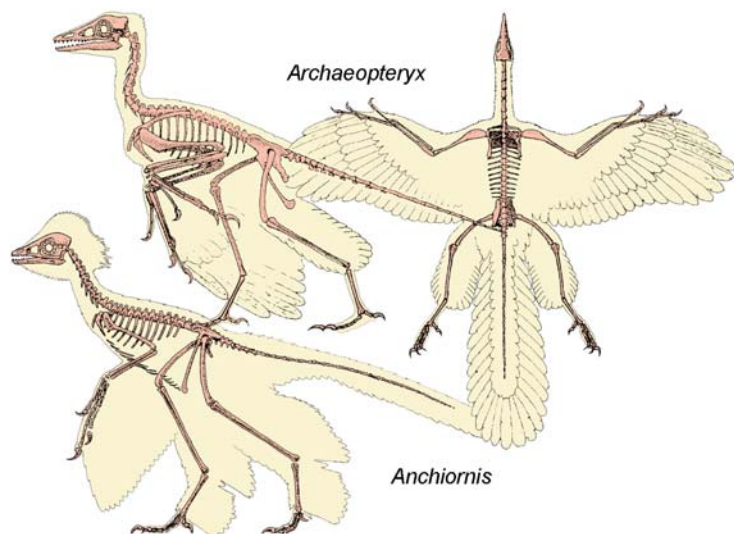
W 1975 roku Philips Regal zauważył, że jaszczurki żyjące w gorącym klimacie mają łuski wydłużone bardziej niż żyjące w strefie umiarkowanej. Zaproponował hipotezę, iż pióra powstały z łusek gadów jako struktury chroniące przed promieniowaniem słonecz-

nym. Według niego pra-pióra chroniły zwierzę przed przegrzaniem i umożliwiały mu aktywność w czasie najintensywniejszego nasłonecznienia. Po osiągnięciu stałocieplności (endotermii) przez przodków ptaków pióra zmieniły zastosowanie i przekształciły się w powierzchnie nośne umożliwiające szybowanie. Według zwolenników hipotezy pochodzenia ptaków od endotermicznych dinozaurów pióra były odpowiednikiem ssaczego futra. Problemem pozostaje wykształcenie niezwykle skomplikowanej konstrukcji mechanicznej pióra, która ma sens tylko jako powierzchnia lotna.

Pióro dzisiejszych ptaków powstaje przez uwypuklenie skóry w stożek sterczący nad jej powierzchnią. Następnie do środka tej stożkowatej struktury wpukła się wewnętrzna warstwa cylindrycznych komórek, środkowa warstwa komórek, z której powstana promienie i zewnętrzna, z której powstana haczyki. Na analogii z rozwojem pióra Lorenzo Alibardi przedstawił hipotezę jego powstania w ewolucji. z Typowa łuska pokrywowa miałoby najpierw przekształcić się w łuskę stożkową. Następnie całość się wydłużyła i wewnętrzna warstwa uległa pofałdowaniu dając zawiązki promieni. W hipotezie tej zagadką jest etap przekształcenia wydłużonej stożkowatej łuski w złożoną strukturę pióra. Nie są znane w zapisie kopalnym stożkowate łuski, które mogłyby być uznane za zaczątki piór.

U najstarszego znanego upierzonego gada *Anchiornis* z późnojurajskiej (oksford) formacji Tiaojishan z Chin pióra przypominają już te u dzisiejszych ptaków. Pióra u *Anchiornis* pokrywały zarówno przednie, jak i tylne kończyny, w czym przypominał innego wczesnego protoptaka *Microraptor* z wczesnej kredy (barrem) sławnej fauny Jehol z północnych Chin. Budowa przednich skrzydeł *Anchiornis* wskazuje na wczesne uformowanie się aerodynamicznej konstrukcji i położenia piór. Zwierzę to miało w skrzydle 11 lotek pierwszego rzędu i 10 drugiego. Rozmiary lotek na skrzydłach były podobne, zaskakującą cechą są lotki pokry-

Rekonstrukcje szkieletu i upierzenia późnojurajskich ptaków: *Anchiornis* z formacji Tiaojishan (oksford) z północnych Chin i *Archaeopteryx* z Solnhofen (tyton); zwierzęta te reprezentują kolejne stadia ewolucyjnego przejścia od czteroskrzydłego szybującego przodka ptaków do dwuskrzydłych ptaków aktywnie fruujących





wające kończyny tylne. Następnym w szeregu ewolucyjnym ptakiem po *Anchiornis* jest słynny praptak *Archaeopteryx* z Solnhofen w Bawarii.

Z formacji Daohugou w chińskiej Mongolii Wewnętrznej pochodzą szczątki *Pedo-*

penna, *Epidendrosaurus* i *Scansoriopteryx*, mają w pełni uformowane pióra, podobnie jak *Anchiornis* również na tylnych kończynach. Ich wiek na podstawie konchostraków szacuje się na środkową-późną jurę, ale nie jest pewny. Praptaki te są do siebie bardzo podobne i być może reprezentują jeden gatunek.

Holotyp Praeornis sharovi Rautian, 1978 z formacji Karabastau we wsi Aulie, Wielkie Karatau, Kazachstan; okaz sfotografowany ze światłem z lewej i prawej strony i rysunek na podstawie zdjęć

Jak powstało ptasie pióro?

Zdjęcie nowego okazu pra-pióra z formacji Karabastau we wsi Aulie, Wielkie Karatau, Kazachstan (negatyw i pozytyw na rozszczepionej powierzchni łupku)



Z kilku stanowisk wczesno- i środkowo-jurajskich z Ameryki Północnej, Europy i Afryki znane są tropy przypominające ptasie, a najstarsze z nich odkryte zostały w osadach z końca triasu w Argentynie. Trwa spór co do genezy tych enigmatycznych tropów, które bywają uważane za dowód na późnotriasowe początki ptaków. Mogą to być ślady niewielkich dinozaurów o stopie konwergentnie upodobnionej (z przeciwstawnym *hallux*) do ptaków.

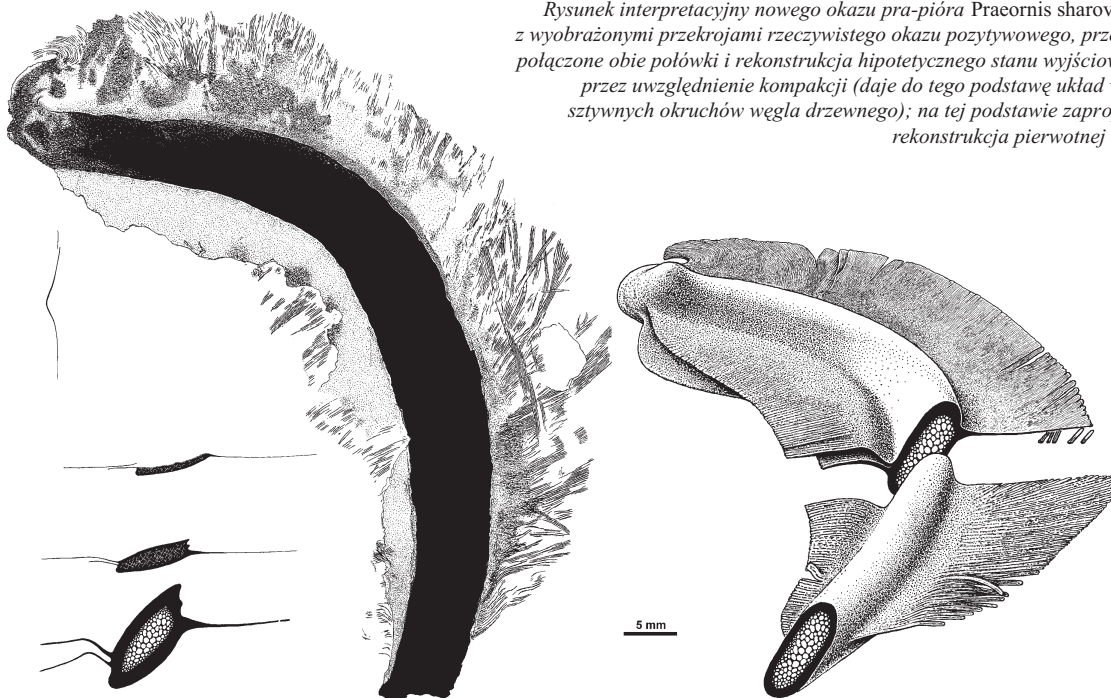
Nadzieje na udokumentowanie materiałem kopalnym początków ewolucji piór dają znaleziska z formacji Karabastau w górach Wielki Karatau w Kazachstanie. Jej wiek jest zwykle szacowany na późną jurę. Być może jest to początek późnej, lub koniec środkowej jury. W czasie jednej z wypraw prowadzo-

nych w latach 40 i 50 dwudziestego wieku przez rosyjskich badaczy został znaleziony okaz. Okaz ten został zinterpretowany przez A.S. Rautiana w 1978 roku jako pra-pióro i nazwane *Praeornis sharovi*. Praca ta spotkała się z dużym sceptycyzmem. Wielu badaczy sugerowało, że jest to liść jakiejś rośliny nagonasiennej, wskazano nawet gatunek *Cycadites sapportae*. Wykonano zdjęcia pod mikroskopem elektronowym stosiny pra-pióra i dzisiejszych piór. Ponieważ nie znaleziono podobnych struktur w obu stosinach uznano, że fakt ten potwierdza roślinne pochodzenie tego okazu.

Pewnych przesłanek do rozwikłania tej zagadki dał drugi okaz *Praeornis* znaleziony w czasie polsko-kazachskiej wyprawy w Wielki Karatau w 2006 roku. Okaz rosyjski jest częściowo zwiertzały i nie zachowała się w nim zwęglone wnętrze stosiny. Nowy okaz dzięki wydobyciu ze świeżej, zwięzłej skały zachował materię organiczną. Widać na nim, że stosina miała pierwotnie wypełnione wnętrze zaś jej środek w czasie diagenety uległ uwęgleniu i spękaniu. Potem szczeliny wypełnione zostały dolomitom. W okazy rosyjskim struktura wnętrza ogranicza się do sieci dolomitowych żyłek i w ogóle nie przypomina pierwotnej. Zachowanie uwęglonej substancji organicznej w nowym

Holotyp *Archaeopteryx siemensi* Meyer, 1861 z litograficznego wapienia najpóźniejszej jury (tyton) z Solnhofen w Bawarii – pierwszy dowód na istnienie jurajskiego pra-ptaka znaleziony w 1860 roku





Rysunek interpretacyjny nowego okazu pra-pióra *Pracornis sharovi* z Karatau wraz z wyobrażonymi przekrojami rzeczywistego okazu pozytywowego, przekrojami poprzez połączone obie połówki i rekonstrukcja hipotetycznego stanu wyjściowego uzyskanego przez uwzględnienie kompaktacji (daje do tego podstawę układ warstwek wokół sztywnych okruchów węgla drzewnego); na tej podstawie zaproponowana została rekonstrukcja pierwotnej morfologii okazu

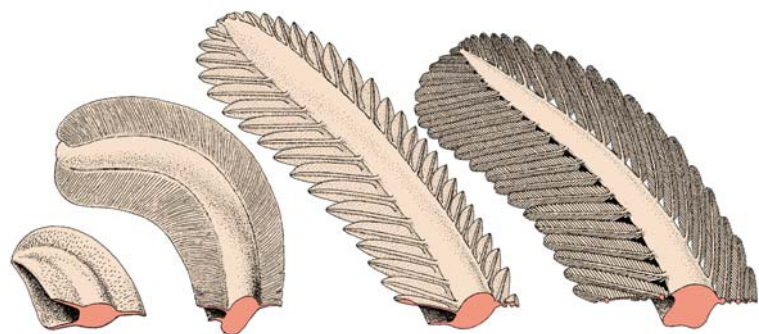
znalezisku dostarczyło kluczowego argumentu, że okazy te nie są szczątkami roślinnymi. Proporcje stabilnych izotopów węgla są w niej takie, jak we współwystępujących szczątkach ryb, natomiast całkiem odmienne od uwęglonych liści roślin z tych samych warstw skalnych formacji Karabastau. Jest to najprawdopodobniej szczątek zwierzęcego pochodzenia. Duża ilość substancji organicznej w osiowej części obu okazów sugeruje, że uwęgleniu uległa twarda i masywna tkanka. Być może to tkanka rogowa, czyli złożona z martwych komórek wypełnionych białkiem – keratyną. Taki też jest skład piór ptasich i gadzich łusek.

Trzy cechy występujące w obu okazach *Pracornis* wskazują, że należą one do jednego gatunku: (1) stosina na całej długości ma taką samą szerokość, (2) wychodzą z niej trzy chorągiewki, dwie duże i jedna mniejsza oraz (3) wewnątrz stosiny w obu okazach jest spękane i wypełnione przez żyły dolomityczne, co sugeruje, że pierwotnie była wypełniona gąbczastą strukturą. Jeśli to skamieniałe pra-pióra, nowe pochodzi z innej części ciała niż znalezione przez Rosjan. Okaz rosyjski przypomina pióro konturowe ze skrzydła. Nowy okaz nawiązuje do piór półpuchowych, gdyż promienie tworzą jednorodną chorągiewkę, w niektórych miejscach porozrywaną. Nie ma promyków. W okazy rosyjskim promienie mają delikatne obrzeżenia nachodzące na sąsiednie pro-

mienie. Można spekulować, że z tych obrzeżeń wyodrębniły się promyki z haczykami.

Obecność trzeciej blaszki jest przesłanką, że nie jest to jednak skamieniałość liścia. Jest też wskazówką dotyczącą pochodzenia pióra. Wiadomo, że pióra są zmodyfikowanymi łuskami keratynowymi gadów, ale ciągle nie znaleziono przekonujących ogniw pośrednich pomiędzy łuską a piórem. Być może struktury grzbietowe z ciała enigmatycznej *Longisquama* z późnego triasu Kirgizji są jednym z etapów tego procesu. U *Longisquama* z grzbietu sterczą do góry długie wąskie struktury nie powiązane ze szkieletem, a więc prawdopodobnie pierwotnie keratynowe. Mają one oś i boczne chorągiewki pofałdowane poprzecznie. Są interpretowane bądź jako przekształcone łuski o falistej powierzchni, lub jako łuski przekształcone w pra-pióra ze zrośniętymi promieniami. Mogły one służyć do okazowania podczas godów lub wspomagać lot szybowcowy. Miały skomplikowaną budowę

Hipotetyczne etapy ewolucyjnego powstania pióra z łuski gada, pokrywowe i konturowe pra-pióra *Pracornis* z trzema chorągiewkami i pióro ptaka z kwadratową w przekroju stosiną



i pewne struktury mogą być interpretowane jako trzecia chorągiewka będąca odpowiednikiem tej obecnej u pra-pióra z Kazachstanu. Jednak do pełnego wyjaśnienia problemu jeszcze daleko.

Trzy chorągiewki odchodzące od stosiny pra-pióra *Praeornis* nie przystają do powszechnie przyjętego paradygmatu genezy ptasiego pióra. Sądzi się bowiem, że powstało ono ze stożkowej struktury skórnej. Zaś trzy płaszczyzny mogące być zaczątkiem trzech chorągiewek występują w łuskach brzeźnych gadów. Dwie płaszczyzny przylegają do ciała, a trzecia stanowi grzebień. To sugeruje, że pióro powstało z łuski pochodzącej z boku ciała przypominającej w przekroju literę λ. Widać to najwyraźniej właśnie w okazach pochodzących z formacji Karabastau. Zapewne w dalszej ewolucji trzecia blaszka ulegała stopniowej redukcji, pozostała jednak w dzisiejszych piórach jako jedna z krawędzi stosiny, która w przekroju nie jest owalna, lecz kwadratowa.

Aby jednak do tej interpretacji rozbudowanej na podstawie interpretacji A.S Rautiana przekonać sceptyków, trzeba by znaleźć rozstrzygające dowody. Po pierwsze należałoby wykazać, że znalezione dotąd dwa okazy *Praeornis* to rzeczywiście pióra pra-ptaka czy jego gadziego przodka. Do tego konieczne jest powiązanie ze znaleziskiem szczątków kostnych. Być może szkielet ten spoczywa gdzieś w warstwach skalnych w Wielkim Ka-

ratau. Pora więc zorganizować kolejną ekspedycję do Kazachstanu i odnaleźć właściciela tajemniczych pra-piór.

Literatura

- Czerkas, S.A & Yuan, C. 2002. An arboreal maniraptoran from northeast China. In: S.J. Czerkas (ed.) *Feathered Dinosaurs and the Origin of Flight*. 63–95. The Dinosaur Museum Journal 1. The Dinosaur Museum, Blanding, U.S.A.
- Dzik, J., Sulej, T., Niedźwiedzki, G. & Malakhov, D.V. 2010. Possible link connecting reptilian scales with avian feathers from the early Late Jurassic of Kazakhstan. *Historical Biology* 22, 394–402.
- Feduccia, A., Lingham-Soliar, T. & Hinchliffe, J.R. 2007. Do feathered dinosaurs exist? Testing the hypothesis on neontological and paleontological evidence. *Journal of Morphology* 266, 125–166.
- Glazunova, K.P., Rautian, A.S., & Filin, V.R. 1991. *Praeornis sharovi*: bird feather or plant leaf? *Materialy 10 Vsesoyuznoi Ornitologicheskoi Konferentsii, Vitebsk: 17–20 sentjabrya 1991. Chast 2*, 1, 149–150. Nauka i tekhnika, Minsk.
- Prum, R.O. & Brush, A.H. 2002. The evolutionary origin and diversification of feathers. *Quarterly Review of Biology* 77, 261–295.
- Rautian, A.S. 1978. Unikalnoye pero pticy iz otlozheniy jurskogo ozero v khrebte Karatau. *Palaeontologicheskii Zhurnal* 1978, 4, 106–114.
- Xu, X. & Zhang, F. 2005. A new maniraptoran dinosaur from China with long feathers on the metatarsus. *Naturwissenschaften* 92, 173–177.
- Zhang, F., Zhou, Z., Xu, X., & Wang, X. 2002. A juvenile coelurosaurian theropod from China indicates arboreal habits. *Naturwissenschaften* 89, 394–398.
- Zhang, F., Zhou, Z., Xu, X., Wang, X. & Sullivan C. 2008. A bizarre Jurassic maniraptoran from China with elongate ribbon-like feathers. *Nature* 455, 1105–1108.