

KWARTALNIK MIŁOŚNIKÓW METEORYTÓW

METEORYT

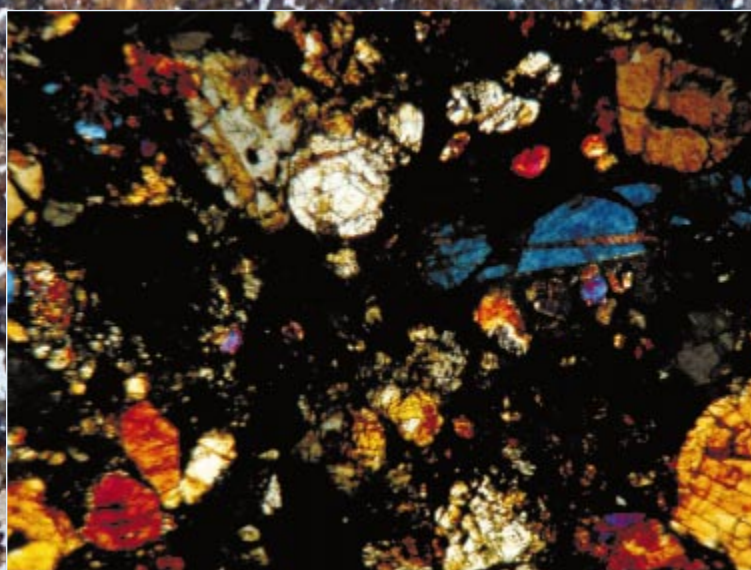
Nr 1 (53)

Marzec 2005

ISSN 1642-588X

W numerze:

- kolejny polski meteoryt – Podgrodzie
- tajemniczy Zakłodzie
- badanie meteorytów w świetle odbitym
- lit w meteorytach
- ablacja i minitektyty
- izotopy wolframu i początki układu słonecznego
- kratery uderzeniowe twardsze niż... diamenty



METEORYT

– biuletyn dla miłośników meteorytów wydawany przez Olsztyńskie Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne, Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku i Pallasite Press – wydawcę kwartalnika Meteorite, z którego pochodzi większa część publikowanych materiałów.

Redaguje Andrzej S. Pilski

Skład: Jacek Drązkowski
Druk: Jan, Lidzbark Warm.

Adres redakcji:

skr. poczt. 6
14-530 Frombork
tel. (0-55) 243-7218 w. 23
e-mail: aspmet@wp.pl

Adres wydawcy:

Olsztyńskie Planetarium i
Obserwatorium Astronomiczne
Al. Piłsudskiego 38
10-450 Olsztyn
tel. (0-89) 533-4951

opioa@planetarium.olsztyn.pl

Biuletyn wydawany jest kwartalnie i dostępny głównie w prenumeracie. Roczna prenumerata wynosi w 2005 roku 36 zł. Zainteresowanych prosimy o wpłacenie tej kwoty na konto wydawcy:

88 1540 1072 2001 5000 3724 0002
BOŚ SA O/Olsztyn.

Wydawca dysponuje także numerami archiwalnymi.

Zapraszamy
na stronę
Polskiego Serwisu
Meteoritowego:
jba1.republika.pl



Subscribe to METEORITE

Pallasite Press
P.O. Box 33-1218
Takapuna, Auckland
NEW ZEALAND
4 issues per year \$US35
(2nd class airmail)
VISA & MasterCard accepted
www.meteor.co.nz

Od redaktora:

Od pewnego czasu krążyły słuchy, że Rainer Bartoschewitz znalazł nowy polski meteoryt. Słuchy wreszcie zmaterializowały się w postaci oficjalnego zgłoszenia do Meteoritical Bulletin i okazało się, że meteoryt znalazł Paweł Osowski, a Rainer Bartoschewitz zajął się zbadaniem znaleziska. Meteoryt nie wygląda imponująco, ale przynajmniej szlif wygląda ładnie, co można zobaczyć na okładce.

Drugim elementem okładki jest Zakłodzie. Tym razem jest to płytka gruba, czyli oglądana w świetle odbitym powiększona mniej więcej siedmiokrotnie. Dopiero wtedy widać urodę tego meteorytu, który cieszy się coraz mniejszym zainteresowaniem kolekcjonerów. Dobitnie wyraził to jeden ze znanych dealerów, który na propozycję wymiany stwierdził, że jeśli ma być szczerzy, to tego typu okazów ma pełno i wołałby gotówkę.

Piękno płytek grubych fotografowanych w znacznie większych powiększeniach można podziwiać w środku numeru. Tom Phillips pokazał, że mogą to być prawdziwe dzieła sztuki abstrakcyjnej i nawet jeśli nie mamy pojęcia, co widzimy, to warto popatrzeć dla samej przyjemności. W następnym numerze Tom zapowiada obrazy płytek cienkich.

Jacek Siemiątkowski znalazł wreszcie czas, aby opisać i pokazać interesujące struktury, jakie zaobserwował w meteorycie Zag znanym z wykrycia w nim kryształów halitu. Tym razem widać w nim ślady zderzenia planetek, w wyniku czego nastąpiło lokalne stopienie i gorąca lava wdarła się w szczeliny chondrytu szybko stygnąc i krystalizując. Zag jest brekcją regolitową, czyli scementowanym gruzowiskiem z powierzchni małej planety. Pod wieloma względami przypomina meteoryt Pultusk analizowany przez pana Jacka trzy „Meteority” temu.

Widniejące na stronie PTM tytuły referatów zgłoszonych na Seminarium w Olsztynie zapowiadają bardzo interesujące spotkanie. Termin 21–22 kwietnia jest dogodny dla naukowców, którzy na Seminarium i tak są w pracy, ale dla „zwykłych śmiertelników” może być kłopotliwy. Z pewnością warto jednak postarać się o dwa dni urlopu i przyjechać.

Tych, którzy wolne miewają zwykle w weekendy, zapraszam w pierwszy weekend kwietnia do Łodzi na nieformalne spotkanie kolekcjonerów przy stoisku z meteorytami. Łódzka giełda minerałów jest moim zdaniem najbardziej przyjazna zwiedzającym spośród polskich giełd. Szczegóły w ogłoszeniu.

W ostatniej chwili Jacek zauważył, że 12 marca minęło 70 lat od spadku meteorytu Łowicz. Jeśli dla uczczenia tej rocznicy ktoś znajdzie nowy okaz, to miejsce w następnym numerze zapewnione.

Andrzej S. Pilski

HALA SPORTOWA MOSIR
ŁÓDŹ, ul. Ka. Skorupki 21

INTERSTONE
XXVI wystawa i giełda


ŁÓDŹ
2-3 KWIETNIA 2005r.
sobota-niedziela 10.00-18.00

MINERAŁY - BIŻUTERIA
SKAMIEŃIAŁOŚCI, MUSZLE, WYROBY JUBILERSKIE
OKAZY Z CAŁEGO ŚWIATA

TO WARTO ZOBACZYĆ !
ORGANIZATOR:
JANUSZ NOWAK - 02-559 1200, ul. Jelenia 4 - tel. fax: (042) 872 24 84, 9681 375 852
www.interstone.pl ; e-mail: interstone@interia.pl

TO WARTO KUPIĆ !

Podgrodzie — nowy polski meteoryt

Rainer Bartoschewitz i Paweł Osowski

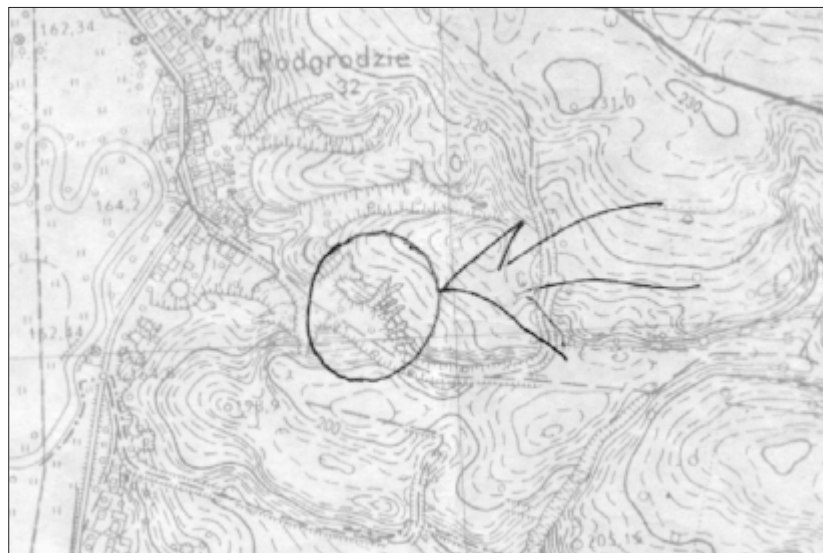
W marcu 2000 r. Paweł Osowski z Kielc, podczas poszukiwań przy pomocy wykrywacza metalu w żwirowni (ok. 50° 54.20' N, 21° 32.99' E) na południowy wschód od wsi Podgrodzie (powiat Tarnobrzeg), znalazł mały, dość ciężki kamień barwy limonitu. Znajdował się on na głębokości ok. 4 metrów w stosunku do powierzchni otaczającego terenu. Po mniej więcej trzech latach odłupany fragment otrzymało do zbadania Bartoschewitz Meteorite Laboratory w Gifhorn w Niemczech. Cały kamień ważył w sumie 8.9 g i składał się z fragmentu ważącego 3 g oraz licznych małych okruchów i pyłu bez śladu skorupy obtopieniowej. Na pierwszy rzut oka wyglądał na kawałek rudy żelaza, ale na zeszlifowanej powierzchni pojawiła się żółto-brunatna metaliczna plamka oraz kulista inkluzja, a pozytywny wynik testu na nikiel potwierdził, że kamień wygląda na silnie zwietrzały meteoryt.

Analiza płytki cienkiej przyniosła ostateczną pewność: ten kamień przybył spoza Ziemi! W meteorycie widoczna jest wyraźnie struktura chondrytowa: dominują porfirowe chondry oliwinowe o średnicy średnio 1 mm, ale w dość silnie zrekrytalizowanej matriks tkwią także belkowe chondry oliwinowe i promieniste chondry piroksenowe. Oliwin odzwierciedla stopień szokowy S1, czyli meteoryt nie doznał przeobrażeń szokowych. Stopień zwietrzenia okazał się nie tak duży, jak sugerowały makroskopowe oględziny meteorytu.

Wyniki analizy przy pomocy mikroskopy wskazują, że Podgrodzie jest chondrytem typu H4/5:

Oliwin: Fa $18,7 \pm 0,3$; piroksen niskowapniowy: Fs $16,4 \pm 0,2$ Wo $1,3 \pm 0,3$; piroksen wysokowapniowy: Fs $28,2$ Wo $25,7$; troilit Ni 0,48%, Co 0,11%, Cr 0,03%.

Potwierdziła to także wielkość po-



Il. 1. Miejsce znalezienia meteorytu Podgrodzie.

datności magnetycznej: $\log c = 5,14 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg}$.

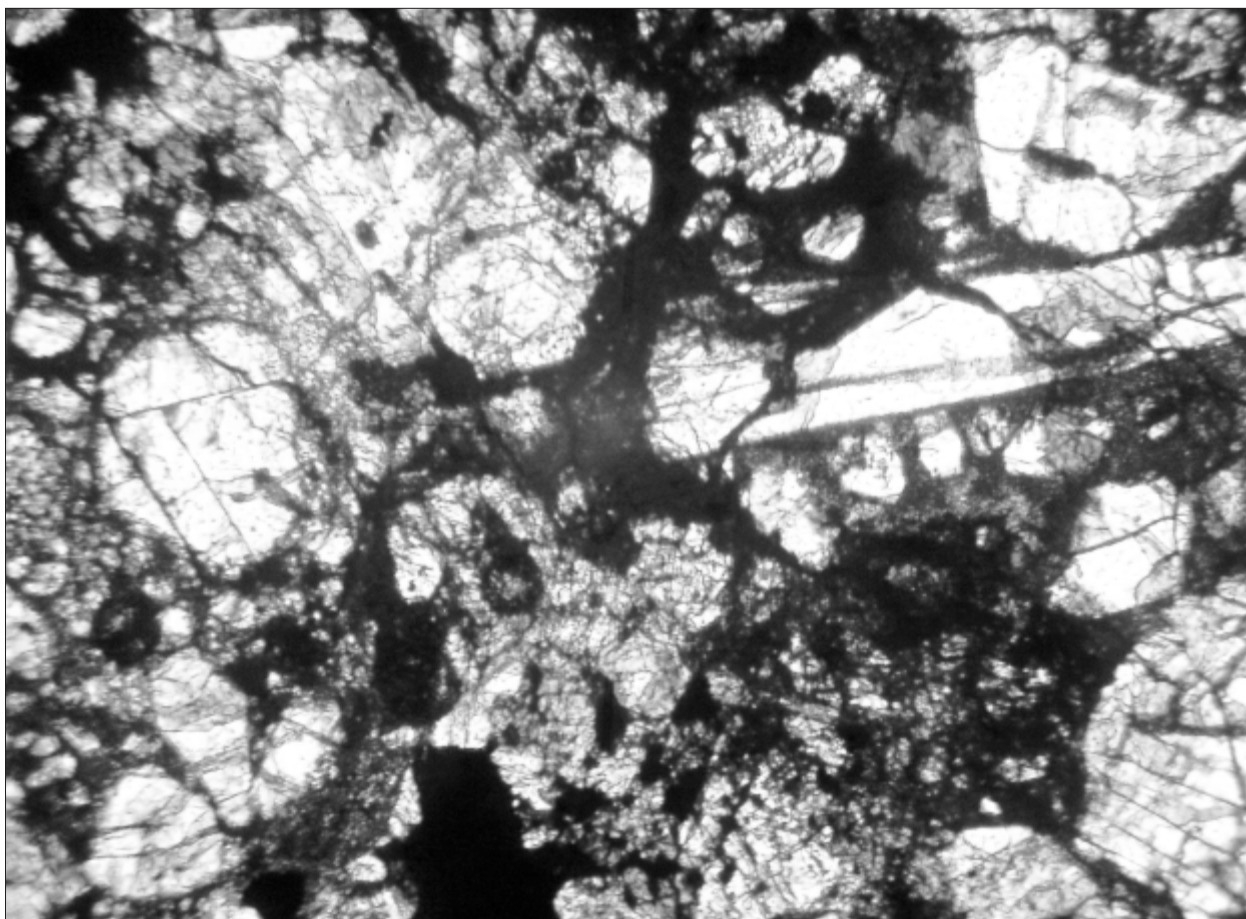
Okazy meteorytu znajdują się w następujących zbiorach: 1.76 g Muzeum Geologiczne PAN, Kraków; 4.2 g i polerowana płytka cienka BML,

Gifhorn; 3 g P. Osowski, Kielce; 0.1 g K. Mazurek, Gliwice.

Podziękowanie: Dziękujemy Andrzejowi S. Piłskiemu za przetłumaczenie na polski.



Il. 2. Największy fragment Podgrodzia, 3 g.



Il. 3. Chondrytowa struktura z dominującym oliwinem. Polaroidy równolegle. Szerokość obrazu ok. 1 mm. Ten sam fragment przy skrzyżowanych polaroidach widoczny jest na okładce.

NOWINY

IMCA

Wszystko zaczęło się od emaila wysłanego na listę dyskusyjną Meteorite Central późnym wieczorem któregoś dnia. List ten sugerował potrzebę istnienia stowarzyszenia, którego celem byłoby gwarantowanie autentyczności meteorytów. Po kilkumiesięcznej dyskusji stowarzyszenie w końcu powstało i Rhett Bourland stworzył pierwszą jego stronę internetową. Stowarzyszenie szybko rosło, ale zmieniali się jego organizatorzy. Steve Schoner poważnie zachorował, Jim Hartmann zastąpił Rhetta, strona internetowa przeniosła się z Yahoo i w końcu Ken Newton załatwił wszystkie formalności i IMCA zostało zarejestrowane w stanie Nevada w październiku 2004 r. jako niekomercyjne stowarzyszenie handlowe. Następnie Rada Dyrektorów wybrała pierwsze władze, ale wkrótce odbędą się właściwe wybory.

Rejestracja zapewniła podstawy prawne do działania, ale pierwotne zasady nie zmieniły się. Głównym celem

stowarzyszenia pozostaje *autentyczność*. Warunkiem członkostwa jest zwarantowanie, że wszystkie okazy, jakie członkowie sprzedają, promują czy darują, są autentycznymi meteorytami. Członkowie mogą być proszeni o udowodnienie tego lub oddanie okazu do analizy do renomowanego laboratorium. Celem dalszego promowania autentyczności oczekuje się od członków zwracania uwagi na wątpliwe okazy, a także że pomogą innym członkom w profesjonalny i etyczny sposób, gdy zostaną o to poproszeni. Członkowie, którzy będą uparcie sprzedawali lub promowali pseudometeoryty jako meteoryty, mogą i zostaną pozbawieni członkostwa.

Członkostwo IMCA jest otwarte dla wszystkich uczciwych, etycznych osób, ponieważ wszyscy mogą przez to odnieść korzyść i zwiększyć wartość swych zbiorów meteorytów. Kolekcjonerzy zyskują gwarancję autentyczności kupując u dealerów posiadających logo IMCA, dealerzy mogą uzyskać pomoc w razie potrzeby, a naukowcy nie muszą tracić tak dużo czasu na oglądanie pseudometeorytów. IMCA jest rzeczywiście międzynarodową organizacją: mamy

teraz ponad 300 członków z 22 krajów, prezes i skarbnik są ze Stanów, ale wiceprezes jest Niemcem a sekretarz jest Australijczykiem. Dobrze, że nie musimy się zbyt często spotykać.

Zrobiliśmy już dużo, ale wciąż jesteśmy bardzo młodym stowarzyszeniem i w dużym stopniu w trakcie tworzenia. Statut wciąż czeka na napisanie, trzeba zorganizować lepszy system przyjmowania członków i komunikacji, a przede wszystkim chcemy o wiele więcej zrobić na stronie internetowej. Powinna ona stać się głównym źródłem informacji dla kolekcjonerów na każdym stopniu zaawansowania ze stronami informacji, zdjęć, linków do laboratoriów i dodatkowych źródeł, nowości ze świata meteorytów w ogóle, o nowych odkryciach i ludziach, którzy ich dokonali.

Wszystko to przyjdzie z czasem. Teraz potrzebujemy wszelkiej możliwej pomocy i jeśli chcesz pomóc swemu ulubionemu hobby i cudownemu światu meteorytów, proszę, przyłącz się do nas!

Anne Black
Prezes I.M.C.A. Inc.
www.imca.cc

Masowa zagłada na końcu Permu

Dwieście pięćdziesiąt milionów lat temu znikło dziewięćdziesiąt procent morskich gatunków i życie na lądzie ogromnie ucierpiało w trakcie tej największej masowej zagłady na Ziemi. Przypadek tego wielkiego wymierania dręczy naukowców od lat, a ostatnie rozważania odwołują się do zderzenia z planetoidą jako śmiertelnościowego narzędzia. Jednak nowe wyniki badań, opublikowane w grudniowym numerze „Geology”, dostarczają poważnych przesłanek, że przyczyna zagłady nie pochodziła z nieba, ale z Ziemi.

Międzynarodowy zespół naukowców, którym kierował Christian Koeberl z Uniwersytetu Wiedeńskiego, badał próbki skał z głębokich wierceń w Karyńskich Alpach w południowej Austrii i w zachodnich Dolomitach w północno-wschodnich Włoszech. Ich odkrycia podsyły i tak już jedną z najbardziej gorących dyskusji w dziedzinie nauk o Ziemi.

„Nasze badania geochemiczne tych dwóch znanych przekrojów z końca Permu w Austrii i Włoszech ukazały brak wyraźnych dowodów zderzenia z obiektem pozaziemskim”, powiedział Koeberl. „Wskazuje to, że masowa zagłada musiała być rodzimego chowu.”

Warstwy skalne zawierają chemiczne świadectwa zmian środowiska z upływem czasu. Planetoidy i komety różnią się pod względem chemicznym od Ziemi i gdy przybywają, pozostawiają w skałach wymowne, chemiczne odciski palców.

Z pomocą kolegów z USA i Wielkiej Brytanii Koeberl potwierdził obecność w próbkach pierwiastka irydu. Iryd występuje w planetoidach, kometach i innej pozaziemskiej materii. Jednak stwierdzone ilości były bardzo małe w porównaniu ze związanymi z uderzeniem planetoidy, które zdaniem naukowców zabiło dinozaury 65 milionów lat temu. Jednocześnie zespół nie znalazł żadnych śladów pozaziemskich izotopów helu-3 i osmu-187 związanych zwykle ze zderzeniami.

Zespół znalazł natomiast dowody działania czysto ziemskich procesów. Według Koeberla „Nieznaczna koncentracja irydu mogła zostać osadzona przez spokojne oceany, gdy zawartość dwutlenku węgla w atmosferze była wysoka, a tlenu w wodach oceanicz-

nych było niewiele. Źródłem dwutlenku węgla była prawdopodobnie aktywność wulkaniczna.”

Duże obszary ziemskiej skorupy mogą być rozszczerzone przez aktywność wulkaniczną i wytworzyć miejsce na tworzenie się oceanów. Gdy jednak dochodzi do pęknięcia skorupy kontynentalnej, dokonanie tego jest bardzo trudne. Na końcu Permu taka nieudana próba utworzenia oceanu doprowadziła do ogromnej aktywności wulkanicznej w sercu obecnej Syberii. Emisje gazów wulkanicznych wypełniły atmosferę prowadząc do zmian klimatu i przebiegu cyrkulacji oceanicznej.

„Nasze odkrycia wspierają pogląd, że dowody zderzenia z obiektem pozaziemskim w tym czasie są słabe i niespójne”, powiedział Koeberl. „Jednocześnie wskazują one, że rozległa aktywność wulkaniczna może być „dymiącą bronią”, dość dosłownie, która zmiołła większość życia z powierzchni Ziemi.”

Meteoryt na Marsie

Wędrujący po powierzchni Marsa od 24 stycznia 2004 r. Marsrover Opportunity napotkał na terenie Meridiani Planum meteoryt żelazny. Ten niezwykle okaz leżał w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca spadku odrzuconej przy lądowaniu tarczy ochronnej. Właśnie tej tarczy szukał Opportunity, aby zbadać, jak wygląda ona po przełocie przez marsjańską atmosferę. Informacje o jej stanie są bardzo potrzebne inżynierom, aby ulepszyć tarcze z myślą o dalszych wyprawach. Po drodze do tarczy sonda natrafiła na kamień wielkości piłki do siatkówki leżący w odległości około dziesięciu metrów. Ponieważ na terenie lądowania Opportunity kamienie są rzadkością, kamień został zbady z bliska. Już pierwsze ostre obrazy nasunęły podejrzenie, że może to być meteoryt. Przy pomocy spektrometru Mössbauera i spektrometru w promieniach alfa i rentgenowskich stwierdzono bez

żadnych wątpliwości, że składa się on z dużej ilości metalicznego żelaza z dodatkiem niklu, czyli ma skład typowy dla meteorytów żelaznych. Znalezienie meteorytu na powierzchni Marsa jest zdumiewającym przypadkiem, ale trzeba zauważyć, że w warunkach panujących na powierzchni Marsa meteority mogą się zachować o wiele dłużej niż na Ziemi. Na naszej planecie wietrzenie pod działaniem wody i atmosferycznego tlenu powoduje, że takie meteority rzadko mogą przetrwać do stu tysięcy lat. Na Marsie natomiast mogą one leżeć wiele milionów lat.

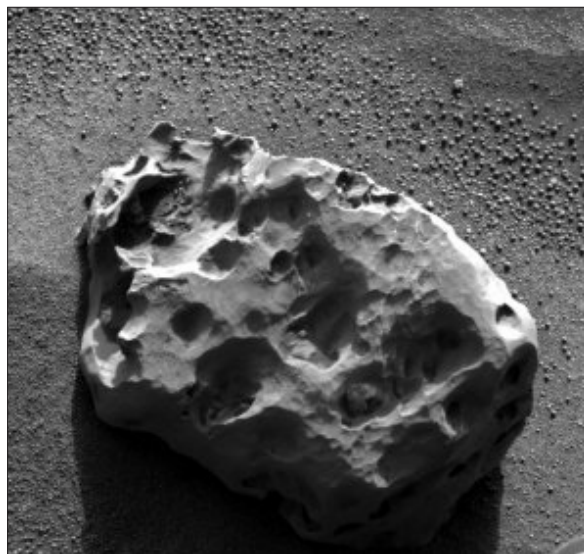
(NASA/JPL)

Mnóstwo wstrząsów na Erosie

Naukowcy z Uniwersytetu Arizonskiego odkryli, dlaczego Eros, największa planetoida z grupy przelatujących blisko Ziemi, ma tak niewiele małych kraterów.

Gdy sonda NEAR krążyła wokół Erosa od lutego 2000 r. do lutego 2001 r., ukazała nam planetoidę pokrytą regolitem – luźną warstwą kamieni, żwiru i pyłu z tkwiącymi w niej licznymi większymi głazami. Sonda znalazła także miejsca, gdzie regolit najwidoczniej zsunął się lub spłynął po zboczu odsłaniając świeżą powierzchnię.

NEAR nie znalazł jednak licznych małych kraterów, które według oczekiwań naukowców miały pokrywać powierzchnię Erosa. „Albo te kraterki zostały jakoś zatarte, albo jest mniej małych planetoid, niż sądziliśmy”, stwierdził James E. Richardson Jr.



Meteoryt znaleziony na Marsie przez Opportunity

z wydziału nauk o planetach Uniwersytetu Arizonońskiego.

Richardson doszedł do wniosku, że wstrząsy sejsmiczne zatarły około 90 procent małych kraterów tej planetoidy, takich o średnicy poniżej 100 metrów. Te wstrząsy powstają w wyniku zderzeń Erosa z gruzem kosmicznym.

Richardson oraz H. Jay Melosh i Richard Greenberg z Lunar and Planetary Laboratory przedstawili wyniki analiz w „Science” z 26 listopada 2004 r.

„Eros jest zaledwie wielkości jeziora Tahoe – 33 km długości i 13 kilometrów szerokości,” powiedział Richardson. „Ma więc bardzo małą objętość i bardzo słabe przyciąganie. Gdy metrowej wielkości obiekt uderza w Erosa, zderzenie wywołuje globalne drgania sejsmiczne. Nasze analizy pokazały, jak łatwo te drgania destabilizują regolit pokrywający powierzchnię.”

Warstwa kamieni i pyłu bardziej pełnie niż zsuwa się po zboczu z powodu słabej grawitacji Erosa. Regolit nie tylko zsuwa się po powierzchni, ale także

podskakuje i przeskakuje w dół. Z upływem czasu, powoli krater wypełniają się i znikają.

Gdyby Eros był wciąż w głównym pasie planetoid między Marsem a Jowiszem, to krater o średnicy 200 metrów wypełniłby się w ciągu 30 milionów lat. Ponieważ obecnie Eros krąży poza pasem planetoid, ten proces trwa tysiąckrotnie dłużej.

Wyniki badań Richardsons zgadza się z obserwacjami sondy NEAR. Zamiast spodziewanych 400 kraterów o średnicy 20 metrów, na kilometr kwadratowy jest średnio około 40 takich kraterów.

Modelowe analizy potwierdzają także przypuszczenia naukowców co do wewnętrznej budowy Erosa. „Misja NEAR pokazała, że Eros najprawdopodobniej jest spękanym monolitem; ciałem składającym się z jednego rodzaju materii,” powiedział Richardson. „Duże zderzenia sprawiły, że Eros jest spękany w całej masie i trzyma się w całości głównie dzięki grawitacji. Świadczą o tym liczne rozpadliny i uskoki prze-

cinające powierzchnię planetoidy i globalnie i lokalnie.”

„Duże zderzenia spowodowały spękania sięgające jądra, ale liczne małe zderzenia powodują pękanie tylko powierzchniowej warstwy. Taki rozkład spękań jest analogiczny do obserwowanego w skorupie Księżyca, stwierdził Richardson. „A księżycową skorupę znamy – byliśmy tam. Umieściliśmy sejsmometry na Księżycu. Wiemy, jak rozchodzi się energia sejsmiczna w tego rodzaju strukturze.”

Z przeanalizowania przez naukowców z Uniwersytetu Arizonońskiego, jak wstrząsy sejsmiczne wywołane zderzeniami zmodyfikowały powierzchnię Erosa wynika kilka innych ważnych wniosków.

„Jeśli w końcu wyślemy statek kosmiczny do pozyskiwania surowców z planetoid przelatujących blisko Ziemi, albo żeby zepchnąć z kursu planetoidę grożącą uderzeniem w Ziemię, to znajomość wewnętrznej budowy planetoidy pomoże wybrać właściwe sposoby postępowania. W bliższej przyszłości sondy wysłane po próbki napotkają stopniowo coraz mniej porowaty, bardziej zwięzły regolit, gdy wwiercą się głębiej w powierzchnię planetoid takich jak Eros, które zostały zagęszczone przez wstrząsy sejsmiczne,” zauważył Richardson.

„Uzyskamy w ten sposób także informacje o środowisku małej planety, jakie napotkamy, gdy wyślemy statek do głównego pasa planetoid, gdzie Eros spędził większość swego istnienia. Wiemy, że małe planetoidy – te o wielkości od piłki plażowej do boiska piłkarskiego – są tam także. To tylko ich ślady na planetoidach takich jak Eros są zacierane.

To stwierdzenie jest ważne, ponieważ liczba i wielkość kraterów na dużych planetoidach dostarcza bezpośrednich informacji o rozmiarach i liczebności małych planetoid głównego pasa. Przez naziemne teleskopy zaobserwowano niewiele małych planetoid w głównym pasie. Naukowcy muszą więc opierać ocenę ich liczby przede wszystkim na ilości kraterów na planetoidach i modelowaniu historii zderzeń planetoid,” stwierdził Richardson.

University of Arizona News Services



**Olsztyńskie Planetarium
i Obserwatorium Astronomiczne
oraz
Polskie Towarzystwo Meteorytowe**
zapraszają
do Olsztyna w dniach 21–22 kwietnia 2005 roku
na
**III SEMINARIUM METEORYTOWE
i
WALNY ZJAZD
POLSKIEGO TOWARZYSTWA METEORYTOWEGO**

Program:

21/04 (czwartek)

9,00 Uroczyste otwarcie
9,30-11,00 Sesja referatowa
11,00-11,30 kawa / herbata
11,30-13,30 Sesja referatowa
13,30-15,00 obiad
15,00-16,30 Sesja referatowa
16,30-17,00 Sesja plakatu
17,00-17,30 Otwarcie wystawy
meteorytów
17,30-18,30 Sesja referatowa
18,30-19,00 Wieczór autorski
19,00 kolacja

22/04 (piątek)

9,00-11,00 Sesja referatowa
11,00-11,30 kawa / herbata
11,30-13,30 Sesja referatowa
13,30-15,00 obiad
15,00-18,00 Walne Zebranie
Polskiego
Towarzystwa
Meteorytowego
18,00-19,00 Projekcja
w Planetarium
19,00 kolacja

Zakłodzie

– tajemniczy meteoryt enstatytowy

Andrzej S. Pilski

W publikacji naukowej nie ma miejsca na fantazjowanie. Recenzenci, jak sędziowie na rozprawie, żądają dowodów, albo domagają się usunięcia tezy z publikacji. Czasem jednak sugestie są ciekawsze i bardziej inspirujące niż udowodniona prawda. Czysta prawda o Zakłodziu będzie opublikowana w jednym z tegorocznych numerów *Meteoritics and Planetary Science*. Tutaj chciałbym przedstawić trochę plotek oraz osobistych wspomnień i refleksji związanych z tym bardzo ciekawym meteoritem.

Po raz pierwszy zobaczyłem fragment Zakłodzia podczas seminarium meteorytowego w Pułtusk. Jeden z uczestników pokazał małą, żółtobrązową płytkę z licznymi ziarnami metalu. Powiedział, że kupił ją od jakiegoś Ukraińca i pytał, czy to może być meteoryt. Na pierwszy rzut oka płytka przypominała wyglądem Ilafegh 009 sklasyfikowany wówczas jako chondryt enstatytowy EL 6/7. Powiedziałem więc, że może to być chondryt enstatytowy. Nie byłem jednak zainteresowany dokładniejszym badaniem małego kawałka jakiegoś chondrytu z Ukrainy i szybko o nim zapomniałem.

Meteoryt pojawił się jednak znowu w postaci innej płytki, którą ta sama osoba dostarczyła dr Stępniewskiemu. Tym razem ten człowiek twierdził, że znalazł ten meteoryt w Polsce. Ta płytka miała wygląd chondrytowy z ziarnami metalu i troilitu między krzemianami. Ziarna krzemianów były zaokrąglone, ale nie miały struktury chondr. Podobne ziarna widziałem w Happy Canyon, innym zagadkowym meteorycie enstatytowym klasyfikowanym przez różnych badaczy i jako chondryt i jako achondryt. Dr Stępniewski stwierdził wkrótce, że ziarna są rzeczywiście enstatytowe. Nie było wątpliwości, że jest to meteoryt enstatytowy. Ale jakiego typu?

Przy pomocy znanego kolekcjonera

i badacza Rainera Bartoschewitza, obecnie członka Polskiego Towarzystwa Meteorytowego, meteoryt został zbadany i zgłoszony do *Meteoritical Bulletin*. Dr Stępniewski zaproponował typ EL6/7, ale w *Meteoritical Bulletin* uznano go za niezgrupowany meteoryt enstatytowy. Nadal nie było jasne, czy jest to chondryt czy achondryt. Znalazca zdecydował się w końcu ujawnić miejsce znalezienia i meteoryt otrzymał nazwę pobliskiej wioski: Zakłodzie.

Nie jest łatwo badać meteoryty w Polsce, gdzie brakuje nowoczesnej i kosztownej aparatury. Zacząłem się więc rozglądać, kto mógłby pomóc rozwiązać zagadkę Zakłodzia. Na szczęście na Saharze znaleziono meteoryt enstatytowy Itqiy o podobnej budowie, który został skierowany do zbadania do Lunar and Planetary Laboratory Uniwersytetu Arizońskiego w Tucson. Spytałem dr Hill, czy nie mogłaby dla porównania zbadać próbki Zakłodzia. Zgodziła się i w rezultacie w czerwcowym numerze *Meteoritics and Planetary Science* ukazała się praca autorstwa Andrei Patzer i jej kolegów, zawierająca bardzo ciekawe wyniki.

Przed wszystkim ucieszyłem się, że ziemski wiek Zakłodzia wyznaczony przez dr Patzer nie przeczył mojej hipotezie na temat momentu spadku. Kilka lat przed znalezieniem Zakłodzia w 1998 roku, znalazłem kopię notatki z „Gazety Lubelskiej” o ogromnym bolidzie. W nocy z 20 na 21 kwietnia 1897 roku w Lublinie i sąsiednich miejscowościach obserwowano przelot bardzo jasnego bolidu, po czym nastąpiły potężne detonacje. Były one tak silne, że w koszarach w Tomaszowie Lubelskim ogłoszono alarm. Niestety do gazety nie dotarły żadne informacje o znalezieniu meteorytów.

Meteoryt Zakłodzie znaleziono na południe od Lublina i na zachód od Tomaszowa Lubelskiego. Dr Patzer stwierdziła, że jego wiek ziemski nie przekracza 200 lat. Meteoryt może więc

pochodzić z bolidu opisanego przez gazetę. Z opisu zjawiska, przypominającego opis spadku meteorytu pułtuskiego, można wnioskować, że spadło więcej meteorytów, ale nie udało się dotąd znaleźć żadnego dodatkowego okazu.

Bardzo ciekawe wnioski wynikają z wyznaczenia zawartości cięższych gazów szlachetnych, czyli argonu, kryptonu i ksenonu. Dr Patzer stwierdziła wcześniej, że nie zrównoważone chondryty enstatytowe typu 3 zawierają mniej cięższych gazów szlachetnych niż zrównoważone chondryty wyższych typów petrologicznych. Następnie stwierdziła, że zawartość gazów szlachetnych w Zakłodziu jest podobna do zawartości tych gazów w chondrytach enstatytowych typu 3. Potwierdza to moje przypuszczenie, że Zakłodzie może być pierwotnym achondrytem enstatytowym.

Zakłodzie można nazwać achondrytem, ponieważ nie zawiera chondr. Enstatytowe achondryty nazywane są jednak aubrytami, i różnią się od chondrytów enstatytowych budową i składem chemicznym, a nie tylko samym brakiem chondr. Skład chemiczny Zakłodzia jest podobny do chondrytów a nie do aubrytów.

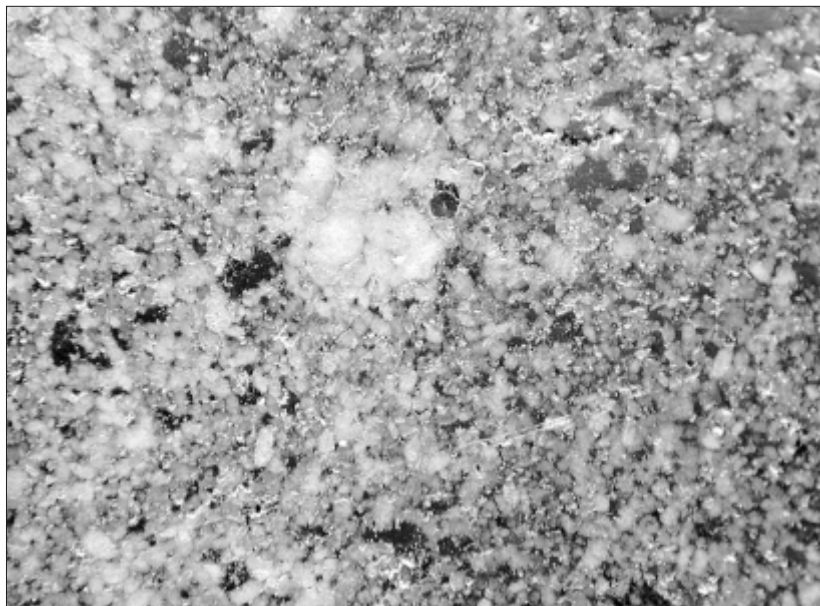
Znane są pierwotne achondryty o achondrytowej strukturze i chondrytowym składzie, mianowicie acapulcolity, lodranity i winonaity. Sądzę, że Zakłodzie można przez analogię nazwać pierwotnym achondrytem enstatytowym. Jednak ostatnio pojawiła się wśród badaczy moda na nazywanie podobnych meteorytów stopami pozdzerzeniowymi.

Nie ma wątpliwości, że Zakłodzie jest skałą, która krystalizowała ze stopu. Dr Przylibski dowodzi, że jest to piroksenit podobny do ziemskiego websterytu plagioklazonożnego. Oba mają tę samą strukturę i różnią się głównie tym, że nieprzezroczyste minerały websterytu – tlenki i siarczki żelaza, są

zastąpione w Zakłodzie metalicznym żelazem i troilitem. Pozostaje tylko pytanie, jak taki stop powstał. Czy chondryt został stopiony w wyniku zderzenia, czy też było inne źródło ciepła?

Nie ma większych wątpliwości, gdy skała ma młody wiek krystalizacji. Dobrym przykładem jest wspomniany wcześniej meteoryt Itqiy. Jest to stosunkowo młoda skała, co oznacza, że powstała w czasie, gdy zderzenia były jedynym źródłem ciepła do stopienia skał na małych planetach. Nie ma więc wątpliwości, że Itqiy jest stopem pozderzeniowym. Zakłodzie jest jednak starą skałą, której wiek krystalizacji jest podobny do wieku chondrytów enstatytowych. Zderzenia nie były w owym czasie jedynym źródłem ciepła. Z drugiej strony w przypadku pierwotnych achondrytów nikt nie pyta o źródło ciepła. Wystarczy, że powstały one w początkach istnienia Układu Słonecznego. Moim zdaniem z tego samego powodu można do pierwotnych achondrytów zaliczyć Zakłodzie.

Przeglądając uważnie publikacje dr Patzer i jej kolegów zauważyłem, że Zakłodzie nie jest jedynym kandydatem na pierwotny achondryt enstatytowy. Znalazłem kilka innych "stopów pozderzeniowych", jak nazywa je Burbine i jego koledzy, mających podobną zawartość cięższych gazów szlachetnych. Moim zdaniem nie przypadkowo wszystkie meteoryty zaliczone przez Burbine'a do grupy "wzbogaconych w plagioklaz, magmowych meteorytów enstatytowych", mają zawartość cięższych gazów szlachetnych podobną do



Il. 1. Niektórzy są zdania, że takie jasne skupienia ziaren enstatytu mogą być relikami chondr. Fot. Paweł Raczyński

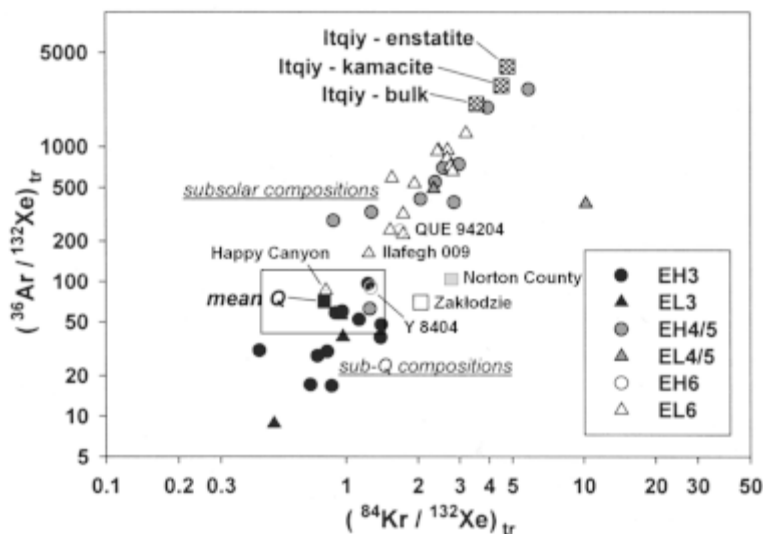
siebie wzajemnie i do chondrytów enstatytowych typu 3. Sugeruje to raczej wspólne pochodzenie. Byłoby miło nazwać te meteoryty „zakłodzieitami”, ale nazwa grupy powinna pochodzić od pierwszego obserwowanego spadku meteorytu tego typu. Ponieważ trudno udowodnić, że meteoryt Zakłodzie spadł po bolidzie z 1897 roku, ten meteoryt jest wciąż uznawany za znalezisko.

Określenie „wzbogacone w plagioklaz” odnosi się do porównania z najbardziej znanymi achondrytami enstatytowymi czyli aubrytami. Aubryty są piroksenitami składającymi się głównie z enstatytu, który w komorze magmy o chondrytowym składzie krystalizował jako pierwszy. Zawierają one mniej plagioklazu, troilitu i metalu w porówna-

niu z chondrytami. Po krystalizacji aubrytów pozostała magma powinna być wzbogacona w plagioklaz i minerały nieprzezroczyste i w końcu powinna także skryształizować tworząc skałę o składzie bazaltu mówiąc ogólnie.

Uważa się, że bazalty enstatytowe, które wykryły się z magmy pozostałej po krystalizacji aubrytów, nie występują w meteorytowych kolekcjach. Jest jednak możliwe, że Zakłodzie i meteoryty jego typu są właśnie tego rodzaju skałami. Ta sugestia wymaga szczegółowych badań. Przemawiającym za nią argumentem może być fakt, że jeden z najbardziej znanych aubrytów, Norton County, ma podobną zawartość cięższych gazów szlachetnych, jak Zakłodzie i jego krewni.

Co można powiedzieć o pochodzeniu samego Zakłodzia? Po szczegółowych badaniach dr Przylibski wraz z kolegami stwierdził, że w wysokiej temperaturze krystalizacja tego meteorytu przebiegała powoli i najpierw krystalizował enstatyt rombowy. W miarę obniżania się temperatury kryształy o rombowej symetrii przekształcały się w enstatyt jednoskośny. Potem coś się wydarzyło i temperatura gwałtownie spadła. Transformacja enstatytu została przerwana. Na szybką krystalizację wskazują zbliżnienia kryształów enstatytu i szkieletowe kryształy plagioklazu obejmujące ziarna enstatytu. Na koniec, w niższych temperaturach, wykryły się metaliczne żelazo z niklem, troilit i schreibersyt wypełniając miejsca między kryształami krzemianów.



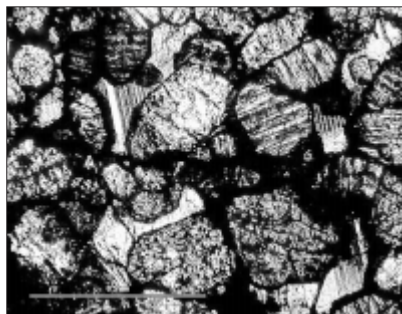
Il. 2. Zakłodzie i jego rodzina na wykresie zaczerpniętym z Patzer et al. (2002). Prostokąt obejmuje chondryty zwyczajne i węgliste. Do rodziny Zakłodzia należą Happy Canyon i Ilafegh 009 oraz dwa meteoryty antarktyczne: QUE 94204 i Y 8404. Norton County kręci się w pobliżu, ale jego dane są obciążone dużym błędem. Itqiy jak widać jest z zupełnie innej parafii.

Istnienie magmy wymaga istnienia gorącego ciała macierzystego. W młodym Układzie Słonecznym źródłem ogrzewania były i pierwiastki promieniotwórcze i zderzenia. Te ostatnie mogły być także powodem szybkiego stygnięcia, kiedy powoli stygnąca w głębi magma została wyrzucona na powierzchnię. Inną przyczyną szybkiego stygnięcia magmy mogła być aktywność wulkaniczna wywołana bliskim przelotem innej planetoidy.

Budowa skały Zakłodzia sugeruje, że znacznie później nastąpiło ponowne jej ogrzanie, najprawdopodobniej w wyniku zderzenia. Metal, siarczki i plagioklaz zostały znów na krótko stopione. Dowodem na to jest istnienie skaleń drugiej generacji. W ten sposób zwolennicy uznawania Zakłodzia za stop pozderzeniowy też mają trochę racji.

Przecięcie bryły Zakłodzia ujawniło wewnątrz tajemniczy, biały obszar z dużą inkluzją metalu. Wiadomo, że kryształy enstatytu są przezroczyste lub białe albo zabarwione na żółto w bardziej zwietrzałych meteorytach. Jednak większość chondrytów enstatytowych jest ciemnoszara. Przyczyną są drobniutkie ziarenka grafitu rozproszone w skale. Grafit i żółtobrazowe skutki wietrzenia powodują ciemny wygląd większej części Zakłodzia. Jednak głęboko we wnętrzu kamienia grafit został zebrany do dużej metalowej inkluzji tworząc w niej liczne, drobne ziarenka. Najwidoczniej do tego obszaru nie dotarło także wietrzenie i w rezultacie widzimy tylko białe ziarna enstatytu.

W nadziei, że w środku meteorytu biały obszar będzie jeszcze większy, poprosiłem właściciela głównej masy o odcięcie jeszcze kilku płytek. Okazało się jednak, że biały obszar szybko się kończy i bliżej środka kamienia jest już tylko dość ciemna skała. Najwidoczniej



Il. 4. Identyfikacyjny układ zblźniaczeń w kryształach plagioklastu wypełniających miejsca między ziarnami enstatytu wskazuje, że są to fragmenty jednego kryształu. Takie szkieletowe kryształy tworzą się przy gwałtownym oziębianiu magmy. Fot. Paweł Zagożdżon

biały obszar jest związany z dużą inkluzją metalu.

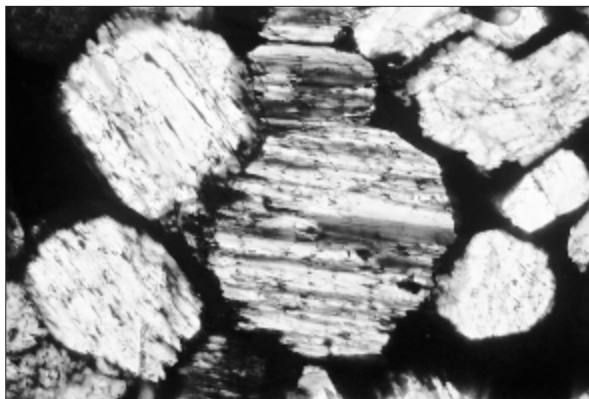
Zakłodzie jest dostępne dla kolekcjonerów w postaci płytek odciętych z grubej piętki, która była odcięta najpierw, aby zobaczyć wewnętrzną budowę meteorytu. Dlatego wszystkie oferowane płytki są ciemne z żółtawym odcieniem. Stanowiąca pełny przekrój gruba płyta z białym obszarem i pozostała główna masa są u znalazcy. Inne fragmenty z części białego obszaru są w muzeach lub w bardzo nielicznych prywatnych zbiorach.

Cena Zakłodzia na rynku kolekcjonerskim została wywindowana do nieprzyzwoitych rozmiarów przez pewnego szkockiego dealera. W rezultacie szybko doszło do sytuacji, że wszyscy chcą sprzedać Zakłodzie, a nikt nie chce kupić. Dealerom najwidoczniej nie wypada znacznie obniżyć cen, bo koledzy wilkiem patrzą. Z drugiej strony meteoryt ten jest atrakcyjny głównie dla naukowców. Dla przeciętnego kolekcjonera daleko mu do urody meteorytów żelazno-kamiennych, czy do renomy meteorytów marsjańskich i księżycowych. W dodatku rzadko oferowane są okazy tak ładnie przygotowane, jak na okładce tego numeru.

Szansą dla kolekcjonerów są ostatnio aukcje internetowe. Zakłodzie pojawia się na nich stosunkowo często i nigdy nie osiąga cen żądanych przez dealerów. Można więc zdobyć okaz do kolekcji za całkiem przyzwoitą (dla nabywcy) cenę. Kolekcjonerom, którzy jeszcze nie dorobili się Zakłodzia, polecam tę właśnie drogę.

Trochę literatury:

- Burbine T. H., McCoy T. J., Dickinson T. L., 2000 – Origin of plagioclase-„enriched”, igneous, enstatite meteorites. *Meteoritics & Planetary Science*, **35**, A36.
- Karwowski E., Jachymek S., Siemiątkowski J., 2001 – The mineralogy and origin of the Zakłodzie meteorite. *Mineralogical Society of Poland – Special Papers*, **18**, 65-69.
- Maneck A., Eodziński M., 2001 – Czy obserwowane w meteorycie Zakłodzie kuliste skupienia piroksenów s^1 chondrami? *Materiały Konferencyjne „Na-*



Il. 3. Zblźniaczenia kryształów enstatytu (czego obrazem są równoległe paski) dowodzą gwałtownego oziębienia magmy. Fot. Ryszard Kryza

uki o Ziemi w badaniach podstawowych, zołowych i ochronie aerodwiska na progu XXI wieku”. Wydzia³ Geologii, Geofizyki i Ochrony (Erodowiska Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków, 28 i 29 czerwca 2001 roku.

- McCoy T. J., Keil K., Bogard D. D., Garrison D. H., Casanova I., Lindstrom M. M., Brearley A. J., Kehm K., Nichols Jr. R. H., Hohenberg C. M., 1995 – Origin and history of impact-melt rocks of enstatite chondrite parentage. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**, 161-175.
- Olsen E. J., Bunch T. E., Jarosewich E., Noonan A. F., Huss G. I., 1977 – Happy Canyon: a new type of enstatite achondrite. *Meteoritics*, **12**, 109-123.
- Patzer A., Franke L., Schultz L., 2001 – New noble gas data of four enstatite chondrites and Zakłodzie. *Meteoritics & Planetary Science*, **36**, A157-A158.
- Patzer A., Hill D. H., Boynton W. V., Franke L., Schultz L., Jull A. J. T., McHargue L. R., Franchi I. A., 2002 – Itqiy: A study of noble gases and oxygen isotopes including its terrestrial age and a comparison with Zakłodzie. *Meteoritics & Planetary Science*, **37**, 823-833.
- Przylibski T. A., Zagożdżon P. P., Kryza R., Pilski A. S., 2003 – Mineralogia, petrologia, geneza i propozycja nowej klasyfikacji meteorytu enstatytowego „Zakłodzie”. *Materiały II Seminarium Meteorytowego Olsztyn 2003*, str. 80-101.
- Przylibski T. A., Zagożdżon P. P., Kryza R., Pilski A. S., 2005 – The Zakłodzie enstatite meteorite: its mineralogy, petrology, origin and classification. *Meteoritics & Planetary Science*, **40** (w druku).
- Stępniewski M., Borucki J., Durakiewicz T., Giro L., Sharp Z. D., 2000 – Preliminary study of a new enstatite meteorite from Zakłodzie (Southeast Poland). *Meteoritics & Planetary Science*, **35**, A152-A153.
- Wlotzka F., Stępniewski M., Bartoschewitz R., 2000 – The Meteoritical Bulletin 84. *Meteoritics & Planetary Science*, **35**, A219.

W

Ablacja i minitektyty

Don McColl & Guy Heinen

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 11 No. 1. Copyright © 2005 Pallasite Press)

W lutym 2003 r. okrutny i tragiczny los, który spotkał statek kosmiczny Columbia i jego bohaterską załogę, dobitnie przypominał gwałtowność sił wywołujących atmosferyczną ablację. Każdy meteoryt i tektyt musi doświadczyć tej gwałtowności podczas przelotu przez naszą atmosferę.

Wiemy, że aby chociaż część ich przetrwała spадanie, meteoryty tracą znaczną część swej masy wskutek ablacji. Albo jest ona spalana i zmiotana w postaci pyłu tlenków, albo pozostaje w części jako cienka skórka lśniącej skorupy obtopieniowej. W porównaniu z nimi może się wydawać, że tektyty mają łatwiejszy przelot, chociaż napotykały ten sam efekt ogrzewania wskutek gwałtownego hamowania. Szkliwo tektytów składa się z dość ogniotrwałych tlenków, które nawet przy wysokiej temperaturze tworzą lepką ciecz zachowując swą szklaną naturę i nie zamieniając się w pył. Najładniejsze australijskie tektyty mają także czołowe powierzchnie o pięknych, aerodynamicznych kształtach, przypominające nam, że chociaż przetrwały spадanie,

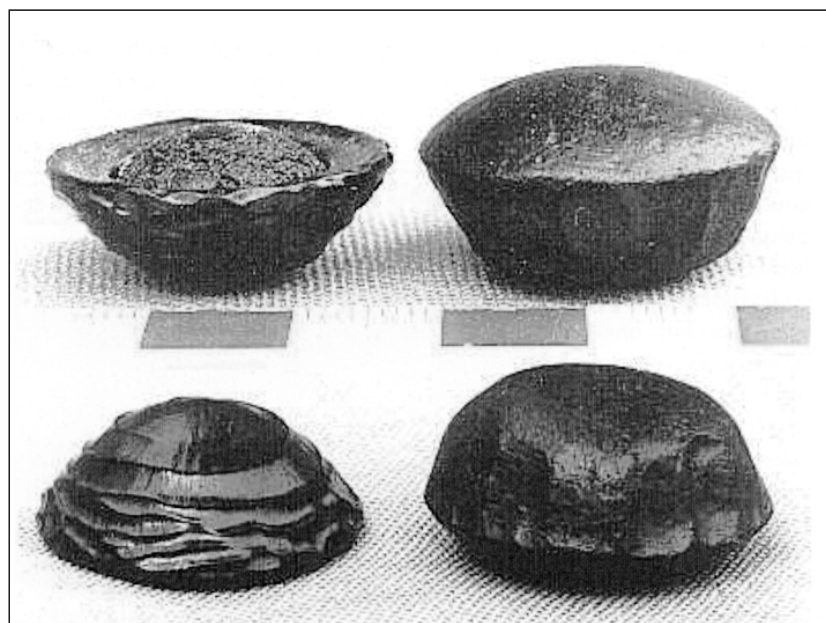
to nie wyszły z niego bez szwanku. Stopienie czołowej powierzchni tektytu wraz z wytworzeniem się kołnierzy i pierścieniowych fal świadczy o potęgze efektów topienia jakie wystąpiły podczas końcowej fazy spadania.

Pierwszą osobą, która wyraźnie wyjaśniła efekty ablacji australijskich tektytów, był George Baker. Krótko przed emeryturą, na początku lat sześćdziesiątych XX wieku, tuż przed lotami Apolla na Księżyc, zajmował się mikroskopowymi badaniami minerałów w spokojnym, małym laboratorium na Uniwersytecie w Melbourne. W tamtych latach jeden z nas (McColl) spotykał się z nim czasem przy kawie podczas lunchu, kiedy zachwycił się on aerodynamicznymi kształtami miejscowych tektytów. Przez kilkadziesiąt lat z powodzeniem poszukiwał on tych nieprawdopodobnych rarytasów, a jego wspaniała praca przedstawiająca teorię formowania tektytów ukazała się zaledwie kilka lat wcześniej (Baker 1956). Był przekonany, że znacznie więcej czeka na odkrycie. Niestety badanie tektytów nie było wtedy wysoko cenione w Australii, chociaż w innych czę-

ściach świata poczyniono znaczne postępy. Sponsorowane przez NASA badania tektytów na Uniwersytecie Bostońskim w 1960 r. i prace w strumieniu plazmy Deana Chapmana z kolegami wytworzyły sztuczne tektyty z kołnierzami i pierścieniowymi falami (Chapman et al., 1962). Potwierdziło to teorię Bakera na temat ablacji tektytów i cieszyło go lepsze rozumienie pięknie ukształtowanych tektytów z kołnierzami z regionu Port Campbell.

Dobrze, że podczas dość krótkiego przebywania na emeryturze miał on okazję odwiedzić Stany Zjednoczone i często wspominał wrażenie, gdy widział z bliska podobne pierścieniowe struktury na przedniej stożkowej części Apolla 11. Jego entuzjazm był zaraźliwy i zachęcał zupełnego nowicjusza do wytrwałości podczas wielogodzinnych, żmudnych poszukiwań koniecznych nawet wtedy, by znaleźć najlepsze tektyty.

George Baker zaobserwował, że jeśli ocenimy zakrzywienie tylnej powierzchni dobrze ukształtowanego tektytu, to uzyskamy pojęcie o rozmiarach i wadze pierwotnego, sferycznego tektytu, zanim wszedł on w ziemską atmosferę. W rezultacie doszedł do wniosku, że wszystkie tektyty podczas spadania tracą większość swej masy. Jest to prawda nawet w przypadku guzików z kompletnym kołnierzem, gdzie część szkła stopionego wskutek ablacji zawija się wytwarzając kołnierz (O'Keefe, 1963). Możemy prześledzić rozumowanie Bakera na przykładzie tektytów przedstawionych na Il. 1. Patrząc na nie z profilu możemy ocenić zakrzywienie tylnej, osłoniętej powierzchni (Il. 2) i przyjmując 2,42 jako średni ciężar właściwy szkła tektytów możemy obliczyć przybliżoną średnicę, objętość i wagę pierwotnego, sferycznego tektytu przed jego wejściem w atmosferę. Te dwa tektyty wybrano, bo obliczenia są dość proste, ale nie brano pod uwagę początkowych nieregularności, łuszczenia się szkła wskutek aerotermicznych napięć na po-



Il. 1. Dwa dobrze zachowane tektyty, oba najwidoczniej pochodzące od pierwotnych, kulistych bryłek. Ten z lewej jest z obszaru Port Campbell w stanie Victoria. Ten z prawej z obszaru Lake Torrens w Australii Południowej. Tylne strony są widoczne na górnych zdjęciach, przednie na dolnych. Podziałka w centymetrach i milimetrach.

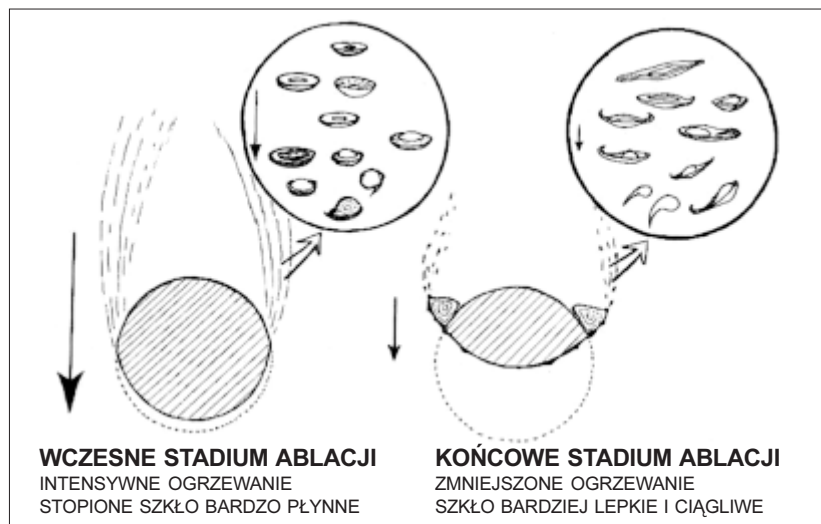
wierzchni jądra, czy późniejszych strat szkła wskutek trawienia przez płyny w ziemskiej glebie.

Teraz, chociaż te oceny są tylko zgrubne, jest oczywiste, że tektyty straciły mnóstwo szkła wskutek ablacji podczas spadania. Tak więc, gdy może miliony tektytów spadają podczas wielkiego deszczu, to ogromna ilość szklawa tektytów jest tracona w wyniku ablacji. Naszym celem jest rozważenie, co dzieje się z tym szklawem.

Spadanie z kosmosu

Proces wejścia w atmosferę jest tak rzadkim i gwałtownym zjawiskiem, że szczegółowe obserwacje podczas spadania są trudne. Wiemy, że ablacja zaczyna się w najwyższych częściach str-

dają z niewiele mniejszą prędkością, więc napięcie powierzchniowe nie jest w stanie nadać im kształtu kulistego. Ponieważ prędkość ich zmniejsza się nadal w tych warunkach trwającej ablacji, kontynuowane gwałtowne topienie czołowej powierzchni wytwarza kształty podobne do dysku. Istotnie są to najczęściej spotykane kształty miniaturowych form spotykanych w zbiorach tektytów (Il. 4). Podczas dalszych stadiów spadania, ponieważ prędkość wciąż maleje (końcowe stadium na il. 3), słabsze ogrzewanie wytwarza szkło o większej lepkości. To szkło zawija się teraz częściowo tworząc kołnierz, a częściowo oddziela się w postaci małych kropelek i sznurków lub długich łez. Zachowują się one raczej jak gorące toffi

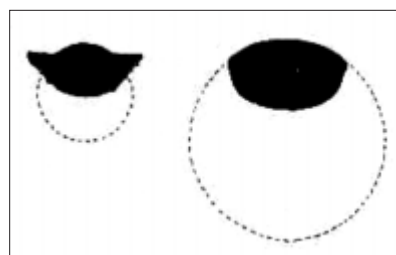


Il. 3. Szkic ilustrujący etapy ablacji tektytu i prawdopodobne produkty każdego etapu.

tosfery, gdzie powietrze jest bardzo rzadkie, a tektyt wchodzi w atmosferę z minimalną prędkością około 25000 km/godz. Najpierw przed tektytem tworzy się cienka otoczka bardzo gorącego powietrza (czyli plazmy). Nie powoduje to większych szkód a tylko powoli zmniejsza prędkość. Potem, ponieważ wzrasta gęstość atmosfery, efekty hamowania i ogrzewania szybko rosną. Temperatura czołowej powierzchni wzrasta do ponad 1500 stopni Celsjusza (jasne, białe ciepło) i wtedy topienie i zdmuchiwanie szkła z przedniej strony tektytu szybko przekształca czołową powierzchnię od pierwotnego sferycznego kształtu do bardziej hiperbolicznego (wczesne stadium na il. 3).

Kolejne fale stopionego, gorącego szkła spływają teraz do brzegów, gdzie są zmiatane w postaci kropelek. Te pierwsze krople są tak gorące i płynne, że ich kształt także ulega zmianie. Nadal spa-

rozciągając się i skręcając, gdy oddzielają się od macierzystego tektytu. Maja one prawdopodobnie resztkę pierwotnej dużej prędkości, więc zachodzi tylko niewielka zmiana kształtu lub powstaje niewielki kołnierz. Prawdopodobnie są to tylko cienkie, szczątkowe kołnierze, albo tylko zakrzywienie brzegów. Czasem resztki cienkiego ogonka szkła zawijają się ku łezce i w rzadkich przypadkach można to zobaczyć (il. 5). Takie kształty są niezwykle rzadkie i niewiele ich można zobaczyć w zbiorach tektytów. Zmiany kształtu kończą się ostatecznie, gdy hamowanie zmniejsza prędkość



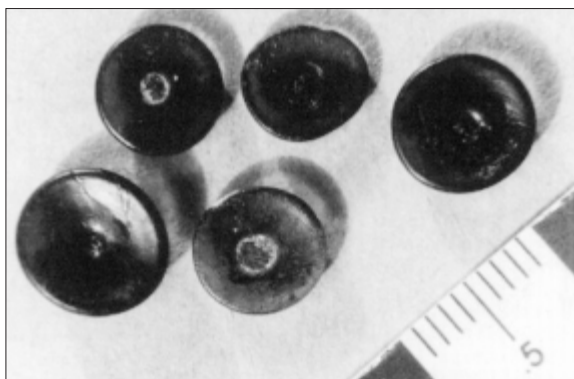
Il. 2. Sylwetki dwóch tektytów z il. 1 ukazujące oceny zakrzywienia tylnych stron, na podstawie czego oceniono średnice pierwotnych kulek.

do wartości granicznej. Ogrzewanie kończy się i tektyt kończy spadek jako zimny obiekt.

Macierzysty tektyt będzie jednak rozsiewał krople szkła w czasie ablacji, a w ciągu tego czasu prędkość zmniejszy się do wartości granicznej. W mniejszych tektytach do tego czasu ostatnie spływające szkło zawinie się w kołnierz na brzegu i końcowym rezultatem będzie guzik z kołnierzem. W większych tektytach jednak powstaje naprężenie między rozgrzanym szkłem, a zimną resztą macierzystego ciała, w wyniku czego odłupują się płytki szkła o grubości dwóch lub trzech milimetrów. To oddzielanie się występuje wraz z tak zwaną otoczką aerotermalnego napięcia, tak że końcowym produktem jest jądro. Są także pewne wskazania, że te płatkowe fragmenty, oderwane od większych tektytów podczas końcowego stadium ablacji, mogą same doświadczyć dodatkowych efektów ablacji i mogą być źródłem asymetrycznych tektytów z drobną ablacją na brzegach tak jak okaz na ilustracji 6.

Minitektyty

Te małe tektyty znajdują się tylko w kilku miejscach, gdzie są idealne warunki, tak że efekty trawienia przez ciecze w glebie są minimalne. Dokładni poszukiwacze zauważyli jednak, że w niektórych częściach obsza-



Il. 4. Minitektyty w kształcie dysku, które przypuszczalnie zostały oderwane od większych tektytów w początkowym stadium ablacji podczas spadania. Podziałka w milimetrach.

Tabela ocenianej utraty szkła w wyniku ablacji

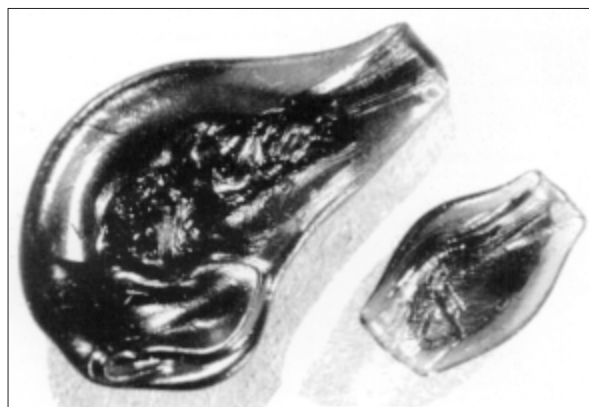
Kształt tektytu	Oszacowana pierwotna średnica	Obliczona pierwotna masa (g)	Obecna masa (g)	Procent utraty (%)
Guzik z kołnierzem	21.0	11.74	6.00	49
Okrągłe jądro	41.5	90.	11.66	87

ru rozrzutu australijskich tektytów występują one zaskakująco licznie. Ponieważ prawie na pewno są one wtórnym wytworem i pochodzą z ablacji większych pierwotnych tektytów, potrzebują odrębnej nazwy. Autorzy proponują nazwę *minitektyty* dla odróżnienia od mikrotektytów znajdujących w osadach na dnie oceanu. To wskazuje także, że nie są one pierwotnymi tektytami. Przez ostatnie czterdzieści lat jeden z nas (McColl) sporadycznie poszukiwał tektytów w wielu regionach Australii i znalazł ponad pięć tysięcy okazów. Zauważono, że minitektyty są często pomijane przez zbieraczy, ponieważ dość trudno je zauważyć w porównaniu z normalnymi tektytami. Ponadto w niektórych środowiskach tektyty wszelkich rozmiarów tracą część masy wskutek trawienia przez ciecze glebowe. Tektyty z takich regionów mają głęboko skorodowane powierzchnie z licznymi dołkami, dość podobne do tego, co obserwuje się na wełtawitach. W takich regionach minitektyty (i mikrotektyty) zostają prawdopodobnie całkowicie pożarte przez ciecze glebowe, co częściowo tłumaczy ich brak lub względnie niską liczbę w wielu miejscach.

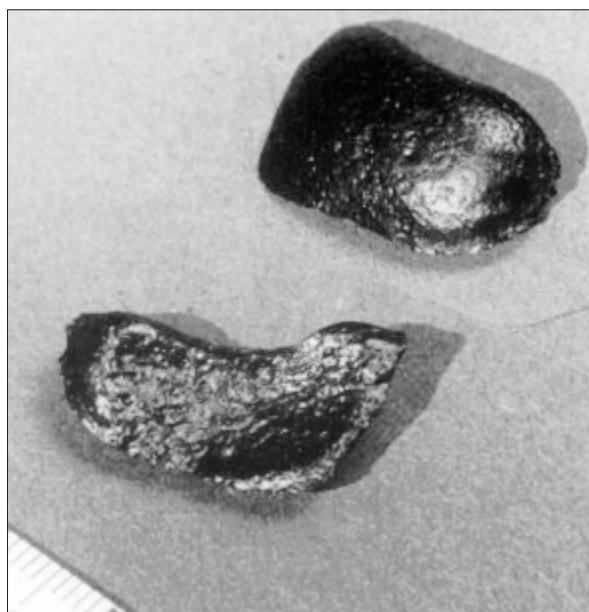
Wnioski

W tych dość rzadkich miejscach, gdzie znajduje się dobrze zachowane

tektyty, występuje często populacja małych tektytów, przypuszczalnie oderwanych od większych tektytów przez proces ablacji w trakcie spadania. Szczególne pochodzenie tych dotychczas nieznanymi, ale delikatnych i charakterystycznych produktów ablacji powinno być znane kolekcjonerom tektytów. Powinny być one nazywane minitektytami dla odróżnienia od standardowych tektytów. Można także spodziewać się, że oderwane w wyniku ablacji ceramiczne kropelki z osłon termicznych powracających statków kosmicznych mogą także być rozrzucone w różnych regionach Ziemi i kiedyś w przyszłości mogą pojawić się w kolekcjach jako gatunek minitektytów.



Il. 5. Minitektyw w kształcie kropki, w których długie ogony szkła zawięły się na bryle tektytu w końcowym stadium ablacji.



Il. 6. Widok przeciwnych stron asymetrycznego tektytu przypuszczalnie odlupanego od otoczki aerothermalnego napięcia podczas spadania, który potem uległ lekkiej ablacji na czołowej stronie, która jest u góry. Podziałka w milimetrach.

Podziękowanie

Autorzy z wdzięcznością przyznają, że temat minitektytów został zainicjowany pytaniem postawionym w liście Pascala Chretien'a zamieszczonym w trzecim numerze *Meteorite* z 2001 r.

Literatura

- Baker G. (1956). Nirranda Strewnfield Australites, South-east of Warrnambool, Western Victoria. *Memoirs of the National Museum of Victoria* (20) str. 59-172.
- Chapman D.R., Larson H.K., Anderson L.A. (1962), Aerodynamic Evidence Pertaining to the Entry of Tektites into the Earth's Atmosphere. *NASA Technical Report R-134*, Washington, USA.
- O'Keefe J.A. (1963) *Tektites*, Univ. Of Chicago Press. (contribution by G. Baker, str. 12, 13)
- Don McColl: PO Box 252, Glenside, S.A., 5065, Australia
- Guy Heinen: 30 rue du Bois, L-4795, Luxembourg

8TH INTERNATIONAL METEORITE FAIR

MAY 7TH/8TH, 2005

TOWN HALL OF
GIFHORN

Open: Sa 10 a.m. – 6 p.m.
Su 11 a.m. – 4:30 p.m.

- Sales and exchange of extraterrestrial rocks
- Information about meteorites and impact cratering
- Accompanying lectures
- Investigation of meteorite suspected material

Info: R. Bartoschewitz, Lehmweg 53, D-38518 Gifhorn
Bartoschewitz.Meteorite-Lab@t-online.de, www.Meteorite-Lab.de

Badanie meteorytów w świetle odbitym

Tom Phillips

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 11 No. 1. Copyright © 2005 Pallasite Press)

Czy chcielibyście kiedyś badać meteoryt pod mikroskopem bez konieczności robienia szlifów petrograficznych? Aby uzyskać płytkę cienką narażamy się na wydatek na oryginalny okaz, na stratę materiału i na brak kontroli nad cięciem i polerowaniem. W trakcie oczekiwania na zrobienie szlifów zapominamy, co zostało wysłane. Z pewnością obrazy uzyskane przy skrzyżowanych polaroidach są wciąż preferowanym sposobem rozpoczynania badania nowego meteorytu kamiennego. Pod względem analitycznym widzimy przy skrzyżowanych polaroidach więcej niż tylko ładne kolory. Dobry petrolog może uzyskać wiele informacji o okazie na pierwszy rzut oka, ale płytka cienka jest konieczna do przeprowadzenia fachowych badań.

„Płytki grube” są nieprzezroczyste dla światła i jedynym sposobem poznania struktury jest badanie okazu w świetle odbitym, podobnie jak robimy to z płytkami meteorytów żelaznych. Zrobienie płytki grubej jest podobne do robienia płytki cienkiej w tym sensie, że trzeba wypolerować część próbki. O ile większość z nas nie ma sprzętu i doświadczenia do zrobienia własnych płytek cienkich, to każdy z nas może ładnie wypolerować meteoryt. Sklepy z minerałami dostarczają tarcze szlifierskie i polerskie, które są stosunkowo łatwo dostępne.

Robienie zdjęć w świetle odbitym przy dużym powiększeniu wymaga idealnego wypolerowania powierzchni, prawie takiego jak polerowanie powierzchni zwierciadła dla teleskopu Newtona. Najczęściej popełnianym błędem jest zmienianie grubości proszku szlifierskiego zanim meteoryt zostanie dokładnie zeszlifowany. Poprzedni, gruboziarnisty proszek pozostawia wgłębienia w szlifowanej powierzchni, które muszą zostać usunięte, zanim przejdzie-

my do następnego, drobniejszego proszku. Każdy następny proszek musi dostać czas na usunięcie mikrouszkodzeń spowodowanych przez ostatni grubszy proszek. Oglądanie wypolerowanej powierzchni przez mikroskop w powiększeniu 400× lub większym, często ukazuje wgłębienia, które nie zostały starannie usunięte. Stosuję sześciostopniowy proces z pięcioma tarczami z coraz drobniejszym diamentowym proszkiem i na koniec diamentową papkę 1/4 mikrometra na filcowej tarczy. Ten ostatni etap daje właściwy rezultat. Wypolerowana powierzchnia ma „mokry wygląd”, co rzeczywiście poprawia jej obraz. Polerowanie diamentową papką daje powierzchnię idealną jak lustro, co pozwala mi na robienie zdjęć przez mikroskop przy powiększeniu nawet do 1800×.

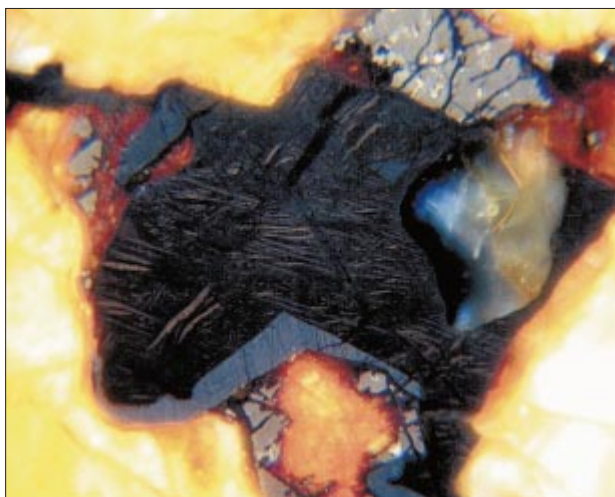
Większość mikroskopów nie jest przystosowana do fotografowania w świetle odbitym. Wypróbowałem kilka mikroskopów z filtrami polaryzacyj-

nymi przed obiektywem i z bocznym oświetleniem. Najlepsze obrazy widziałem przez mikroskop stereoskopowy z niedużymi powiększeniami, który miał obrotowy filtr polaryzacyjny nad obiektywem, a oświetlenie dawała lampa halogenowa z filtrem polaryzacyjnym. Światło spolaryzowane stosowane jako światło odbite nie daje barw interferencyjnych jak w mikroskopach petrograficznych. Polaroidy są wykorzystywane do regulowania padającego światła tak aby uniknąć odbłasków. Umieszcza się je tak samo, jak w mikroskopach petrograficznych: polaryzator między źródłem światła a próbką i analizator między obiektywem a okulem.

Na koniec proszę pamiętać, że nie jestem ekspertem od petrografii optycznej. Meteoryty i mikroskopy są po prostu moim hobby. Nie trzeba być specjalistą od mikroskopii, by mieć wiele radości z ujrzenia nowego świata obrazów meteorytów. Mówiąc to nie zamie-



Mikroskop z Jeny Neophot 21 do fotografowania w świetle odbitym. Z prawej mikroskop z Jeny Fluoval wykorzystywany do oglądania płytek cienkich.



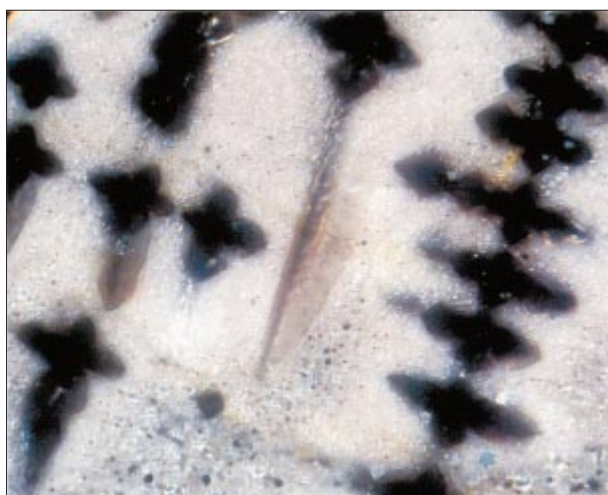
Shergottyt z Marsa, Dhofar 019 w powiększeniu 1800×. Przy tak dużym powiększeniu powierzchnia musi być idealnie wypolerowana.



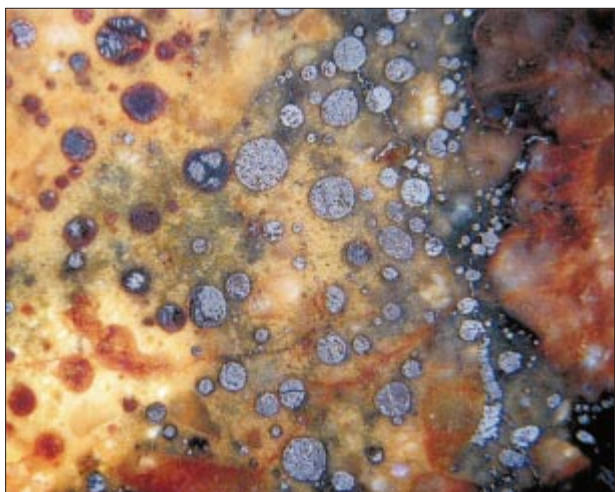
Eukrypt Dhofar 007 w powiększeniu 840×. Wygląda to na rzadko spotykany kawałek metalu.



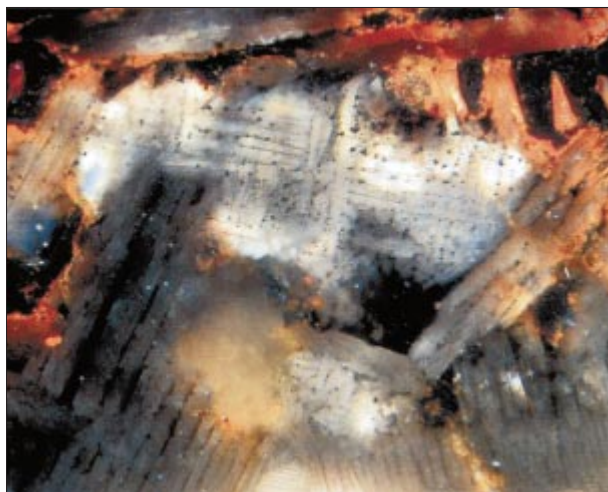
Chondryt L4 Jiddat al. Harasis (JaH) 055. Znalazłem tę niezwykłą chondrę w płytce JaH 055 gdzieś przy brzegu. Powiększenie 620×.



To zbliżenie JaH 055 jest przy powiększeniu 1800×. Alan Rubin sugeruje, że to prawdopodobnie chondra o dużej zawartości mesostasis (wcześniej ze szklawa).



Chondryt L6, JaH 073. Smugi tej niezwykłej materii biegną przez wiele płytek JaH 073, które oglądałem. Powiększenie 400×.



Chondryt H4, NWA 2371. Mam całą masę (2950 g). To zdjęcie przedstawia skorupę, której struktura krystaliczna jest najbardziej niezwykłą, jaką widziałem.

rzam pomniejszać wysiłków tych, którzy wiedzą, co robią zajmując się naukowo petrografią meteorytów. W tym hobby jest wielu wybitnych ludzi i mam nadzieję, że jeśli czytają ten artykuł, to oglądają zdjęcia z taką samą przyjemnością jak ja.

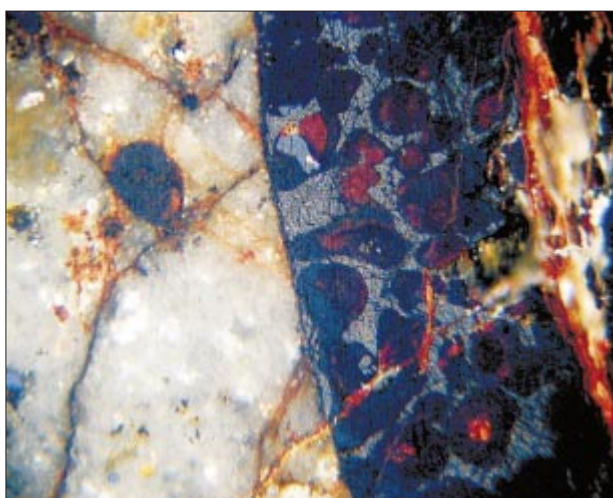
Chciałbym podziękować Joelowi Schiffowi za przyjęcie moich zdjęć. Muszę także wspomnieć Boba Haaga. To jego *Field Guide of Meteorites* sprawił, że zainteresowałem się tym hobby.



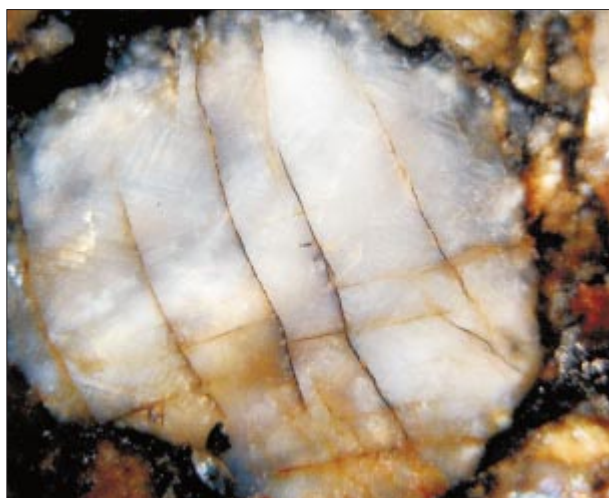
Chondryt H4, NWA 2371. To zdjęcie przedstawia wyjątkową strukturę żelaza wewnątrz meteorytu. Powiększenie 1600x.



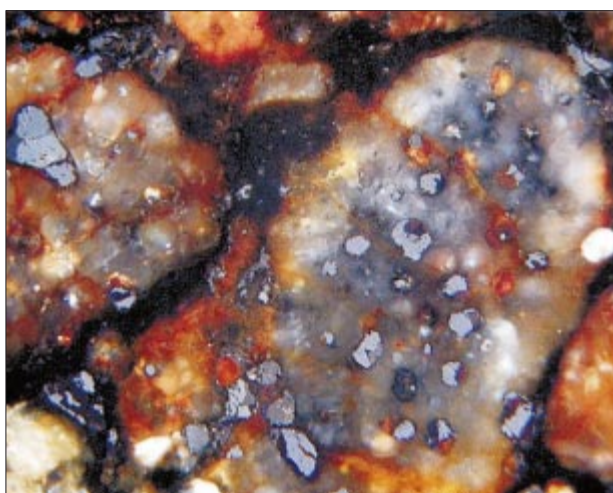
Ureilit NWA 1464. Powiększenie 840x.



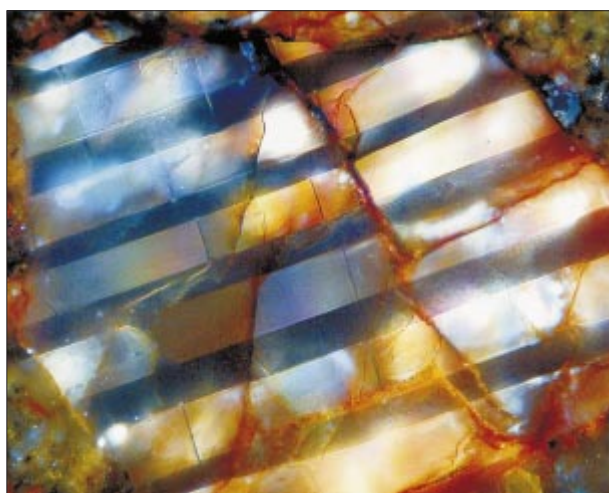
Chondryt H (Pseudotachylit) NWA 2058. Powiększenie 620x.



Chondryt L4/5 Sayh al. Uhaymir 001. Mój osobisty faworyt wśród tanich meteorytów do oglądania pod mikroskopem. Powiększenie 620x.



Chondryt węglisty typu Ornans CO3.6, NWA 1277. Znaleziony w 2001 r. Całkowita masa 1200 g. Zdjęcie w świetle odbitym przy powiększeniu 640x.



Chondryt L4/5 Sayh al. Uhaymir 001. Fragment chondry belkowej speka-nej wskutek zderzenia. Powiększenie 1600x.

Od redaktora Meteorite: Zdjęcia Toma Phillipsa są piękne pod względem artystycznym. Mogą cieszyć się uznaniem także w dobrym czasopiśmie fotograficznym. W tym momencie trudno powiedzieć, jaka wartość mogą mieć one dla meteorytyki. Ich piękno warto jednak podziwiać, a wartość este-

tyczna równoważy brak nauki. Główną cechą tych zdjęć jest wykorzystanie stosunkowo wysokich powiększeń. Patrzymy na nowy świat bardzo małych elementów meteorytów. Uwagi czytelników mile widziane.

Włk

Porowatość i gęstość meteorytów

O. Richard Norton & Lawrence A. Chitwood

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 11 No. 1. Copyright © 2005 Pallasite Press)

Większości kolekcjonerów meteorytów droga nowo nabytych okazów biegnie od stołu dealera (lub, jeśli ktoś ma szczęście, być może z obszaru spadku) do zlewu, gdzie są one czyszczone, potem suszone w temperaturze 200°F, ważone i w końcu umieszczane w małym, białym pudełku, by wkrótce o nich zapomnieć. Ta armia kolekcjonerów powtarza ten proces po każdych targach meteorytów. Pozyskiwanie nowych okazów jest pasjonujące, ale w dzisiejszych czasach wiele meteorytów pochodzi z Sahary często bez podstawowych informacji o nich. Gdy te meteoryty znikną w pudełkach i gablotkach, ich dane zostaną na zawsze niekompletne. Mówiąc o danych nie mamy na myśli typu petrograficznego, ale cechy, których na ogół nie wymienia się w etykiecie meteorytu.

W poprzednim numerze „Meteorytu” omawialiśmy trzy podstawowe właściwości meteorytów: średnią gęstość, porowatość i gęstość ziaren. Pokazaliśmy, jak wyznaczyć pierwszą z tych trzech właściwości. W tym artykule pokazujemy pasjonujący i stosunkowo niedrogi sposób wyznaczenia wszystkich trzech cech charakterystycznych.

Prawie wszystkie meteoryty i ziemskie kamienie zawierają mikroskopowe, a czasem widoczne gołym okiem, dziury, szczeliny i pory (Fot. 1). Pochodzenie tych porów jest interesującym i ważnym tematem, ale naszym zamiarem jest zaproponowanie tu metody pomiaru gęstości meteorytu i procentowej zawartości porów.

W pracy opublikowanej w 1998 roku w *Meteoritics and Planetary Science* D. T. Britt i G. J. Consolmagno opisali, jak wyznaczali gęstość i porowatość wybranych meteorytów z kolekcji watykańskiej. Wykorzystali oni pomysłowo mikroskopijne szklane kulki do pomiaru objętości meteorytów. Objętość ta obejmowała także pory wewnątrz każdego meteorytu. Użyli oni także bardzo specjalistyczny i drogi element wyposażenia zwany pyknometrem helowym. Pozwoliło im to wyznaczyć objętość stałych części meteorytu, czyli minerałów bez uwzględniania porów. Uzbrojeni w te dwa pomiaru objętości i wagę każdego meteorytu mogli wyliczyć średnią gęstość, porowatość i gęstość ziaren. Ich metody były rewolucyjne. W ciągu minionych kilku lat wnieśli oni ogromnie dużo do światowej wiedzy o gęstości i porowatości meteorytów.

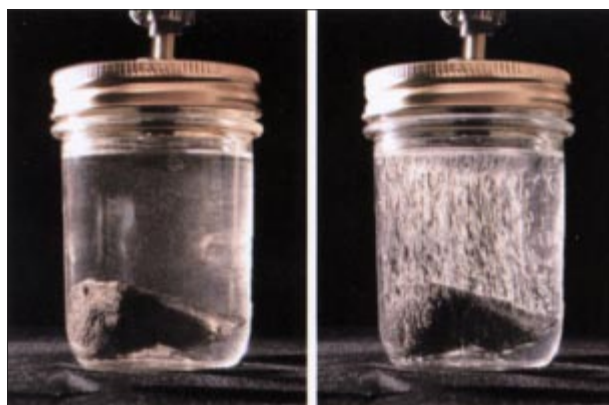
Mierząc średnią gęstość do pierwszego artykułu często obserwowaliśmy małe strużki bąbelków powietrza wydostających się z meteorytu po zanurzeniu go w alkoholu. To powietrze wydostawało się z porów. Wiedzieliśmy, że gdybyśmy mogli obniżyć ciśnienie w pojemniku z meteoritem, to moglibyśmy wydostać z tych porów większość powietrza. Po wydostaniu się powietrza moglibyśmy zastąpić go mierzalną ilością alkoholu po prostu zwiększając ponownie ciśnienie. Aparat, który w tym celu zrobiliśmy, jest pokazany na Fot. 2.

Potrzebny był słoik z płaskim, metalowym wieczkiem i uszczelką, w którym można by obniżyć ciśnienie. W wieczku wywiercono otwór, do którego dopasowano korek z neoprenu (ze sklepu z narzędziami). W korku wywiercono otwór, w którym umieszczono ćwierćcalową, mosiężną rurkę (ze sklepu modelarskiego). Grubą, ćwierćcalową (wewnętrzna średnica), giętą rurką (ze sklepu z częściami samochodowymi).

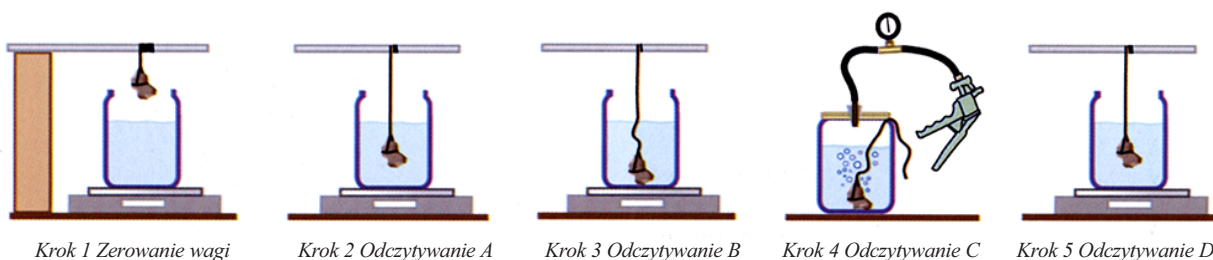
Potrzebny był słoik z płaskim, metalowym wieczkiem i uszczelką, w którym można by obniżyć ciśnienie. W wieczku wywiercono otwór, do którego dopasowano korek z neoprenu (ze sklepu z narzędziami). W korku wywiercono otwór, w którym umieszczono ćwierćcalową, mosiężną rurkę (ze sklepu modelarskiego). Grubą, ćwierćcalową (wewnętrzna średnica), giętą rurką (ze sklepu z częściami samochodowymi).



Fot. 1. Niedrogi aparat do pomiaru średniej gęstości, porowatości i gęstości ziaren meteorytów.



Fot. 2. Słoik służący za komorę próżniową do pomiaru porowatości. Powietrze usuwa się przy pomocy ręcznej pompki próżniowej. Na lewym zdjęciu, przed rozpoczęciem pompowania, pojawiają się co najwyżej nieliczne pęcherzyki gazu. Na prawym zdjęciu, gdy powietrze jest usuwane ze słoika, z meteorytu wydostają się strumienie bąbelków. Z porów meteorytu wydostaje się powietrze.



Rys. 1. Wyniki pomiarów dokonanych w tych krokach wprowadzane są do wzorów, by obliczyć średnią gęstość, porowatość i gęstość ziaren meteorytów i ziemskich skał. Meteoryt jest zanurzany w 99% alkoholu izopropylowym i w krokach 2, 3 i 5 odczytywane są wskazania wagi. Krok 4 przedstawia obniżanie ciśnienia w słoiku przy pomocy pompki próżniowej.

wymi) połączono miedzianą rurkę ze wskaźnikiem ciśnienia i ręczną pompą próżniową. W miejscach połączeń dodano zaciski, aby uszczelnić system. Ręczną pompę próżniową z przymocowanym ciśnieniomierzem można kupić w sklepach z przyrządami naukowymi jak Ward's Natural Science w Rochester, w stanie Nowy Jork, za 90 do 100 dolarów. Pompa powinna obniżyć ciśnienie do przynajmniej 500 mm słupa rtęci. Nie pokazano na zdjęciu nitki (nie należy używać grubej nici lub sznurka) i wagi elektronicznej, na której można zważyć okazy do przynajmniej 500 gramów z dokładnością do jednej setnej grama i można ją wyzerować. Wykorzystaliśmy 99% alkohol izopropylowy, który można kupić w większości drogerii czy aptek. Korzystaliśmy też z ręcznego kalkulatora do obliczenia średniej gęstości, porowatości i gęstości ziaren ze wzorów podanych niżej.

Najciekawszą częścią tej metody jest reakcja meteorytu na obniżanie ciśnienia. Po zanurzeniu meteorytu kamiennego w alkoholu wydostało się z niego kilka bąbelków. Jednak gdy pompa próżniowa wyciągnęła powietrze ze słoika, zaobserwowaliśmy gwałtowne wydostawanie się z meteorytu niezliczonych bąbelków (Fot. 3). Skutecznie usunęliśmy większość powietrza z porów. Następnie otworzyliśmy zawór pompy wpuszczając ponownie powietrze do słoika. Wszystkie bąbelki natychmiast znikły. Jednocześnie wzrost ciśnienia spowodował wypełnienie pustych miejsc w meteorycie alkoholem. Pozostało tylko ponownie zważyć zawieszony meteoryt, który wchłonął mierzalną ilość alkoholu reprezentującą objętość porów.

Gęstość obiektu jest porównaniem obiektu z wodą; konkretnie gęstość jest wagą obiektu podzieloną przez wagę tej samej objętości wody. Na przykład gęstość wapienia jest około 2,5; to znaczy centymetrowa kostka wapienia jest 2,5

razy cięższa od centymetrowej kostki wody. Gęstość zwykle podaje się w gramach na centymetr sześcienny. Często do scharakteryzowania kamieni i meteorytów wykorzystuje się dwa rodzaje gęstości. Gęstość średnia, to gęstość całego obiektu łącznie z porami. Gęstość ziaren jest gęstością samych minerałów. Porowatość jest po prostu procentem objętości meteorytu zajętego przez pory.

Pomiary

OK, gotowi do zabawy? Wykorzystajmy Fot. 4 i poniższy opis jako przewodnik.

Krok 1. Napełniamy słoik do około 2/3 objętości 99% alkoholem izopropylowym. Zawieszamy meteoryt nad słoikiem i zerujemy wagę.

Krok 2. Zawieszony na nitce meteoryt zanurzamy w alkoholu, tak aby nie dotykał ani boków ani dna słoika. Nie powinien także wystawać nad powierzchnię alkoholu. Następnie odczytujemy wskazanie wagi. **Jest to wartość A we wzorach.** (Jest to waga alkoholu wypartego przez meteoryt).

Krok 3. Obniżamy meteoryt i kładziemy go na dnie słoika. Nitka musi być luźna. Odczytujemy wagę. **Jest to wartość B we wzorach.** (Jest to waga meteorytu).

Krok 4. Z meteorytem leżącym na dnie i nitką wiszącą na słoiku zdejmujemy słoik z wagi i zamykamy szczelnie wieczko. W wieczku umieszczamy korek. Jedną ręką trzymamy korek i słoik, a drugą obsługujemy ręczną pompę próżniową. Pompujemy do osiągnięcia granicy możliwości pompy. Bąbelki wydostają się z meteorytu przez pewien czas. Od czasu do czasu uruchamiamy pompę, by utrzymać maksymalnie niskie ciśnienie. Kończymy, gdy bąbelki pokazują się rzadko i są znacznie mniejsze (dość subiektywna ocena). Notujemy najniższą wartość ciśnienia. **Jest to wartość C we wzorach.** Teraz wpuszczamy ponownie powietrze do

Altitude (ft)	Pressure (inches Hg)	Altitude (m)	Pressure (mm Hg)
0	29.9	0	1013
1000	28.8	300	978
2000	27.8	600	943
3000	26.8	900	910
4000	25.8	1200	878
5000	24.9	1500	846
6000	24.0	1800	815
7000	23.1	2100	785
8000	22.3	2400	756
9000	21.4	2700	728
10,000	20.7	3000	701
11,000	19.9	3300	675
12,000	19.2	3600	650

Tabela 1. Ocenianie lokalnego ciśnienia atmosferycznego (L) na podstawie wysokości miejsca pomiaru nad poziomem morza.

Wysokość (w stopach) Ciśnienie (w calach Hg)
Wysokość (w metrach) Ciśnienie (w mm Hg)

No.	Meteorite	Classification	A	B	C	D	Bulk Density g/cc	Porosity %	Grain Density g/cc
			Weight Suspended (g)	Weight on Bottom (g)	Vacuum (inches Hg)	Weight Suspended (g)			
1	Allende	CV3	6.74	25.81	22.0	5.54	3.01	21.13	3.82
2	Murchison	CM2	1.03	3.38	22.0	0.89	2.58	16.13	3.08
3	Ochansk	H4	3.35	14.22	21.0	2.98	3.34	13.73	3.87
4	Milbillie	EUC	7.30	26.40	21.0	6.50	2.84	13.63	3.29
5	Bensour	LL6	2.28	9.53	21.0	2.10	3.29	9.82	3.64
6	Pultusk	H5	7.13	32.21	21.0	6.83	3.55	5.23	3.75
7	Homestead	L5	2.28	9.89	22.0	2.19	3.44	4.69	3.61
8	Odessa	1A	4.87	45.68	21.0	4.75	7.37	3.06	7.81
9	Ilmıc	PAL**	7.66	53.55	21.0	7.49	5.49	2.76	5.85
10	Canyon Diablo	1A	2.63	25.02	19.5	2.58	7.48	2.55	7.67
11	Lowicz	MES	0.55	2.97	21.0	0.54	4.24	2.26	4.34
12	Portales Valley	H6*	1.82	10.64	20.5	1.82	4.60	0.00	4.60

Tabela 2. Wyniki pomiarów 12 meteorytów dla tego artykułu. Meteoryty ułożono w kolejności malejącej porowatości. W tym zestawie meteorytów Allende ma największą porowatość 21%, a Portales Valley ma najmniejszą porowatość 0%. Jaka jest waszym zdaniem przyczyna?

Nr Meteoryt Typ Waga gdy wisi Waga gdy leży na dnie Ciśnienie po wypompowaniu (cale Hg) Waga gdy wisi Średnia gęstość Porowatość Gęstość ziaren

* Żyłkami metalu ** Zwietrzały Wysokość = 3700 stóp Lokalne ciśnienie atmosferyczne = 26,1 cali Hg

12 meteorytów, które mierzyliśmy. Dodaliśmy ponadto średnie wartości dla setek meteorytów podane przez Britta i Consolmagno w 2004 r. Analizując wykres można zobaczyć podobieństwo naszych wyników do otrzymanych przez Britta i Consolmagno. Widać więc, że metodę, którą tu przedstawiamy, można stosować w domu przy niewielkich kosztach i uzyskać wartościowe i przydatne wyniki.

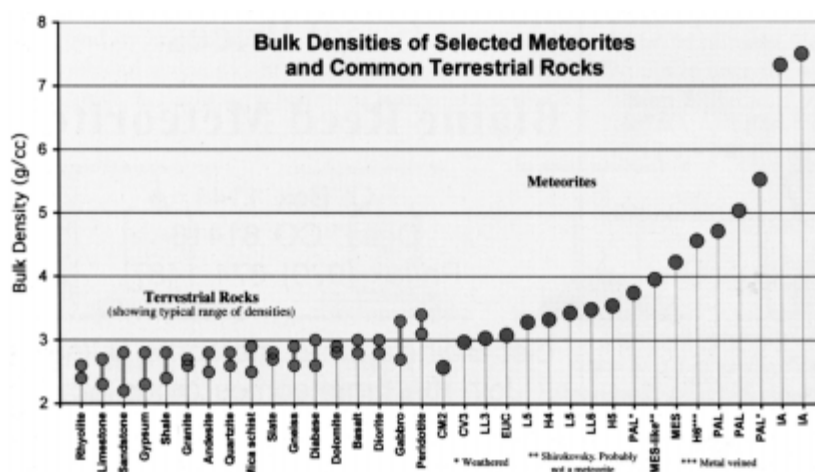
Literatura

Consolmagno G. J., Britt D. T. (1998).

The density and porosity of meteorites from the Vatican Collection. *Meteoritics and Planetary Science*. 33, 1231-1241.

Britt D. T., Consolmagno G. J. (2004). Meteorite porosities and densities: a review of trends in the data. *Proceedings of the 35th Lunar and Planetary Science Conference*. No, 2108.

Od redaktora *Meteorite*: W poprzednim numerze, w artyku-



le o mierzeniu gęstości zabrakło miejsca na umieszczenie tego wykresu, ale ma on związek także z tym artykułem. Zauważmy, jak coraz wyższy typ petrologiczny chondrytów L i H wiąże się ze wzrostem gęstości, czego można się spodziewać na podstawie cebulowego modelu planetoidy.

MM

Gazy o prastarej szlachetności

Mark A, Sephton & Alexander B, Verchovsky

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol, 10 No, 4, Copyright © 2004 Pallasite Press)

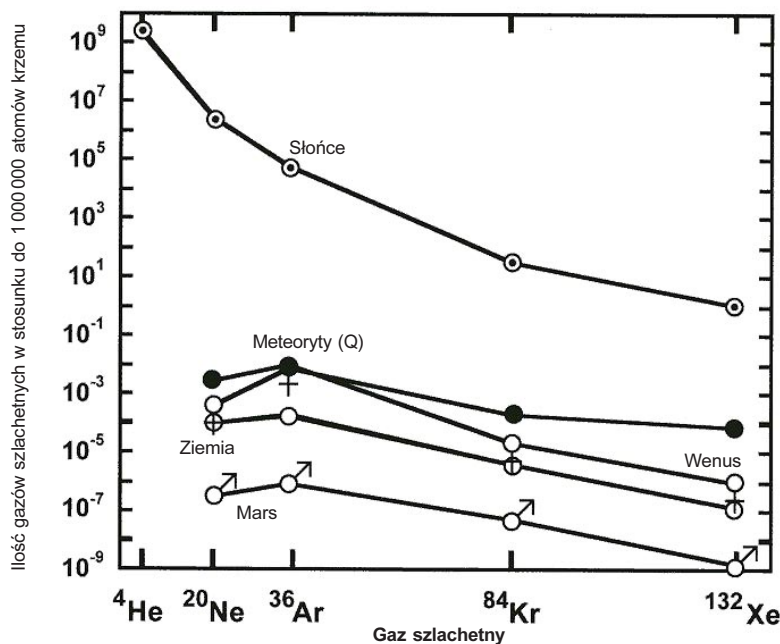
Meteority zawierają niezwykle mieszankę gazów szlachetnych, które odzwierciedlają wkład od kilku środowisk pozaziemskich. Wiadomo powszechnie, że gazy szlachetne są chemicznie niemal obojętne, ale mimo ich względnie spokojnego usposobienia te gazy są końcowymi produktami czasem gwałtownej historii i stanowią cenne próbki pozaziemskich ośrodków. Chociaż przejawiają one brak chemicznej aktywności w porównaniu z innymi pierwiastkami, tempo w jakim fizycznie ulegają topnieniu, wrzeniu, dyfuzji i adsorpcji zmienia się systematycznie z masą gazu szlachetnego. W rezultacie względna zawartość gazów szlachetnych jest różna w różnych obiektach w kosmosie i dostarcza informacji o pozaziemskich procesach. Jednak również, a może nawet bardziej ważny niż względna ilość gazów szlachetnych jest ich skład izotopowy, ponieważ odzwierciedla on duży zakres procesów występujących w kosmosie, a w tym chemiczne reakcje w sercach gwiazd i samodestrukcyjne procesy rozpadu promieniotwórczego. Zawartość gazów

szlachetnych w starych meteorytach otwiera róg obfitości ze środowiskami mającymi na to wpływ. W tej publikacji prześledzimy świadectwa składane przez stare gazy szlachetne ze skalnych pozostałości z początków istnienia Układu Słonecznego.

Wszystkie gazy szlachetne muszą mieć jakieś pochodzenie i pierwszym gazem szlachetnym wytworzonym w kosmosie był hel, który powstał już sekundy po wielkim wybuchu. Początkowo hel stanowił około 25% materii w kosmosie, a wodór prawie całą resztę. Po około miliardzie lat materia skupiła się w obłoki i powstały galaktyki, w który utworzyła się pierwsza generacja gwiazd. W tych gwiazdach oryginalny hel z wielkiego wybuchu był dodawany do helu wytwarzanego w gwiazdach w wyniku „spalania wodoru” czyli łączenia czterech atomów wodoru w atom helu. To właśnie spalanie wodoru sprawia, że gwiazdy świecą. Część tego helu wraz z młodszym rodzeństwem gazów szlachetnych weszła w skład ziaren, które zostały wyrzucone w kosmos między gwiazdy i włączone do gęstego, molekularnego ob-

łoku, a potem schwyte do wirującego dysku gazu i pyłu, z którego powstał nasz Układ Słoneczny.

Niektóre ziarna przeżyły formowanie się Słońca i uniknęły zniszczenia przez aktywność geologiczną na planetach dzięki temu, że weszły w skład stosunkowo małych planetoid. Fragmenty planetoid, które spadają na Ziemię jako meteority, dostarczają nam namacalnych próbek tego gwiazdowego pyłu. Do dziś odkryto sporo przedśłonecznych ziaren, a niektóre z nich zawierają gazy szlachetne w proporcjach wyraźnie innych niż normalnie obserwowane w Układzie Słonecznym. Te anomalne zawartości gazów szlachetnych były kluczowym dowodem ich przedśłonecznego pochodzenia i główną cechą, która pozwoliła na identyfikację ziaren w pracochłonnych procedurach ich wyizolowania w laboratoriach. Szczególnym przykładem ziaren zawierających gazy szlachetne są diamenty, które były pierwszymi rozpoznawanymi ziarnami przedśłonecznymi, a ich gazy szlachetne sugerowały uformowanie w wyniku eksplozji supernowej. Gazy szlachetne w ziarnach



Zawartość gazów szlachetnych (na milion atomów Si) w Słońcu, atmo-sferach ziemskich planet i meteorytach (składnik Q),

węgla krzemu wskazują na pochodzenie z atmosfer gwiazd węglowych, a ziarna grafitu pochodzą z gwiazd węglowych i z supernowych.

Najliczniejszą mieszaniną gazów szlachetnych w Układzie Słonecznym, jest ta, która znajduje się w Słońcu. Słoneczne gazy szlachetne nie zostały bezpośrednio włączone do tworzących się planetoid, ponieważ zanim się one uformowały, wewnętrzna część Układu Słonecznego została wymieciona do czysta z gazu przez gwałtowne wiatry słoneczne typowe dla burzliwego stadium T-Tauri rozwoju młodego Słońca. Niewielkie ilości obecne w meteorytach zostały wprowadzone na samą powierzchnię planetoid przez wiatr słoneczny. Jednak proporcje gazów szlachetnych w meteorytach różnią się zwykle od obserwowanych w wietrze słonecznym z powodu łatwiejszej utraty lżejszych gazów w porównaniu z cięższymi podczas ogrzewania macierzystych planetoid.

Meteoryty zawierają także mieszaninę gazów szlachetnych nazywaną „planetarną” z powodu zgrubnego podobieństwa do mieszaniny obserwowanej w ziemskiej atmosferze. Okazała się ona później mieszaniną wielu składników włącznie z tymi, które zidentyfikowano później jako należące do przedsłonecznych ziaren. Planetarne gazy szlachetne zawarte są w trudnym do zidentyfikowania składniku nazywanym Q od „kwintesencji”. Q jest węglistym składnikiem stanowiącym mniej niż 0,03%

całkowitej masy meteorytu. Do dziś składnik ten pozostaje tajemniczy i dopiero ewentualne wyizolowanie Q w czystej postaci, a następnie scharakteryzowanie pod względem chemicznym dostarczy odpowiedzi na pytania o pochodzenie Q i związanych z nim gazów szlachetnych.

„Kosmogeniczne” izotopy tworzą się w meteorytach w wyniku oddziaływania galaktycznych promieni kosmicznych z materią meteorytową. Te wysokoenergetyczne protony, stanowiące większą część promieni kosmicznych, rozbijają atomy tworząc nowe, lżejsze, oraz wywołują wtórne reakcje jądrowe, których wynikiem jest powstawanie nowych izotopów. Promienie kosmiczne docierają na głębokość około 1 metra pod powierzchnię obiektu i dlatego kosmogeniczne gazy szlachetne można znaleźć w meteorytach pochodzących z samej powierzchni macierzystego ciała, albo będących małymi fragmentami odłupanymi przy zderzeniu planetoid. Głównym zastosowaniem kosmogenicznych izotopów jest obliczanie wieku ekspozycji meteorytów, czyli czasu od oddzielenia małego (metrowej wielkości) fragmentu od ciała macierzystego do momentu jego spadku na powierzchnię Ziemi w postaci meteorytu,

„Radiogeniczne” gazy szlachetne powstają w wyniku promieniotwórczego rozpadu niestabilnych izotopów, Niektóre z nich (wytwarzane z długo żyjących izotopów) są wytwarzane

w meteorytach podczas całego istnienia Układu Słonecznego, podczas gdy inne (pochodzące z krótko żyjących izotopów), są wytwarzane tylko podczas najwcześniejszych etapów formowania się Układu Słonecznego. Ważnym czynnikiem jest ilość macierzystych izotopów w meteorytach, która z kolei określa, jak bardzo są rozpowszechnieni odpowiedni radiogeniczni potomkowie.

Na przykład promieniotwórczy izotop potasu (^{40}K) jest zdecydowanie najliczniejszym macierzystym izotopem w meteorytach, a produkt jego rozpadu, radiogeniczny gaz szlachetny, argon (^{40}Ar), także występuje dość obficie. Ponieważ w czasie formowania się planetoid ^{40}Ar prawie wcale nie wszedł w ich skład, prawie cały ^{40}Ar obecny w meteorytach musi być pochodzenia radiogenicznego. Ponieważ tempo rozpadu ^{40}K jest dobrze znane, stosunek $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ w danym meteorycie można wykorzystać do wyznaczenia daty uformowania się obiektu. Radiogeniczne gazy szlachetne są więc cenne dla ustalenia chronologii Układu Słonecznego. Do zjawisk, które można datować metodą K-Ar należą powstawanie minerałów i rekrytalizacja oraz różne procesy metamorficzne występujące na ciałach macierzystych meteorytów. Jednym z przykładów udanego wykorzystania tej metody jest datowanie skał księżycowych, które wykazało, że główny okres intensywnego bombardowania i powstawania kraterów nastąpił w początkach istnienia Układu Słonecznego około $3,8\text{--}4,0 \times 10^9$ lat temu. Było to tak zwane ostatnie ciężkie bombardowanie.

Oczywiście gazy szlachetne znajduwane w meteorytach są cennymi próbkami pozaziemskich środowisk. Ich ilości i skład izotopowy odzwierciedlają różnorodność procesów, takich jak reakcje chemiczne w gwiazdach, które istniały przed narodzeniem naszego Układu Słonecznego, rozpad promieniotwórczy w młodym Układzie Słonecznym i bombardowanie przez promieniowanie kosmiczne i wiatr słoneczny. Ich zdolność do pełnienia roli odcisków palców określonych źródeł otwiera naukowcom okno na młody Układ Słoneczny i kronikę narodzin i śmierci gwiazd.

Autorzy należą do Open University, Milton Keynes, Wielka Brytania.



Intrygujący kamień odnaleziony nieopodal Berthoud w stanie Colorado

Mike Jensen

Tłum. Magdalena Pilska-Piotrowska

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 11 No. 1. Copyright © 2005 Pallasite Press)

Wieczorem 10 października 2004 roku niespodziewanie zadzwonił Jack Murphy, emerytowany kustosz Denver Museum of Nature and Science, z ekscytującą wiadomością: widziano spadek meteorytu i odnaleziono go w pobliżu małego miasta Berthoud w hrabstwie Weld. Rzeczywiście traf chciał, że zaledwie 5 dni temu odnaleziono meteoryt rozmiaru dłoni praktycznie na moim podwórku, gdyż od mojego domu Berthoud dzieli tylko godzina jazdy. Moją pierwszą myślą było, jedziemy na polowanie! Ostatni raz taka sytuacja miała miejsce, kiedy również uczestniczyłem w poszukiwaniach, w 1998 roku, gdy widziano dużą jasną kulę ognia ponad hrabstwem Elbert; wówczas odnaleziono trzy kamienie (*Meteoryt*, grudzień 2004). Myślałem wtedy, że jest to może moja ostatnia szansa na upolowanie meteorytu tak blisko domu. Na szczęście się myliłem.

Okoliczności nowego spadku w Berthoud są dość niezwykle. We wtorek 5 października 2004 roku, o godzinie 1:30 po południu, Megan, John i ich syn Casper Whiteis cieszyli się ciepłym, słonecznym, jesiennym popołudniem w swoim domu, położonym dwie mile na wschód od Berthoud, nie zdając sobie sprawy jak ich życie miało się właśnie zmienić. Przenosili meble z pickupa do domu i wchodzili właśnie w tylne drzwi wychodzące na południe, kiedy wszyscy usłyszeli niesłychanie gwiżdżący dźwięk i głucho uderzenie. Megan widziała coś przemykającego i zauważyła kłęby pyłu wydobywające się z odalonej o 100 stóp zagrody koni. Myśleli, że coś spadło z samolotu i zaczęli szukać tam, gdzie Megan widziała unoszący się pył.

Megan pierwsza zauważyła mały bardzo błyszczący kamień wystający z ziemi. John natychmiast ukląkł i próbował go wydobyć, ale kamień był

uwięziony w stwardniałym gruncie. John i Casper pobiegli szukać łopaty. Na szczęście Casper znalazł młotek z ostrym końcem i kontynuował wykopywanie meteorytu do momentu, w którym można było go podważyć. Gdyby użyli łopaty, cały dołek po uderzeniu uległby zniszczeniu. Z dołka wyłonił się bardzo piękny, nieuszkodzony, 958 gramowy kamień o powierzchni w prawie 85 % pokrytej niezwykle, szklistą, czarną, zorientowaną skorupą obtopieniową. Wtórna skorupa obtopieniowa jest wyraźna; uformowała się w czasie lotu tak późno, że tylko czubki pojedynczych ziaren są zeszlone.

W spodniej części kamienia utkwiło trochę suchej trawy i gleby; dodatkowo w dołku znaleziono kilka małych odłamków meteorytu. Tam gdzie od kamienia odłamały się drobne fragmenty, wyłania się kremowo biała drobnoziarnista matrix, która jest pozbawiona zarówno chondr jak i metalu. Wykazuje on bardzo niewielkie właściwości magnetyczne, nawet jeżeli użyjemy bardzo silnego magnesu zawierające-

go pierwiastki ziem rzadkich. W całej masie kamień posiada liczne pęknięcia prawdopodobnie spowodowane upadkiem na twardą, ubitą, gliniastą glebę, jaka jest w zagrodzie koni.

W tydzień po zdarzeniu znalazłem się w kilkusobowej grupie ludzi, którzy zebrali się w posiadłości Whiteis'ów, aby posłuchać o upadku i zbadać kamień oraz dołek po upadku. Pozwolono nam zbadać, zważyć i sfotografować warty wzmianki meteoryt. Bardzo chciałem zobaczyć „krater meteorytowy” – pierwszy tego rodzaju w Colorado. John zaprowadził nas do zagrody i odsunął fragment sklejk przyciśniętej małym zbiornikiem na wodę. Dzięki temu, że użyli młotka do wydobywania meteorytu, co najmniej 60 % dołka pozostało w stanie nienaruszonym. Dołek uderzeniowy mierzył 14,7 na 13,5 na 10,8 cm głębokości. Dno dołka, twarde i zbite, stanowiła mieszanina gleby i słomy,

Jak informacja o meteorycie dotarła do wiadomości publicznej? Po pierwsze skontaktowano się z National Institute



Autor trzymający cały meteoryt.

of Standards and Technology w Boulder, ponieważ kiedyś pracowała tam matka Megan. Oni polecieli jej National Center for Atmospheric Research, także w Boulder, i ktoś tam wiedział, że Scott Palo interesuje się meteorami. Scott Palo, Departament of Aerospace Engineering Science na Uniwersytecie w Colorado otrzymał telefon o spadku w Berthoud. Wiedziony ciekawością, przyjechał do Berthoud następnego dnia, spotkał się z rodziną Whiteis i natychmiast rozpoznał, że kamień jest meteoritem i zdał sobie sprawę z jego znaczenia.

Scott skontaktował się z Dr. Jackiem Murphy jako doradcą i przy pomocy Chrisa Petersona z Cloudbait Observatory w Guffey w Colorado, ruszył plan mający na celu prowadzenie, przez biuro Scotta na Uniwersytecie w Colorado, naukowego dochodzenia oraz służenie radą rodzinie Whiteisów w klasyfikacji i przechowywaniu meteorytu. Murphy zaczął kontaktować się z właścicielami ziemskimi, gdyż teraz priorytetem stały się poszukiwania innych kawałków meteorytu na polach wokół posiadłości Whiteisów. W poniedziałek 11 października, na Uniwersytecie, zorganizowana została konferencja prasowa mająca na celu poinformowanie ludzi o odkryciu i zwrócenie się z prośbą do okolicznych właścicieli ziemskich, aby mieli oko na czarne kamienie na swoich polach. Później tego samego dnia, z pastwiska koni Whiteisów, wszystkie znaczące stacje telewizyjne w Denver prowadziły relacje na żywo. Byliśmy zdumieni, że wiadomości nie wyciekły wcześniej przez Internet, zwłaszcza, że w sobotę 9 października jedna z lokalnych gazet, *Berthoud Weekly Surveyor*, opublikowała wydanie specjalne z krzykliwymi nagłówkami „Meteoryt uderza w Berthoud”, w całości poświęcone spadkowi. Tak naprawdę to od nich się zaczęło.



Wciąż zachowany dołek po uderzeniu meteorytu



Widok ukazujący świeży ślad po odlupaniu z prawej i wtórną skorupę obtopieniową w dolnej części meteorytu.

Patrząc wstecz, widać że dość złożony łańcuch ludzi i zdarzeń prowadzi do punktu, w którym ktoś z doświadczeniem i znajomością meteorytów może zwrócić na niego uwagę świata. Ile razy ten łańcuch pękł w przypadku wielu innych znalezionych meteorytów zanim powiadomiono kogoś zaznajomionego z tematyką meteorytów?

Kamień został odnaleziony na względnie płaskim obszarze położonym na wschód od gór Front Range, o przewadze prywatnych rolniczych terenów i wiejskich posiadłości. Większość pól uprawnych zostało już skoszonych, co sprawiło, że nasze systematyczne poszukiwania stały się znacznie prostsze i nasze zadanie ograniczało się do przemierzania zagonów.

Po tym jak ta historia uderzyła w media, na obszar spadku zwabione zostały liczne osoby zainteresowane polowaniem na ewentualne pozostałe okazy. Przez następne kilka tygodni Fisk Planetarium na Uniwersytecie Colorado i Little Thompson Observatory w Berthoud organizowały poszukiwania.

Uczestniczyli w nich członkowie Towarzystwa Meteorytowego Colorado (COMETS), jednakże po mniej więcej 500 godzinach poszukiwań, jak dotąd, nie odnaleziono więcej okazów. Dobłą wiadomością jest to, że w Colorado występują łagodne zimy, więc będziemy mogli kontynuować w 2005 roku.

Meteoryt z okolic Berthoud jest piątym obserwowanym spadkiem w Colorado i siedemdziesiątym ósmym rozpoznanym meteoritem w tym stanie. Spadł on w odległości 6 mil od innego słynnego meteorytu w Colorado, diogenitu Johnstown. Zauważono kilka interesujących zbiegów okoliczności pomiędzy tymi dwoma meteorytami. Interesujące jest, że oba meteoryty spadły za dnia w godzinach popołudniowych. Widziano upadek obu i zostały wykopane z ziemi z dołka uderzeniowego. Spadły również w tym samym hrabstwie (Weld).

Jednym z bardziej interesujących aspektów tego spadku jest to, że nawet mimo całego zaangażowania mediów, nie pojawili się żadni poważni świadkowie, którzy obserwowali ognistą kulę. Chris Peterson (www.cloudbait.com) otrzymał kilka relacji, ale nic co by mogło wpłynąć na odnalezienie kolejnych okazów. Jest to niebywałe, jako że był to środek ciepłego, pogodnego dnia. Jedynym zapisem spadku są dane akustyczne uzyskane przez Ala Bedarda z National Oceanographic and Atmospheric Administration stacji akustycznej w Erie, Colorado które wskazują że meteoroidy, w porze dnia krótko poprzedzającej spadek, leciały z południowo zachodniej części nieba.

Nazwa Berthoud jest użyta tutaj w celu umiejscowienia nowego spadku, a nie jako nazwa meteorytu. Meteoryt nie został jeszcze poddany analizie, sklasyfikowany czy nazwany, tak więc te informacje będziemy relacjonować w przyszłości.

Podziękowania dla Dr Jacka Murphy'ego za pomoc przy pisaniu tego artykułu.

JM

Lit w meteorytach – świadectwo wodnej przeszłości

Mark A. Sephton & Rachael H. James

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 11 No. 1. Copyright © 2005 Pallasite Press)

W połowie XIX wieku sód i potas były dość dobrze znane chemikom. Wyizolowano je z materii roślinnej, w której były związane. Jednak w 1871 roku to badanie minerałów ze szwedzkiej wyspy spowodowało, że Johan August Arfvedson ze Sztokholmu odkrył zupełnie nowy metal. Lit, jak go nazwano, otrzymał nazwę od greckiego „lithos” czyli kamienia z powodu jego skalnego pochodzenia. Nie spotykany w postaci czystego metalu w przyrodzie lit występuje w związkach z innymi pierwiastkami w skałach i rozpuszczony w wodzie. Elektryczność jest potrzebna do wyizolowania srebrzystego metalu litu, który gdy jest czysty, pływa w wodzie, bardzo łatwo wchodzi w reakcje i zabarwia płomień na piękny, szkarłatny kolor.

Badacze planet mają długą wdzięczności wobec Arfvedsona i tych, którzy kontynuowali jego badania nad litem, ponieważ jest to metal bardzo przydatny w badaniach kosmosu. Dodanie niewielkiej ilości tego pierwiastka pozwoliło na stworzenie specjalnego szkła dla dużych teleskopów, takich jak na Mt. Palomar z 200-calowym zwierciadłem. Ponadto wielu może pamiętać walkę o życie astronautów Apolla 13, którzy użyli zbiorniki wodorotlenku litu do zmniejszenia rosnącego poziomu dwutlenku węgla w uszkodzonej kapsule, co pozwoliło im w końcu bezpiecznie wrócić na Ziemię.

Ostatnie badania ujawniły jednak nowe zastosowanie litu w badaniach planet – stwierdzenie rozpowszechnienia ciekłej wody w młodym Układzie Słonecznym. Woda jest oczywiście wstępnym warunkiem życia i wodne procesy były ważnym czynnikiem modyfikującym stałą materię na początku istnienia Układu Słonecznego. Przez wiele lat węglany i minerały ilaste w meteorytach wykorzystywano jako wskaźniki działania ciekłej wody na macierzystej planetoidzie (Fot. 1). Jed-

nak pochodzenie tej materii z ciała macierzystego zostało ostatnio zakwestionowane. Modele przewidują, że minerały ilaste mogły formować się w mgławicy słonecznej zanim powstały planetoidy, a węglany wykryto w pyłowych otoczkach dalekich gwiazd. W rezultacie diagnostyczna wartość węglanów i minerałów ilastych jako bezpośredniego dowodu wodnej aktywności na pozaziemskich ciałach została poddana w wątpliwość.

Klucza do rozwiązania problemu dostarczają izotopy litu (^7Li , ^6Li). ^7Li został wytworzony w Wielkim Wybuchu, ale znaczące ilości ^6Li wtedy nie powstały. Od czasu Wielkiego Wybuchu ^6Li jest wytwarzany głównie przez reakcje z udziałem wszędobylskiego promieniowania kosmicznego i dlatego stosunek $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ maleje z upływem czasu stanowiąc ważny wskaźnik galaktycznej ewolucji. Jednak w kontekście określenia pochodzenia węglanów i minerałów ilastych w meteorytach najbardziej użyteczny jest szczególnie wpływ kontaktu z wodą na izotopy litu. Podczas niskotemperaturowych (poniżej ok. 300°C) wzajemnych oddziaływań ciał stałych i cieczy ^6Li jest izotopem lubiącym ciała stałe, a ^7Li woli przechodzić do roztworu. Badając względną zawartość izotopów litu w różnych minerałach można ustalić pochodzenie materii nieorganicznej.

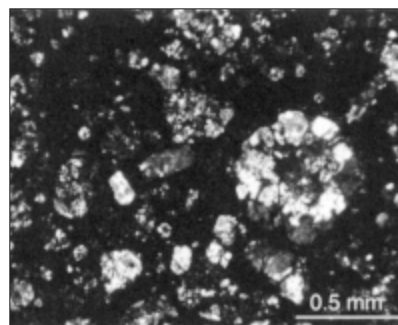
Wyobraźmy sobie na przykład, że węglany, minerały ilaste i minerały bezwodne (czyli bez wody w ich strukturze) powstały na planetoidach. Minerały, które wytrącały się z wody (węglany), spędziły najdłuższy czas w kontakcie z cieczą i dlatego będą zawierały największą ilość ^7Li . Minerały przeobrażone przez wodę (ilaste) będą miały mniejszą ilość ^7Li , a te, które nie widziały wody (bezwodne minerały) będą miały najmniejszy stosunek $^7\text{Li}/^6\text{Li}$. Natomiast jeśli różne związki nieorganiczne były wytwarzane w zupełnie różnych kosmicznych środowi-

skach, to każdy będzie miał zupełnie inny skład izotopów litu i nie będzie widać żadnych systematycznych zmian jak opisane wyżej.

Pomiary wiatru słonecznego wszczepionego w próbki z powierzchni Księżyca ukazują, że ten nieustający oddech naszego Słońca ma duże ilości ^7Li co daje stosunek $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ ponad 1500. Podobne pomiary węglanów z meteorytu Murchison dają znacznie niższe wartości około 12,17. Ponieważ te wartości są tak różne, to wydaje się, że gwiazdy nie dostarczyły do pasa planetoid znacznych ilości węglanów. Ponadto stosunki $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ dla minerałów ilastych (12,10) i bezwodnych chondr (12,00) (Fot. 1) tworzą ciąg malejący w stosunku do wartości dla węglanów wskazujący na coraz mniejszy kontakt z wodą.

Wydaje się więc, że tradycyjna interpretacja znów wraca do łask. Produkty wodnych procesów na Ziemi, takie jak minerały ilaste i węglany, powstają w podobny sposób w kosmosie. Jak dużo ciekłej wody było w Układzie Słonecznym, gdy formowały się planety, można ocenić patrząc na minerały meteorytów. Znow możemy wyobrazić sobie planety z chemicznymi arteriami cieczy bazujących na wodzie, jako głównymi modyfikatorami pierwotnej materii.

Open University, Wielka Brytania



Fot. 1. Mikroskopowy obraz chondrytu węglanego ukazujący kuliste chondry krzemianowe bogate w ^6Li otoczone przez matriks zawierającą wytworzone przez wodę bogatą w ^7Li minerały ilaste i węglany.

Meteoryty, izotopy wolframu i początki układu słonecznego

A. Markowski G. Quitte A. N. Halliday

Tłum. Magdalena Pilska-Piotrowska

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 11 No. 1. Copyright © 2005 Pallasite Press)

Planety naszego Układu Słonecznego uformowały się z mniej szczych obiektów zwanych „pierwotnymi planetozymalami” lub „planetarnymi embrionami”, które rosły zderzając się ze sobą wzajemnie. Bardzo mało wiemy o takich wczesnych planetozymalach, ale podejrzewamy, że mogą być źródłem niektórych meteorytów żelaznych. Używając geochemii izotopowej w celu wyjaśnienia, jak i kiedy one powstały, możemy w ten sposób próbować i wyjaśniać jak to działa.

Dobrze wiadomo, że chondryty stanowią główną podgrupę meteorytów kamiennych i są zbudowane z prymitywnego „niezróżnicowanego” materiału. Macierzyste ciała, z których pochodzą, uzyskały znaczne rozmiary nie doświadczając rozległego przetopienia. Ciała te formowały się poprzez akrecję pyłu i drobnego gruzu w mgławicowej chmurze obecnej w początkach Układu Słonecznego.

W przeciwieństwie do nich meteoryty żelazne są „zróżnicowanymi” meteorytami, co znaczy, że ich macierzyste ciała doświadczyły metaliczno – krzemianowej dyferencjacji. Przypuszcza się, że większość meteorytów żelaznych reprezentuje jądro zróżnicowanych planetozymali, których średnica wynosiła od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów. Można wyróżnić dwa typy meteorytów żelaznych: grupy magmowe (IIAB, IIIAB, IVA i IVB) i grupy niemagmowe (IAB, IC, IIICD, IIE). Uważa się, że wszystkie meteoryty żelazne grupy magmowej reprezentują jądra ciał macierzystych, które wydzieliły się z materiału o zasadniczo chondrytowym składzie, zostawiając krzemianowy płaszcz, podobny raczej do ziemskiego. Uważa się, bazując na wykresach zawartości pierwiastków niklu (Ni), irydu (Ir) lub złota (Au), że meteoryty pochodzące z danej grupy

magmowej (np. IIAB), pochodzą z tego samego ciała macierzystego, i każda grupa magmowa prawdopodobnie reprezentuje inne ciało.

Scenariusz formowania się meteorytów żelaznych grup niemagmowych jest bardziej skomplikowany. Ogólnie sądzi się, że powstały w wyniku, stopienia chondrytowego ciała macierzystego spowodowanego przez zderzenie. Metal macierzystych ciał meteorytów żelaznych wyodrębnił się (oddzielił od krzemianów) w ciągu pierwszych 10 milionów lat formowania się Układu Słonecznego. Jednak jest to niejasne czy wszystkie meteoryty żelazne uformowały się jednocześnie, czy można stwierdzić różnice wieku między grupami. Tak naprawdę odmienny proces formowania, którego rezultatem są grupy magmowe i niemagmowe, nie jest w pełni zrozumiany.

Ziemia, podobnie jak inne zdyferencjowane ziemskie lub skaliste planety i planetoidy, na pewnym etapie mogła być jednorodna, lecz w jakimś momencie czasu metal musiał zostać oddzielony od krzemianów. (Rys. 1.) Dobrym narzędziem do wyznaczenia daty oddzielenia metalu od krzemianów jest promieniotwórczy rozpad hafnu ^{182}Hf do wolframu ^{182}W (^{182}W) o okresie półtrwania 9 milionów lat. Mierząc izotopy wolframu 182 powstałe w wyniku rozpadu promieniotwórczego hafnu 182 można ustalić skalę czasową formowania się jądra. Zawartość izotopów ilustruje Rys. 2. Oba pierwiastki są ogniotrwałe i dlatego oczekuje się, że będą obecne w planetozymalach w chondrytowych proporcjach, lecz wolfram ma chemiczne powinowactwo do metalu (jest syderofilny) i dlatego zatapia się w jądrze podczas jego formowania, podczas gdy hafn jest silnie litofilny (krzemianolubny) i dlatego pozostaje w krzemianach płaszcza. Zasada metody datowania jest podobna do

innych metod datowania izotopowego z tym wyjątkiem, że pierwiastek wyjściowy już nie istnieje i dlatego, aby wyliczyć skalę czasową, jego ilość trzeba oszacować.

Ilość wolframu 182 wytworzona w wyniku rozpadu hafnu 182 w czasie istnienia Układu Słonecznego jest bardzo mała. Dlatego, aby wyrazić ilość ^{182}W wytworzoną przez ten czas, używamy zwykle stosunku $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$, ponieważ łatwiej jest zmierzyć stosunek pomiędzy dwoma izotopami niż ilość pojedynczego izotopu. Produkcja ^{182}W i izotopowy stosunek $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ w różnych meteorytach różni się o mniej niż kilka setnych (0.01%) w porównaniu do ziemskich wartości. Takie małe różnice są więc wyrażane w konwencjonalnym zapisie epsilon ($\sum ^{182}\text{W}$), gdzie $\sum ^{182}\text{W}$ oznacza stosunek wyrażony w częściach na tysiąc pomiędzy $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ w danej próbce w odniesieniu do pewnego standardu.

Matematyczne wyrażenie poniżej wyjaśnia jak obliczyć $\sum ^{182}\text{W}$ meteorytu:

$$\sum ^{182}\text{W} = \left[\frac{(^{182}\text{W}/^{184}\text{W})_{\text{meteorytu}}}{(^{182}\text{W}/^{184}\text{W})_{\text{standard}}} - \frac{(^{182}\text{W}/^{184}\text{W})_{\text{standard}}}{(^{182}\text{W}/^{184}\text{W})_{\text{standard}}} \right] \times 10000$$

Mierzenie takich małych anomalii w meteorytach wymaga specjalnych technik chemicznej ekstrakcji wolframu i analiz. Po wypłukaniu próbek i rozpuszczeniu części zewnętrznych kilka razy w kwasach w celu pozbycia się jakichkolwiek możliwych, powierzchniowych, ziemskich zanieczyszczeń, rozpuszczamy meteoryt żelazny w mieszaninie kwasów azotowego, chlorowodorowego i fluorowodorowego. Wolfram jest następnie oddzielany od reszty roztworu (która jest nazywana matrix) za pomocą jonowymiennej procedury. Roztwór wolframu jest ostatecznie mierzony przy użyciu MC-ICPMS (Multi Collector Inductively Plasma Mass Spektrometry), która jest

stosunkowo nową techniką spektroskopii masowej pozwalającą mierzyć izotopy pierwiastków, które zwykle sprawiają problemy ponieważ łatwo nie jonizują. Wolfram jest dobrym przykładem takiego pierwiastka i badania nad nim dynamicznie się rozwijają od pojawienia się MC-ICPMS.

Przeanalizowaliśmy około 30 meteorytów żelaznych z 5 grup magmowych (IIAB, IID, IIIAB, IVA i IVB) i 4 grup niemagmowych (IAB, IC, IIICD, IIE). Meteoryty tej samej grupy magmowej wykazują różne anomalie wolframu. Te rozbieżności mogą być interpretowane względami chronologicznymi (czasowymi). Odstęp czasu pomiędzy próbką 1 i próbką 2 można oszacować na podstawie różnicy pomiędzy wartościami $\epsilon^{182}\text{W}$ zmierzonymi dla każdej próbki (Rys. 3). Grupa IID wykazuje największy zakres anomalii wolframu-182 i odstęp czasowy pomiędzy najstarszym i najmłodszym meteoritem można oszacować na 8 milionów lat. Podobnie długi odstęp czasu (około 5 milionów lat) wyznaczono dla grupy IVB. Grupa IIAB, IIIAB i IVA wykazuje mniejsze wahania w ich anomaliach i stąd krótsze odstępy czasowe od 2 do 3 milionów lat.

Te odstępy czasowe oznaczają albo długotrwałą akrecję i różnicowanie jądra (to znaczy, że formowanie i krystalizacja jądra postępują, a nowy materiał jest dodawany bez przerwy) albo czas, który upłynął pomiędzy początkiem różnicowania jądra a zderzeniem wprowadzającym świeży materiał, które miało miejsce na planetoidzie. Warto zauważyć, że dane dla meteorytów z niemagmowej grupy IIICD i IAB są bardzo spójne i nie rozciągają się na więcej niż kilka milionów lat. Wszystkie te meteoryty uformowane zostały w tym samym czasie.

Niemagmowe meteoryty żelazne należące do grupy IAB (Toluca i Canyon Diablo) wykazują mniejsze anomalie niż magmowe meteoryty żelazne. Czas między uformowaniem Carbo (z największą dotychczas zmierzoną anomalią w ^{182}W) i formowaniem IAB można oszacować na blisko 10 milionów lat. Z mineralogicznego i chemicznego punktu widzenia wygląda na to, że meteoryty żelazne IAB uformowały się w wyniku zderzenia, które stopiło chondrytowe ciało macierzyste. Wyniki wolframu datują wydarzenie stopienia wywołanego zderzeniem lub wskazują proces dyfuzji wolframu

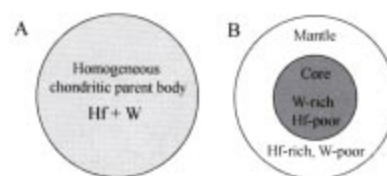
i osiąganie równowagi pomiędzy krzemianami i metalem, ponieważ te meteoryty zawierają krzemianowe inkluzje.

Meteoryty z innej niemagmowej grupy (grupa IIE), Watson i Miles, wykazują wartości, które bardzo różnią się od pozostałych magmowych i niemagmowych grup. Stwierdzony odstęp czasowy pomiędzy meteoritem o największej anomalii (Carbo) i meteoritem o najmniejszej anomalii (Watson) wynosi 18 milionów lat. Grupa IIE znana jest z powodu ze swojego skomplikowania, stąd nasze dane można bardziej prawdopodobnie interpretować jako ślady (odciski palców) drugiego (późniejszego) zdarzenia, ponieważ meteoryty te zawierają krzemiany i metal, które mogły wymieniać wolfram i osiągać równowagę jak IAB.

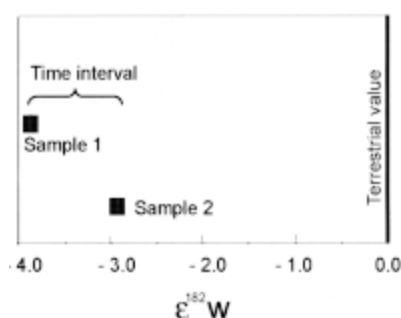
Ważny wpływ na izotopy wolframu miał czas, gdy meteoryt był wystawiony na działanie promieniowania kosmicznego (czas przebywania w kosmosie). Skład izotopów wolframu może być zaburzony przez wystawienie na działanie promieniowania kosmicznego, czyli przez wpływ kosmogeniczny. Mimo że już dawno stwierdzono, że skutki kosmogeniczne są nieznaczące, przy takim poziomie precyzji, muszą być wzięte pod uwagę, ponieważ mogą wpływać na próbki i tworzyć artefakty, które prowadzą do niższych anomalii a tym samym do pozornie starszego wieku.

Podsumowując, bardzo precyzyjne pomiary izotopów wolframu są niezbędne do ustalenia chronologii meteorytów żelaznych. Jak dotąd są wskazówki na to, że meteoryty żelazne z grup magmowych uformowały się w długotrwałym procesie trwającym ponad kilka milionów lat, a przynajmniej na to, że historia wyodrębniania jądra jest bardziej skomplikowana niż wcześniej sądzono. Meteoryty żelazne grup IAB i IIE zdają się być młodsze niż inne meteoryty żelazne (obu grup magmowej i niemagmowej) a w grupie meteorytów żelaznych IIE z powodu późniejszego wyrównania pomiędzy metalem i krzemianami, system izotopowy Hf – W został prawdopodobnie zakłócony

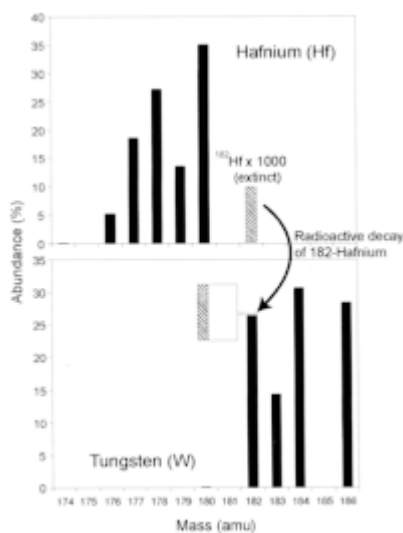
Po kilku latach rozwoju i pasjonowania się nowymi danymi izotopowymi wolframu jesteśmy obecnie w punkcie, w którym możemy zidentyfikować, które meteoryty żelazne mogą reprezentować te najwcześniejsze embriony,



Rys. 1: Schematyczne zróżnicowane ciało macierzyste meteorytu. A: Ciało macierzyste było jednorodne w początkach Układu Słonecznego, przynajmniej pod względem Hf i W. B: Ciało macierzyste uległo dyferencjacji na jądro (metaliczne) i płaszcz (krzemianowy). Jądro ma dużą zawartość wolframu, podczas gdy płaszcz jest bogaty w hafn. Metal oddzielił się od krzemianów w ciągu pierwszych 10 milionów lat istnienia Układu Słonecznego.



Rys. 2: Zawartość izotopów Hf i W. Ilość hafnu-182 na początku Układu Słonecznego jest pomnożona przez współczynnik 1000. Hafn-182 obecnie w początkach Układu Słonecznego rozpadł się do wolframu-182 z okresem połowicznego rozpadu 9 milionów lat. Strzałka oznacza rozpad promieniotwórczy. Obecnie, nie można już więcej odnaleźć hafnu-182, ponieważ wszystkie atomy rozpadły się do ^{182}W . To jest powód, dla którego system Hf – W jest nazywany „wygłaskiem radioaktywnością” i dlaczego daje wiek względny a nie absolutny.



Rys. 3: Odstęp czasu (w milionach lat) pomiędzy próbką 1 i próbką 2 można oszacować na podstawie różnicy pomiędzy wartością 1 mierzoną dla każdej próbki.

które następnie wyrosły na planety, co pozwala nam lepiej zrozumieć narodziny naszego Układu Słonecznego.



Krater uderzeniowy są twardsze od znajdujących się w nich diamentów

Dominique Padirac

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 11 No. 1. Copyright © 2005 Pallasite Press)

Diamentowi grozi utrata tytułu najtwardszego naturalnego minerału we wszechświecie. Badacze odkryli nowy minerał węgla w kraterze Popigai na Syberii i jest on jeszcze twardszy. Jak stwierdził Ahmed El Goresy z Instytutu Maxa Plancka, który dokonał odkrycia wspólnie z Leonidem Dubrovinskim z Uniwersytetu Bayreuth i Philippem Gillet, dyrektorem Kolegium Nauczycielskiego w Lyonie: „Ta nowa postać minerału węgla nie została nigdy zsyntetyzowana w laboratorium, ani nie przewidziano jej teoretycznie.”

Każdy wie, że diament jest najcenniejszym kamieniem. W szkołach uczy się, że jest to najtwardsza substancja w przyrodzie. Jednak diament ma dokładnie taki sam skład chemiczny jak grafit w ołówku: jest to czysty węgiel. Różnica między kruchym grafitem, a twardym diamentem wynika z wzajemnego rozmieszczenia atomów węgla. W kryształach diamentu atomy tworzą strukturę czworościanu: każdy atom węgla jest połączony z trzema innymi atomami bardzo mocnym wiązaniem zwanym kowalentnym. Wraz z wytrzymałością tego wiązania między atomami ta bardzo zwarta struktura geometryczna tłumaczy twardość kryształu diamentu, który może zarysować każde inne naturalne ciało, nawet najtwardszą stal. Nic dziwnego, że narzędzia tnące, takie jak tarcze używane do przecinania naszych cennych meteorytów, są wykonane z diamentów. Dla fizyków badania w celu znalezienia materiałów twardszych od diamentu poprzez eksperymenty w niezwykle wysokich ciśnieniach i symulacje numeryczne są prawdziwym wyzwaniem. Jak dotąd w żadnym z tych eksperymentów nie udało się wytworzyć z czystego węgla innych postaci krystalicznych niż diament i lonsdaleit.

Diamenty znaleziono w licznych kraterach uderzeniowych. Uważa się

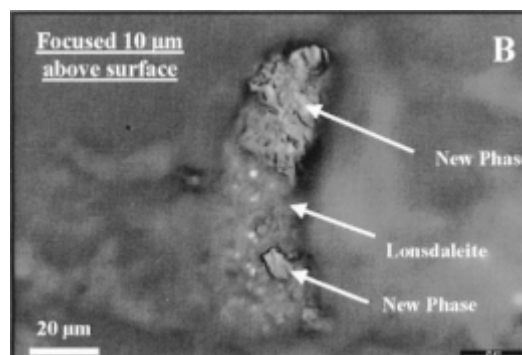
obecnie, że może je wytworzyć każde katastroficzne zderzenie. Przy takim zderzeniu występuje tak duże ciśnienie i temperatura, że zawarte w skale atomy grafitu są ściskane i przemieszczane bliżej siebie. Struktury atomowe muszą więc stać się bardziej zwarte, takie jak w diamentach.

Naukowcy zaczęli podejrzewać istnienie nowej postaci krystalicznej węgla, gdy próbowali określić pochodzenie diamentów zawartych w skałach znanego krateru Ries o średnicy 25 km znajdującego się w Niemczech na południe od Stuttgartu. Philippe Gillet stwierdza: „Gdy badamy diamenty zawarte w skale uderzeniowej, zwykle wydobywamy je niszcząc resztę skały. Tym razem zrobiliśmy cienkie paski, by bezpośrednio obserwować powiązania zawartego w skale grafitu i diamentu, który z niego powstał. Natrafiliśmy na anomalie: dziwne ziarna, które nie były ani diamentem, ani grafitem.”

Sprawa mogłaby się na tym zakończyć. Jednak Ahmed El Goresy, Leonid Dubrovinsky i Philippe Gillet odkryli tę samą anomalie, gdy badali gnejsy z krateru Popigai, meteoritowego krateru o średnicy około 100 km, znajdującego się na Syberii poza kołem podbiegunowym. Ze względu na rozmiary ten gigantyczny krater jest zaliczany do tej samej kategorii co słynny krater Chicxulub w południowym Meksyku utworzony przez uderzenie meteorytu, które mogło spowodować zagładę dinozaurów 65 milionów lat temu. Jeszcze nie tak dawno uważano, że krater Popigai jest pochodzenia wulkanicznego. Odkrycie znacznych ilości diamentów skłoniło naukowców do zmiany poglądu. Krater Popigai powstał prawdopodobnie wskutek kosmicznej kolizji 37 milionów lat temu.

Na cienkich paskach przygotowanych ze skały przywiezionej z Popigai naukowcy znaleźli nie tylko diamenty i różne postacie węgla, ale także ziarna, których nie dało się wypolerować pastą diamentową. Oglądane przez mikroskop te ziarna tworzyły 10-mikrometrowy relief w stosunku do otaczających je ziaren diamentu. Były więc jeszcze twardsze.

Ten nowy minerał nie ma jeszcze nazwy. Do badania jego fizycznych właściwości wykorzystano różne metody takie jak spektroskopia Ramana, dyfrakcja i fluorescencja w promieniach rentgenowskich. Pierwsze wyniki wskazują, że jest to postać krystaliczna o siatce sześcienniej, składająca się z czystego węgla, jak diament. Dokładna struktura jest wciąż jednak nieznana. Według naukowców: „Ta nieznana struktura posiada cechy, które nie odpowiadają żadnej opisanej krystalicznej postaci węgla, ani żadnej innej fazie mineralnej występującej w tej skale.” Chociaż przewyższa diament twardością, ten nowy minerał wydaje się do niego podobny w tym, że powstał pod działaniem fali uderzeniowej towarzyszącej gwałtownemu uderzeniu meteorytu, która poddała grafit znacznemu ciśnieniu i temperaturze przekształcając go. Dlatego jest całkiem możliwe, że ten nowy minerał może znajdować się w większości dużych kraterów uderzeniowych. To jednak trzeba dopiero udowodnić.



Rzadki kontakt chłodnego chondrytu z gorącym stopionym achondrytem

Jacek Siemiątkowski

Do badań mikroskopowych w świetle przechodzącym i odbitym uzyskałem z kolekcji A.S. Pilskiego płytkę meteorytu Zag (chondryt zwyczajny H3-6, brekcja regolitowa, W0/1, S3) o rozmiarach 30 na 23 mm.

Płytkę składa się z dwu rodzajów meteorytu, z chondrytu i achondrytu, i otoczona jest skorupką obtopieniową, za wyjątkiem jednej strony, która jest sztucznym przełamem. Zeskanowany obraz tej płytki przedstawia fig. 1.

Chondryt zawiera bardzo liczne chondry o różnym składzie i rozmiarach (fig. 2) jak to bywa i u innych chondrytów np. Baszkówka. Różnicą jest brak między chondrami wolnych przestrzeni, budowa skupień kamacytowo-troilitowych o granicach bardzo postrzępionych i obecność bardzo drobnych skupień kamacytu i troilitu. Obecne są również chromity i pojedynczy kryształ spinelu. Chondryt poprzecinany jest smugami kataklazy tnącymi całą płytkę lub wkliniowywującymi się w jej obręb. W smugach tych znajdują się pokruszone chondry lub ich fragmenty oraz drobne żyłki kamacytu i troilitu. Pod tym względem jest on podobny do meteorytu Pułtusk. Smugi te są bardzo dobrze widoczne w górnej części figury 1, poniżej skorupki obtopieniowej. Po prawej stronie szlif strefa ta została wykruszona w trakcie jego sporządzania (biały klin u góry z prawej na fig. 1).

Achondryt stanowi drobnoziarnista masa złożona z drobnych kryształów oliwinu, piroksenu i ksenomorficznego skalenia, w której tkwią większe fragmenty oliwinów, fragmenty chondr piroksenowych oraz bardzo charakterystyczne kuliste skupienia kamacytowe, troilitowe i kamacytowo-troilitowe o postrzępionych granicach. Największe osiąga w badanej płytce 3 mm, najmniejsze są rzędu 0,1 mm (fig. 3 i 4). Największa nodula zbudowana jest z troilitu i kamacytu. Miejscami na granicy kamacyt-troilit pojawia się warstewka spękanego schreibersytu. Na granicy noduli, w miejscach gdzie jest kamacyt, otoczo-

na jest ona warstewką troilitową postrzępioną od strony krzemianów.

Granica między chondrytem i achondrytem jest zróżnicowana: łagodna, ostro oddzielona lub naśladuje granice przyległych chondr (fig. 3 i 4). Natomiast zawsze na granicy tło skały jest najbardziej drobnoziarniste i wzbogacone w kamacyt, troilit i ich skupienia (fig. 6-8).

Meteoryt zarówno w części chondrytowej jak i achondrytowej pocięty jest siecią bardzo drobnych żyłek (fig. 3 i 4). Żyłki te zbudowane są ze stopu krzemianowego z kulistymi skupieniami kamacytu (fig. 9). Warto porównać fig. 1, 5 i 6 z fig. 9. Skupienia kamacytowo-troilitowe z achondrytu i żyłki impaktowe wykazują, że w trakcie topienia meteorytu następuje oddzielenie stopu krzemianowego od siarczko-żelaznego.

Historia ukształtowania tego meteorytu jest wyjątkowo bogata. Najstarszą częścią jest chondryt, posiadający też

swoją historię, w który wciska się stop krzemianowy z oddzielonymi skupieniami kamacytu i troilitu. Stop ten szybko stygnie na kontakcie z chłodnym chondrytem, dając odmianę drobnoziarnistą. W centrum stopu trwa jeszcze krystalizacja i porządkowanie faz mineralnych aż do pełnego ostygnięcia. Następnie, tak uformowany meteoryt zostaje pokruszony (kataklazowany), a miejscami stopiony na skutek uderzenia i szybko schłodzony bez możliwości krystalizacji krzemianów. Ostatnim epizodem jest przejście przez ziemską atmosferę i utworzenie skorupki krzemianowej z relikami spineli i dendrytowymi, rozgałęzionymi kryształami magnetytu.

Wyjątkowość tego meteorytu prosi się o dalsze badania, szczególnie chemiczne w mikroobszarze, wyjaśniające stosunek chondrytu do stopionej masy achondrytu oraz ich pozycję klasyfikacyjną.

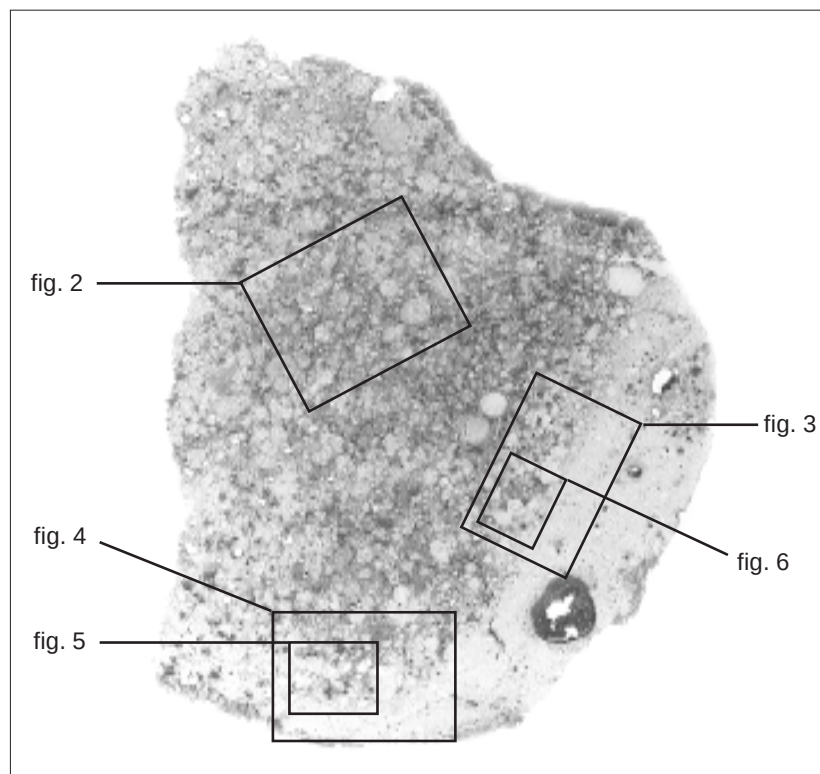


Fig. 1. Zeskanowany obraz płytki cienkiej meteorytu Zag. Fragment meteorytu otoczony jest skorupką obtopieniową z trzech stron. Zbudowany jest z dwóch części: chondrytowej z lewej strony i achondrytowej z nodulemi kamacytowymi i troilitowymi z prawej. Wymiary płytki 30 × 23 mm. Ramkami oznaczono fragmenty ukazane na dalszych zdjęciach.

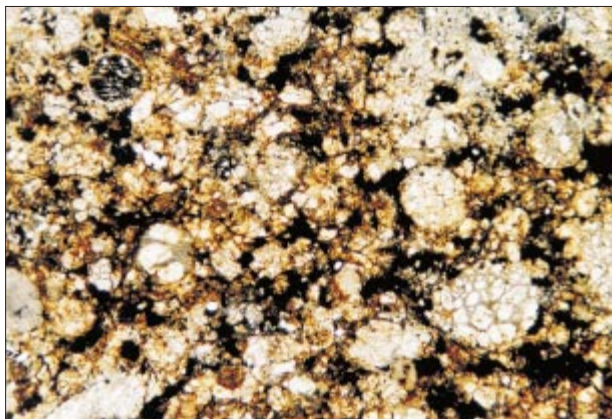


Fig. 2. Chondrytowa część meteorytu. Wyraźne chondry o różnym składzie i strukturze spojone fragmentami chondr i skupieniami kamacytu i troilitu, rzadziej chromitu. Światło przechodzące, pole fotografii $7,2 \times 5,1$ mm.

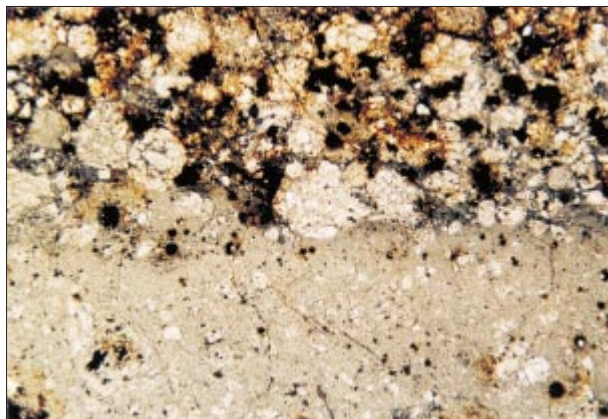


Fig. 3. Kontakt części chondrytowej z achondrytową, w której tkwią jasne relikty oliwiny i ciemne skupienia kamacytu i troilitu. Wyraźne czarne spekania w obu częściach meteorytu. Światło przechodzące, pole fotografii $7,5 \times 5,1$ mm.

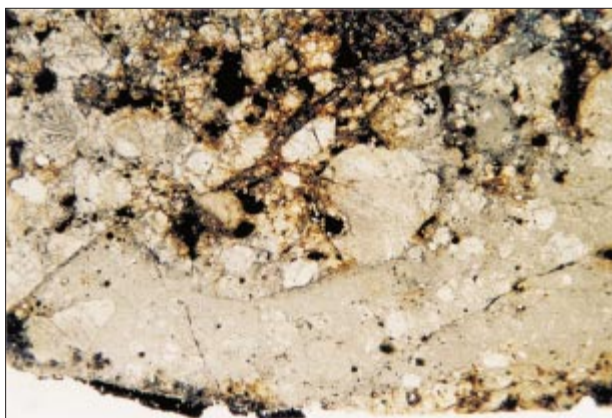


Fig. 4. Kontakt części chondrytowej z achondrytową z fragmentem skorupki obtopieniowej. Światło przechodzące, pole fotografii $7,5 \times 5,1$ mm.

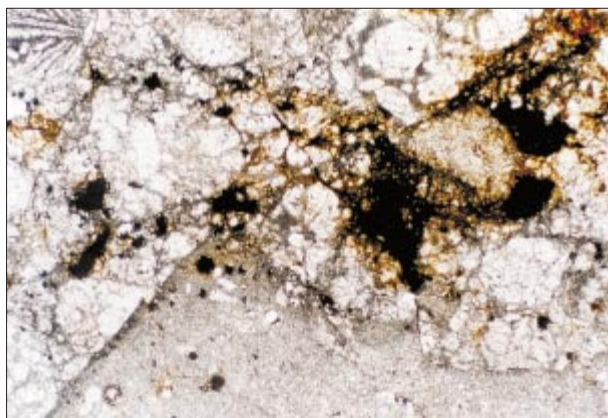


Fig. 5. Powiększony fragment z fig. 4. Wyraźny ostry kontakt z ciemniejszą obwódką spowodowaną drobniejszymi kryształami i zwiększoną ilością kamacytu i troilitu. Światło przechodzące, pole fotografii $2,6 \times 1,9$ mm.

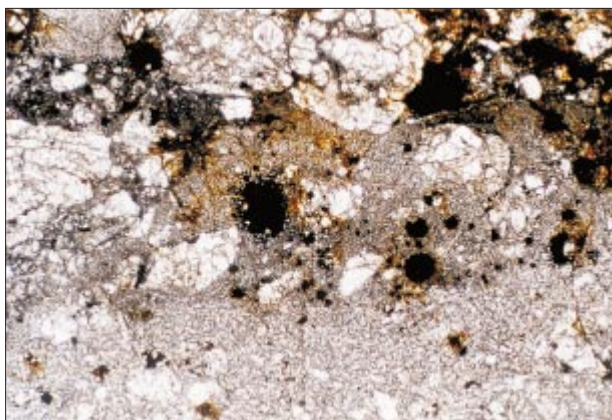


Fig. 6. Powiększony fragment z fig. 3. W centrum fotografii drobnokrystaliczny z nodulemi troilitu i kamacytu (czarne). Światło przechodzące, pole fotografii $2,6 \times 1,9$ mm.

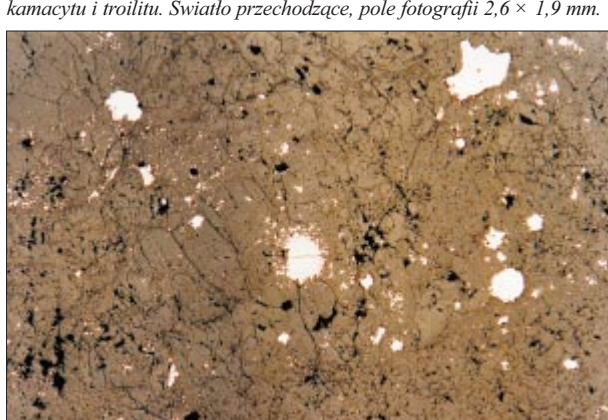


Fig. 7. Fragment z fig. 6 w świetle odbitym. Nodule kamacytu i troilitu są teraz jasne. Obraz obrócony lekko w prawo w stosunku do fig. 6.

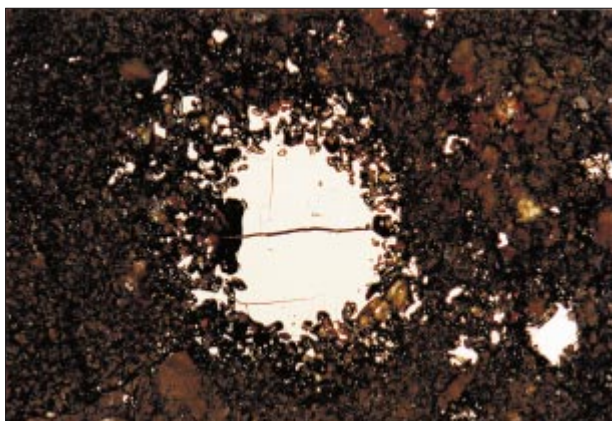


Fig. 8. Powiększony fragment fig. 7. Nodula troilitowa z ksenomorficznymi granicami. Światło odbite, pole fotografii $0,5 \times 0,37$ mm.

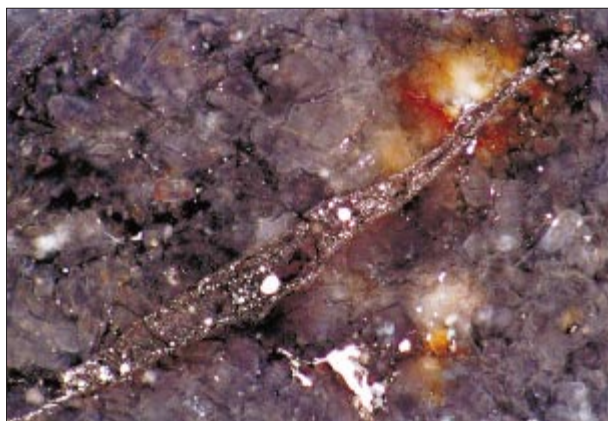


Fig. 9. Smuga topienia impaktowego, efektowne kulki kamacytu w stopie krzemianowym. Światło odbite, pole fotografii $0,20 \times 0,15$ mm.