

Badania meteorytów



BEW

## Kosmiczni podróżnicy



**ELŻBIETA JACKOWICZ**

Państwowy Instytut Geologiczny

– Państwowy Instytut Badawczy

elzbieta.jackowicz@pgi.gov.pl

Dr Elżbieta Jackowicz jest petrografem, zajmuje się skałami magmowymi i meteorytami.

**Niemal każdy miał okazję obserwować na niebie przelotną świetlistą smugę, czyli zjawisko zwane meteorem. Jest ono wywołane wtargnięciem do atmosfery z ogromną prędkością odłamków ciał niebieskich, spadających czasami na powierzchnię naszej planety. Czym odznaczają się te obce obiekty, jak można je odróżnić od ziemskich kamieni i produktów działalności człowieka?**

Poruszające się obiekty określane jako meteoroidy są okruchami lub bryłami skał, metalu, lodu lub zestalonych gazów (np. metanu, amoniaku). Podczas ich przelotu przez atmosferę tarcie spowodowane oporem powietrza rozgrzewa ich powierzchnię do temperatury wrzenia, a oderwana parująca materia wraz ze zjonizowanymi gazami atmosferycznymi pozostawia na niebie świetlisty ślad trasy podróży.

Źródłem meteoroidów lodowych są komety, czyli małe ciała pochodzące z zewnętrznych lub peryferycznych partii Układu Słonecznego (Obłoku Oorta, pasa Kuipera). Ruch komet jest podatny na wpływ grawitacyjny innych ciał, zwłaszcza Słońca i planet gazowych. W miarę zbliżania się do Słońca komety nie tylko tracą masę wskutek topienia i parowania, lecz także mogą zostać rozerwane na drobne fragmenty, czyli meteoroidy, mknące po orbicie zbliżonej do orbity komety. Jeśli Ziemia znajdzie się na przecięciu orbity meteoroidów kometarnych,



**Meteoryt żelazny  
z figurami  
Windmanstättena**

wpadają one w jej atmosferę, wywołując zjawisko roju meteorów. Meteoroidy te nie dolatują do powierzchni Ziemi – w jej atmosferze kończą swój żywot.

Do Ziemi docierają pozostałości meteoroidów skalnych i metalicznych. Od momentu spadku zyskują one status meteorytów. Szacuje się, że na naszą planetę spada rocznie kilka tysięcy meteorytów o masie powyżej 1 kg (na obszar o powierzchni Polski najprawdopodobniej od kilkudziesięciu do 175 meteorytów o masie ponad 100 g). Dwie trzecie wpada do oceanów, a spośród pozostałych bezpośrednio po spadku pozyskuje się średnio sześć meteorytów w ciągu roku.

Duże meteoroidy niekiedy eksplodują nad Ziemią i spadają w postaci deszczu meteorytów. Przykładem jest meteoryt Pułtusk, który spadł w 1868 roku w formie 70 tysięcy fragmentów o łącznej masie ponad 2 ton.

Eksplodacje dużych brył po zderzeniu z Ziemią powodują powstanie kraterów meteorytowych. Mniejsze, kilkunastokilogramowe meteority wbijają się w grunt, tworząc dołki, przeważnie o głębokości kilkudziesięciu centymetrów.

Meteority skalne i metaliczne pochodzą zazwyczaj z głównego pasa planetoid obejmującego dziesiątki tysię-

cy obiektów poruszających się pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza. W tej zatłoczonej przestrzeni często dochodziło i ciągle dochodzi do zderzeń. Kolizje te kończą się niekiedy rozbięciem tych ciał i zmianą trajektorii ich fragmentów.

Nieliczne meteority skalne są odłamkami Marsa lub ziemskiego Księżyca. Sprawcami wybicia fragmentów tych ciał do przestrzeni kosmicznej były tak duże obiekty, że kolizje z nimi skutkowały powstaniem kraterów meteorytowych.

### Prezentacja gości

Zróżnicowanie składu mineralnego meteorytów jest podstawą ich podziału na meteority kamienne, złożone głównie z krzemianów, meteority żelazne, zbudowane głównie z nikłonośnego żelaza, oraz meteority żelazno-kamienne, będące ogniwem pośrednim między kamieniami i żelaznymi.

Charakterystycznymi składnikami meteorytów, niewystępującymi w skałach i rudach ziemskich, są minerały żelazoniklu. W meteorytach kamiennych minerały te pojawiają się w ilościach śladowych lub są nieobecne. Właśnie tego rodzaju meteority stanowią około 86% ogółu meteorytów docierających do powierzchni Ziemi i około 66% wszystkich znalezisk. Zbudowane są głównie z krzemianów (oliwinów i piroksenów), a ich gęstość wynosi przeważnie ok. 3000-3700 kg/m<sup>3</sup>. Meteority te dzieli się na chondryty i achondryty.

Zdecydowanie dominującym typem są chondryty. Ich nazwa wywodzi się z języka greckiego, gdzie „chondros” oznacza ziarno. Chondry, czyli niewielkie ziarna złożone z krzemianów, powstały z szybko chłodzonych stopów utworzonych w warunkach mikrogravitacji, kiedy to ciecz przybiera postać kulistych kropli. Stopieniu pod wpływem impulsów termicznych w protoplanetarnym dysku uległ pył mineralny pochodzący z mgławicy słonecznej. Chondry są typowym elementem budowy pierwotnej materii Układu Słonecznego, która przetrwała w niezmiennym stanie tylko w małych planetoidach. Ich wiek izotopowy mieści się w granicach 4,56-4,50 miliarda lat, są więc starsze niż najstarsze skały ziemskie (3,8 miliarda lat). Zawierają podrzędne ilości nikłonośnego żelaza.

Najbardziej rozpowszechnione są chondryty zwyczajne, pochodzące z planetek utworzonych stosunkowo blisko Słońca, lecz bardziej interesujące są chondryty węgliste będące odłamkami planetek uformowanych daleko od Słońca. Ich skład chemiczny jest bowiem najbardziej zbliżony do składu jego fotosfery (poza wodorem i helem). Zawierają one minerały uwodnione, a także związki organiczne (do ok. 6%) pochodzenia abiotycznego, będące podstawową formą występowania tu węgla. Związki te mogły mieć istotny udział w powstaniu i rozwoju życia na Ziemi.

Składnikami chondrytów węglistych są także minerały (np. diament, korund, węgiel krzemu) syntetyzowane w środowisku presolarnych gwiazd. Na wczesnym etapie rozwoju Układu Słonecznego ziarna tych minerałów

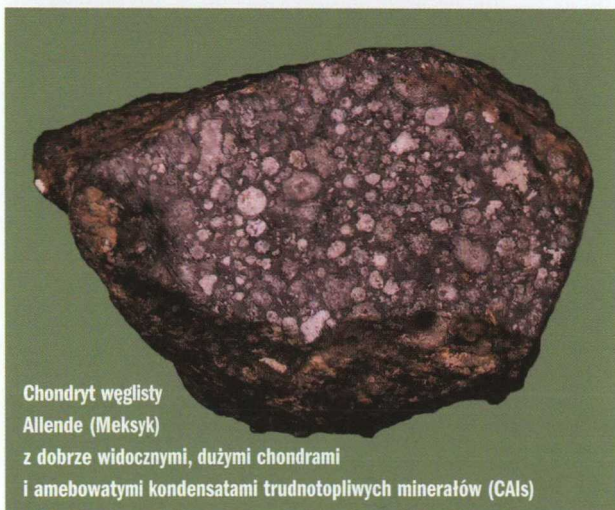
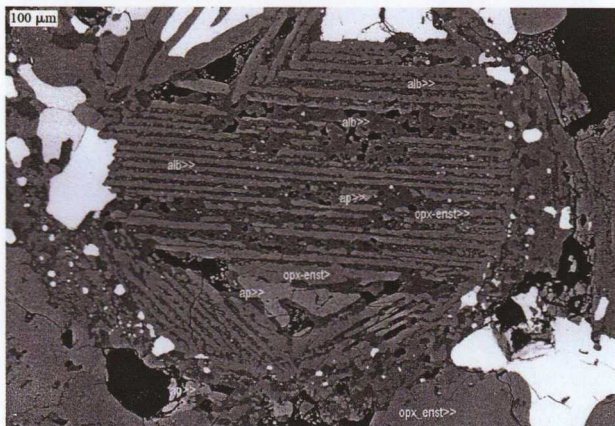
## Badania meteorytów

miały szansę na przetrwanie w zewnętrznych partiach protoplanetarnego dysku, bliżej jego centrum ulegały bowiem stopieniu i wyparowaniu. Z ich pozostałości wzbogaconej w trudnotopliwe pierwiastki tworzyły się pierwsze, amebowate kondensaty minerałów, określane skrótowo jako CAIs (ang. Calcium-Aluminium Inclusions). Mają one ok. 4,566–4,558 miliarda lat.

Obecnie w światowych kolekcjach znajduje się ponad 27 tysięcy chondrytów. Największy z nich waży 1170 kg i należy do grupy meteorytów z Jilin (Chiny) z roku 1976.

Achondryty stanowią ok. 14% ogółu meteorytów odnalezionych na powierzchni Ziemi. Pochodzą z krzemianowej powłoki planetoid, w których doszło do stopienia i grawitacyjnego rozwarstwienia pierwotnej materii na żelazne jądro, kamienny płaszcz (bogaty w oliwin) i bazaltową skorupę. Są one więc pod względem budowy podobne do Ziemi. Źródłem ciepła niezbędnego do stopienia materii była aktywność młodego Słońca oraz rozpad krótkotrwałych radioaktywnych pierwiastków (np. glinu -26).

**Chondra z meteorytu Pułtusk; obraz (BEI) z mikroskopu elektronowego.**  
Oznaczenia: opx-enst – ortopiroksen-enstatyt; alb – albit; ap – apatyt



**Chondryt węglisty Allende (Meksyk)**  
z dobrze widocznymi, dużymi chondrami i amebowatymi kondensatami trudnotopliwych minerałów (CAIs)

Skład achondrytów jest zbliżony do składu ziemskich skał zasadowych i ultrazasadowych, nie zawierają one praktycznie niklonośnego żelaza. Wiek izotopowy niektórych z tych meteorytów świadczy o rozwarstwieniu ich ciał macierzystych (np. planetoidy Westy) już 4,558 miliarda lat temu. Najmłodsze achondryty mają ok. 180 milionów lat i są bazaltami pochodzącymi z Marsa, co wskazuje na znacznie dłużej tu trwającą aktywność wulkaniczną niż na innych ciałach macierzystych achondrytów, których wiek mieści się w zakresie 4,56–4,45 miliarda lat.

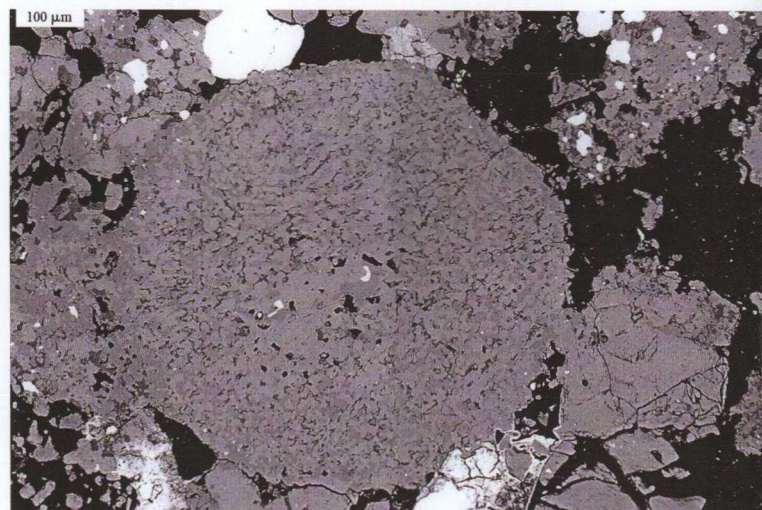
Meteority żelazne to ok. 5% ogółu wszystkich meteorytów spadających na Ziemię i ok. 30% wszystkich źródeł. Pochodzą z partii jądrowych tego samego typu planetoid, które są źródłem materiału achondrytów. Zbudowane są głównie z minerałów powstałych ze stopu żelaza z niklem, a ich gęstość wynosi 7000–8000 kg/m<sup>3</sup>. Minerale te są silnie przyciągane przez magnes. Ze względu na cechy strukturalne meteority te dzieli się je na trzy grupy.

Heksaderyty składają się z kamacytu, czyli minerału żelaza zawierającego do 6% niklu. Po wytrawieniu roztworem kwasu azotowego na wypolerowanych powierzchniach tych meteorytów odsłaniają się linie Neumanna, będące świadectwem ciśnienia udarowych wywołanych zderzeniami planetoid.

Oktaedryty należą do najczęściej spotykanych meteorytów żelaznych. Składają się z kamacytu i taenitu, tj. minerału zawierającego oprócz żelaza od 7 do 18% niklu. Na wytrawionych kwasem azotowym i wypolerowanych przekrojach tych meteorytów widać struktury zw. figurami Windmanstättena (układ przekładających się belek i blaszek).

Ataksyty zaś składają się głównie z taenitu i innych minerałów o jeszcze wyższej zawartości niklu, składni-

**Chondra z meteorytu Baszkówka; obraz (BEI) z mikroskopu elektronowego**



kiem podrzędnym jest tu kamacyt. Na swoich przekrojach po wytrawieniu nie wykazują żadnej struktury.

Meteority żelazno-kamiennie to ok. 9% ogółu meteorytów docierających na powierzchnię Ziemi, lecz zaledwie ok. 4% wszystkich znalezisk. Pochodzą ze strefy przejściowej pomiędzy jądrem a płaszczem planetoid, które uległy przetopieniu i grawitacyjnemu rozwarstwieniu. Należą do najładniejszych meteorytów, wśród nich szczególnymi walorami estetycznymi odznaczają się pallasyty, złożone z kryształów oliwinu tkwiących w matrycy nikłonośnego żelaza.

### Jak rozpoznać intruza?

Z tego bardzo ogólnego opisu meteorytów wynika, że większość z nich różni się na tyle od skał i rud ziemskich, że ich identyfikacja powinna być banalnie prosta. W praktyce okazuje się jednak, że w niektórych przypadkach nawet geolodzy nie mogą na pierwszy rzut oka jednoznacznie ocenić, czy dane znalezisko jest meteoritem, zwłaszcza w odniesieniu do okazów poddanych długoletniemu wietrzeniu w warunkach ziemskich. Dla rozpoznania zdecydowanej większości meteorytów wystarczy stwierdzenie obecności nikłonośnego żelaza lub chondr, ewentualnie obu tych składników. Bez badań laboratoryjnych bywa to jednak niemożliwe, bo reakcja na magnes jest jedynie przesłanką, a nie dowodem występowania minerałów żelazoniklu, a chondry mogą być niewidoczne bez użycia mikroskopu. Przy braku doświadczenia można też mieć trudności z odróżnieniem ich od kulistych form występujących w wielu skałach ziemskich. Z rezerwą należy traktować dużą gęstość okazów, ponieważ i tak będzie się ona mieścić w zakresie ziemskich rud i mniej pospolitych skał.

Bardzo dobrym wskaźnikiem dla identyfikacji meteorytów jest obecność skorupy obtopieniowej. Jest to lśniąca lub matowa i chropowata warstewka stopionej i zestalonej materii, niezdarłej z powierzchni meteoroidu przez pęd powietrza. Grubość tej warstewki, pokrytej miejscami strużkami i guzkami, nie przekracza 1 mm, barwa jest zwykle czarna, lecz pod wpływem wietrzenia może z upływem czasu zmienić się na rdzawą lub brązową.

Użytecznym wskaźnikiem są też regmaglipty, czyli charakterystyczna rzeźba powierzchni w formie zagłębień przypominających odciski palców pozostawione w miękkiej glinie. Zarówno te formy, powstałe wskutek drążącej działalności wirów powietrznych, jak i skorupa obtopieniowa i opływowe kształty uzyskane w efekcie obtapiania mogą zostać zniszczone przez rozpad meteoroidu blisko powierzchni Ziemi lub po zderzeniu z gruntem.

Wszystkie tu wymienione i niewymienione utrudnienia w odróżnianiu meteorytów od skał ziemskich, a także od produktów działalności człowieka (np. od złomu żelaznego, szlaki dymarkowej) nie powinny zniechęcać

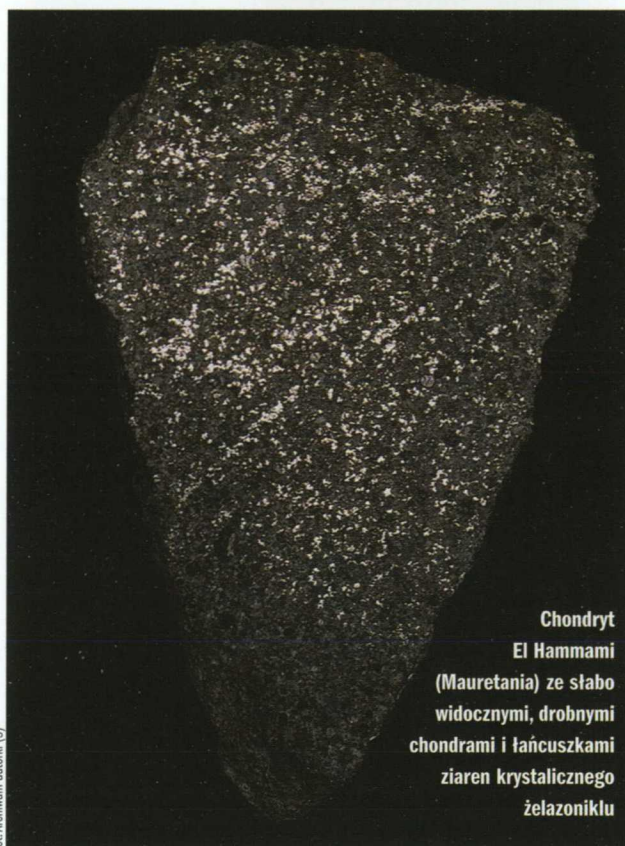
do podejmowania prób identyfikacji nietypowych znalezisk, lecz motywować do zdobywania wiedzy i doświadczenia z zakresu meteorytyki. Meteoryty są bowiem bezcennym dla nauki materiałem badawczym, zawierającym informacje o historii Układu Słonecznego, niemożliwe do pozyskania inną drogą. ■

### Chcesz wiedzieć więcej?

- Robert F. (2001). Signed carbon. (In:) Zanda B., Rotaru M. (eds) *Meteorites. Their impact on science and history*. Cambridge University Press, 86-93.
- Manhes G. (2001). The age of the solar system. (In:) Zanda B., Rotaru M. (eds) *Meteorites. Their impact on science and history*. Cambridge University Press: 102-111.



Regmaglipty i lekko utleniona skorupa obtopieniowa w meteorycie żelaznym Sikhote-Alin (Rosja)



Chondryt El Hammami (Mauretania) ze słabo widocznymi, drobnymi chondrami i łańcuszkami ziaren krystalicznego żelazoniklu

Fot. Archiwum autorki (5)