

Młode procesy tektoniczne i magmowe w rejonie Himalajów

Góry niedokończone



Dr hab. Robert Anczkiewicz zajmuje się badaniem i datowaniem procesów górotwórczych

ROBERT ANCZKIEWICZ
Instytut Nauk Geologicznych, Kraków
Polska Akademia Nauk
ndanczki@cyf-kr.edu.pl

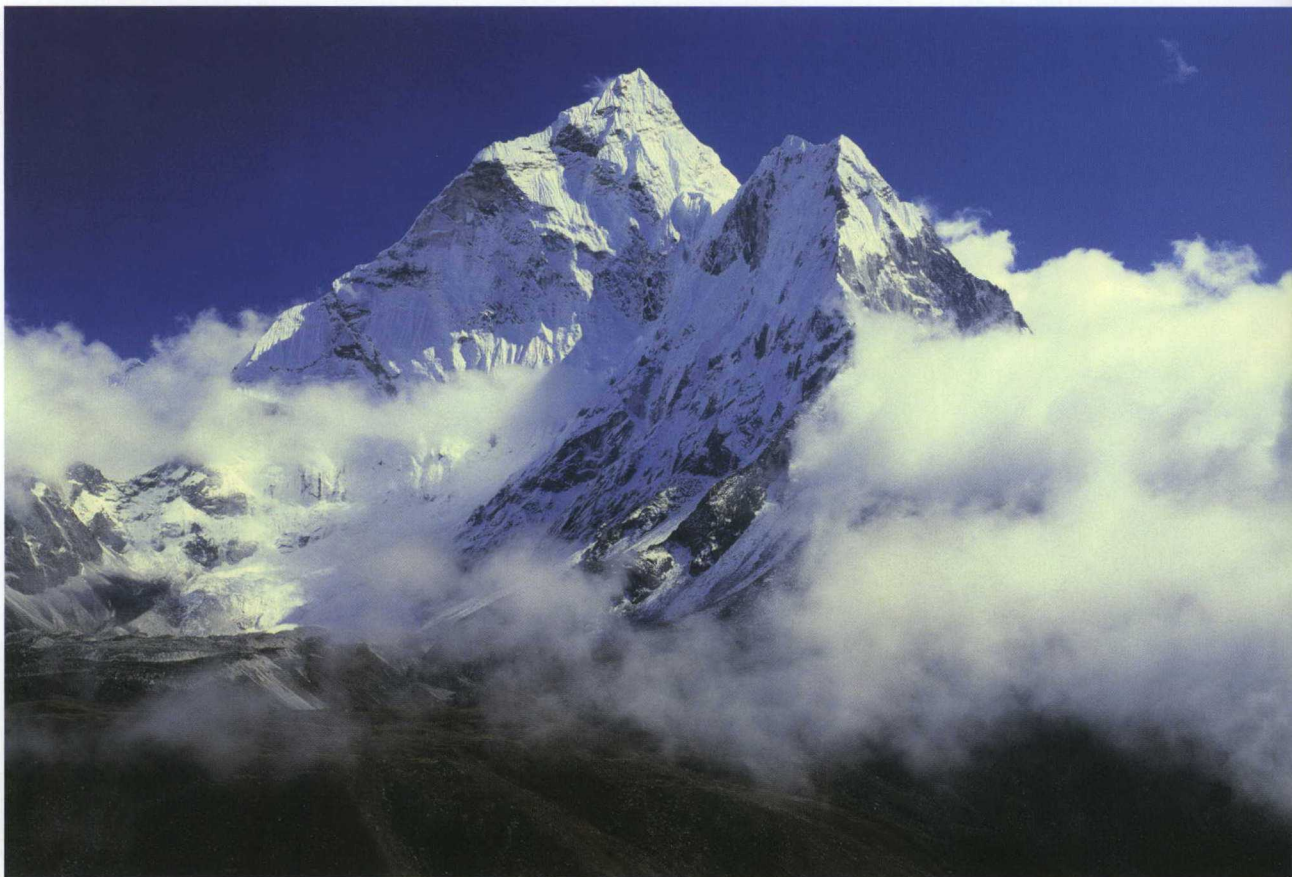
W Himalajach dzieją się rzeczy niezwykle. Potężne zderzenie kontynentów, które wydzwignęło te góry z dna nieistniejącego już oceanu, wciąż trwa, dając unikatową i fascynującą możliwość obserwacji tego procesu niemal na żywo

Teoria dryfujących kontynentów, czyli tektoniki płyt, zdominowała nasz sposób myślenia o ewolucji Ziemi. Rozpadanie się większych lub łączenie się mniejszych kontynentów, powstawanie i znikanie oceanów w hi-

storii naszej planety były zjawiskami powszechnymi. Jednym z najbardziej spektakularnych przejawów ruchów tektonicznych była kolizja Dekanu (dziś jest to głównie obszar Indii i Pakistanu) z Azją. W jej wyniku powstały trzy najwyższe pasma górskie świata: Himalaje, Karakorum i Pamir. Wydarzenie to miało wielki wpływ na ewolucję planety, bo pociągnęło za sobą globalną reorganizację ruchu płyt tektonicznych, zmiany klimatyczne oraz wymieranie fauny.

Wędrówka Dekanu została zrekonstruowana na podstawie badań paleomagnetycznych skorupy Oceanu Indyjskiego. Dekan ruszył ku Azji w późnej kredzie, około 100 milionów lat temu. Wtedy znajdował się jeszcze na półkuli południowej, gdzie odrywał się od Afryki i Madagaskaru. Na południowej krawędzi Azji płyta oce-

Andrzej Stajler/Stockphoto



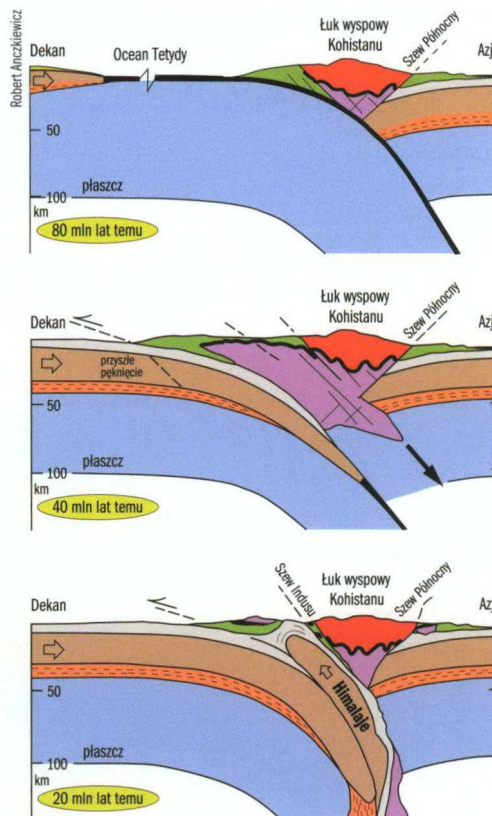
Trudno uwierzyć, że najwyższe góry świata jeszcze kilkadziesiąt milionów lat temu były płasko leżącymi osadami na dnie morza

aniczna zaczęła pogrążyć się pod kontynentalną i wykształciła się strefa subdukcji. Analogiczną sytuację obserwujemy dziś na zachodnich wybrzeżach obu Ameryk. Nieco inaczej wyglądała sytuacja w północno-zachodnim rejonie strefy kolizji, gdzie w wyniku pogrążania płyty oceanicznej i związanej z tym aktywności magmowej powstał tak zwany łuk wyspowy. Podobny łuk wyspowy tworzą współcześnie Wyspy Japońskie. W przypadku kolizji Dekanu i Azji takim łukiem wysp był Kohistan, obecnie wyżynny region w Pakistanie. Od zbliżającego się do niego Dekanu oddzielał go rozległy, nieistniejący już Ocean Tetydy, a od Azji – płytke morze, tak zwany morski basen załukowy.

Strefa zgiętu

Zbliżanie się Dekanu do Azji odbywało się z zawrotną (w skali geologicznej) prędkością około 15–20 cm na rok. W wyniku tej wędrówki w strefie subdukcji zniknął Ocean Tetydy. Między 100 a 85 milionami lat temu basen załukowy zamknął się, gdy wyspy Kohistanu zostały dociśnięte do południowej krawędzi Azji, powiększając jej obszar kontynentalny. Dziś strefę, wzdłuż której doszło do złączenia tych dwóch jednostek tektonicznych, nazywa się Szewem Północnym. Około 55–50 milionów lat temu, niedługo po wymarciu dinozaurów, północny Dekan zwolnił nagle poniżej 10 cm na rok. Ten właśnie moment przyjmuje się za koniec pochłaniania płyty Oceanu Tetydy i bezpośrednią kolizję między kontynentami: Dekanem i południową Azją. Granicę oddzielającą oba kontynenty nazwano Szewem Indusu. Ruch Dekanu ku północy trwał nadal, chociaż wolniej. Około 35 milionów lat temu przesuwano się z prędkością około 5 cm na rok. W tym tempie wciska się on w Azję do dzisiaj.

Skutki kolizji Dekanu z Azją są znakomicie czytelne w północno-zachodniej części Himalajów w Pakistanie. Unikatowość tego miejsca polega między innymi na bardzo łatwym dostępie. Karakorum Highway, najwyższej położona utwardzana droga na świecie, to część dawnego szlaku jedwabnego, którą wędrowały karawany z Chin. Dziś przemierzają ją tabuny turystów. Półpustynny klimat i związana z nim uboga szata roślinna sprawiają, że większość trasy znakomicie nadaje się do obserwacji geologicznych. Tutaj, poruszając się wzdłuż jednej drogi, można prze-



Obowiązująca hipoteza dotycząca powstania Himalajów zakłada, że zostały one odcięte od zapadającej się w płaszczu skorupy i wypłynęły na powierzchnię dzięki sile wyporu

śledzić budowę całych Himalajów, a zwłaszcza łuku wyspowego Kohistanu.

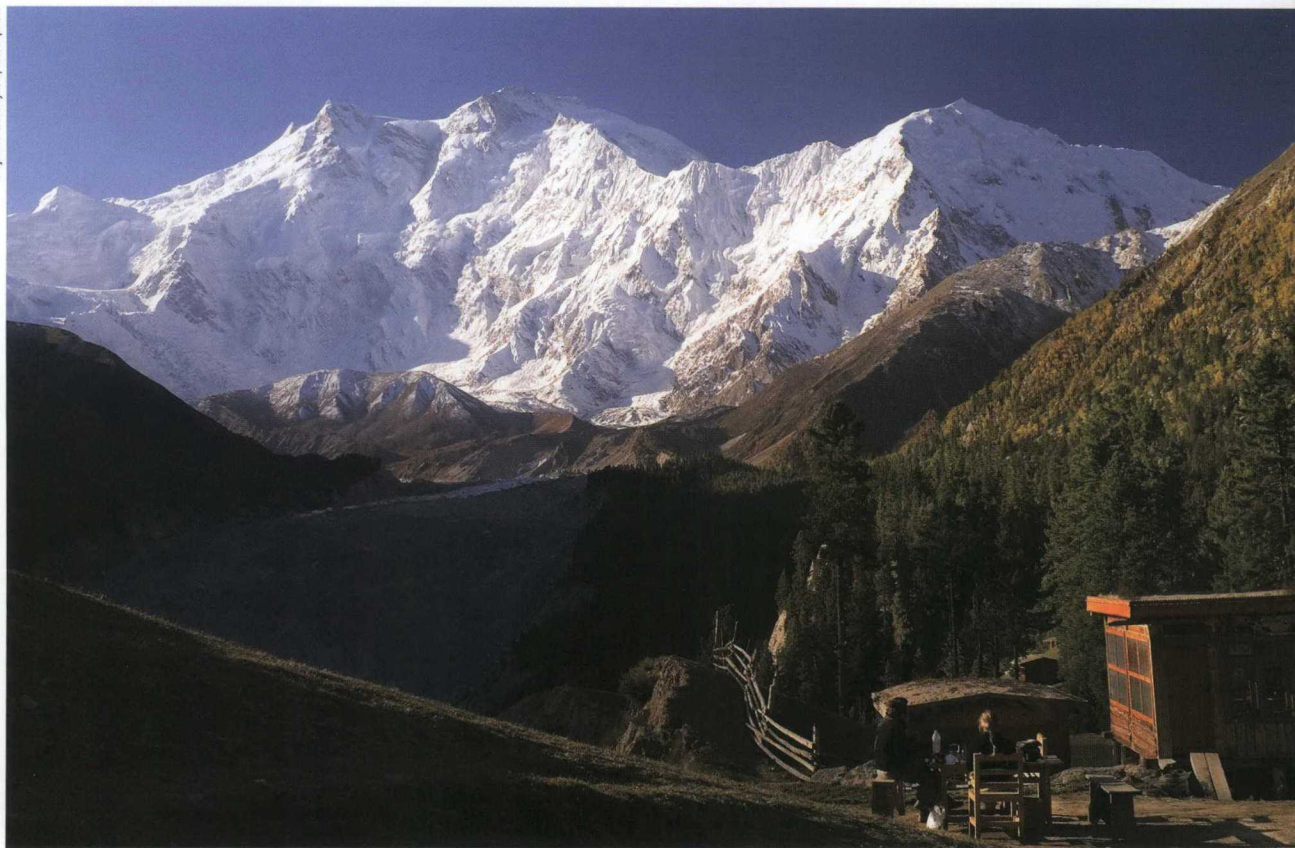
Himalaje leżą na południe od Szwu Indusu, a więc pod względem geologicznym są częścią Dekanu, a nie częścią Azji, jak powszechnie się uważa. Napierając na kontynent azjatycki, Dekan częściowo wsunął się pod niego, co doprowadziło do sfałdowania i nasunięcia się na siebie północnych fragmentów jego skorupy. Stała się ona w tym miejscu dużo grubsza, osiągając rekordową grubość 70 km. W dużym uproszczeniu tak właśnie powstają góry w układach kolizyjnych.

Pod ciśnieniem

Inną konsekwencją pogrążania się jednej płyty pod drugą jest przeobrażenie skał. Wraz ze wzrostem głębokości pod ziemią wzrastają ciśnienie i temperatura. W miarę zagłębiania się w skorupie ziemskiej skał, które powstały w warunkach powierzchniowych, minerały w nich zawarte przekształcają się w inne minerały, stabilne w nowych warunkach. Jeśli potem te przeobrażone skały w wyniku procesów tektonicznych znów znajdą się na powierzchni, możemy na podstawie składu mineralnego określić warunki, w jakich powstały. Jako że nie dysponujemy techniczny-

Młode procesy tektoniczne i magmowe w rejonie Himalajów

Wojciech Zwierzyński/Stockphoto



Nanga Parbat to jeden z najszybciej rosnących szczytów. Z każdym rokiem jest wyższy o 6 milimetrów

mi możliwościami bezpośredniej obserwacji tego, co dzieje się dziesiątki kilometrów pod powierzchnią ziemi, jest to jedyny sposób badania przemian, jakie zachodzą w skałach w wyniku pograżania.

Wyjątkowymi i bardzo rzadkimi skałami metamorficznymi są eklogity. Ich skład wskazuje, że to dawne osady powierzchniowe, które zostały pograżone na gigantyczną głębokość. W dolinie Kaghan w Pakistanie niedawno znaleziono pierwsze takie skały w Himalajach. W trakcie badań okazało się, że zawierają one relikty koezytu – minerału, który powstaje ze zwykłego kwarcu, gdy ciśnienie przekroczy 27 kilobarów (27 tysięcy razy więcej niż ciśnienie atmosferyczne), co odpowiada głębokości około 100 km. To głębiej, niż wynosi maksymalna głębokość współczesnej skorupy ziemskiej. Z datowań radiometrycznych wynika, że skorupa Dekanu została pograżona na tę głębokość około 47 milionów lat temu, a więc niecałe 10 milionów lat po pierwszej kolizji z Azją.

O ile strefy subdukcji dobrze tłumaczą mechanizm pograżania skał na duże głębokości, o tyle wytłumaczenie powrotnego ruchu skał na powierzchnię jest dla geologów zada-

niem znacznie mniej banalnym. Hipotezę, jaką przyjmuje się odnośnie do Himalajów, można w uproszczeniu porównać do kawałka suchego drewna zanurzanego w wodzie. Kiedy siła wpychająca je pod wodę ustanie, drewno wypłynie. W przypadku Himalajów kawałkiem drewna jest skorupa kontynentalna Dekanu, a rolę wody odgrywają skały płaszczki ziemskiego, cechujące się dużą gęstością. Ustanie siły wpychającej jest wynikiem powstania uskoku tektonicznego, który odcina część skał od tonącej w płaszczu skorupy. Mechanizm ów ma tę zaletę, że pozwala na kontynuację ruchu kompresyjnego zbliżającego do siebie Dekan i Azję, który przecież trwa nieustannie do dziś.

Rywal Everestu

Za pomocą technik izotopowych ustalono, że główny etap wypiętrzania najgłębiej pograżonych skał himalajskich zakończył się około 20 milionów lat temu. Jednak nawet dziś wciąż obserwuje się intensywne ruchy wypiętrzające. Jednym z takich miejsc jest masyw Nanga Parbat – najbardziej wysunięty na zachód himalajski ośmiotysięcznik i jeden z najciekawszych pod względem geolo-

gicznym rejonów Himalajów. Szczyt wznosi się na 8125 metrów n.p.m., lecz na oko wydaje się dużo wyższy. Dolina Indusu przebiegająca u podnóża masywu wije się na wysokości około 1500 metrów n.p.m., więc wysokość względna Nanga Parbat wynosi prawie 7 kilometrów. Góra wydaje się niebosiężna. Żaden inny himalajski ośmiotysięcznik nie dorównuje jej pod tym względem.

Na Nanga Parbat kończy się również zasięg monsunu, co czyni mikroklimat tej góry bardzo specyficznym i kapryśnym. Nie bez powodu bywa ona nazywana Górą Zabójcą. W latach 30. ubiegłego stulecia zginęło na niej 17 osób z niemieckiej wyprawy. Niezwykle jest również tempo podnoszenia się Nanga Parbat. Szacuje się, że w ciągu ostatnich kilku milionów lat przyrastała ona o mniej więcej 6 milimetrów rocznie. Dla porównania Tatry podnoszą się w tempie nie większym niż 1 milimetr rocznie. Towarzyszą temu aktywność magmowa i intensywne ruchy tektoniczne. Znalaziono w rejonie skały magmowe, które powstały zaledwie około miliona lat temu. Odkryto również młode uskoki, wzdłuż których na powierzchnię wychodzą skały jeszcze kilka milionów lat temu będące na głębokości 20 kilometrów. Na oczach badaczy fałdowaniu ulegają współczesne osady rzeczne Indusu. W niewielu miejscach na świecie można obserwować na żywo, jak rodzą się góry.

Dno na wierzchu

Struktura Szwu Indusu zmienia się wzdłuż Himalajów. Miejscami jest szeroka na kilkadziesiąt kilometrów, w innych miejscach wystarczy zrobić kilka kroków, by przejść z jednego paleokontynentu na drugi. Strefa ta zawiera głównie pozostałości Oceanu Tetydy, który przed kolizją oddzielał Dekan od Azji. Stąd obecność tak zwanych ofiolitów, czyli przeobrażonych fragmentów typowej skorupy oceanicznej wraz z pokrywającymi ją osadami. Spotyka się tam również łupki niebieskie – skały, które swój specyficzny kolor zawdzięczają wysokociśnieniowemu minerałowi o nazwie glaukofan. To bazalt starej skorupy oceanicznej przeobrażony w strefie subdukcji. Na północ od Szwu Indusu znajduje się sekwencja skał o grubości około 40 km, zawierająca kompletny przekrój geologiczny przez łuk wyspowy Kohistanu. Na samym spodzie tej sekwencji widnieje strefa Moho

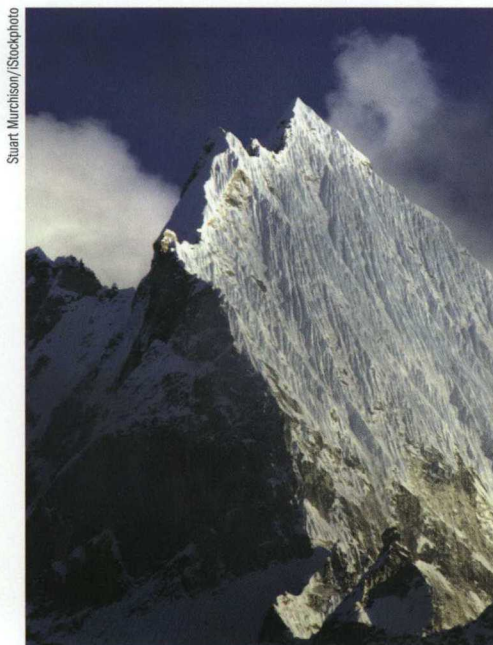
– granica oddzielająca skorupę ziemską od płaszczu, do której już kilka razy bezskutecznie próbowano się dowieźć. Kohistan oferuje unikatową w skali świata możliwość obserwacji tej granicy na powierzchni Ziemi.

Przed kolizją za łukiem wyspowym Kohistanu istniało płytkie morze. Również je można znaleźć w Himalajach – za Szewem Północnym, oddzielającym sekwencję Kohistanu od płyty Karakorum. Dowodem na istnienie tu basenu morskiego, który powinien przekonać największych niedowiarłów, są wspaniale zachowane poduszki lawowe. W tym górzystym miejscu, skąd do najbliższego morza jest około tysiąca kilometrów, istniał kiedyś ocean, na którego dnie wypływała i natychmiast zastygała lawa. Dalej na północ leżą góry Karakorum, ślad po mniejszej kolizji płyt.

Himalaje są bardzo słabo zbadanymi górami. Wynika to z ich niedostępności. Badania koncentrowały się dotąd głównie na terenach położonych w pobliżu utwardzanych dróg. Najwyższe góry świata bez wątpienia kryją jeszcze mnóstwo intrygujących zagadek i równie intrygujących odpowiedzi. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

Anczkiewicz R., Oberli F., Burg J.P., Villa I.M., Günther D., Meier M. (2001). Timing of normal faulting along the Indus Suture in Pakistan Himalaya and a case of major $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ initial disequilibrium in zircon. *Earth and Planetary Science Letters*, 191, 101–114.



Ostre granice i płaskie, jakby ucięte nożem skalne ściany to ślady po uskokach tektonicznych, wzdłuż których Himalaje wynurzyły się spod ziemi