

METEORYT

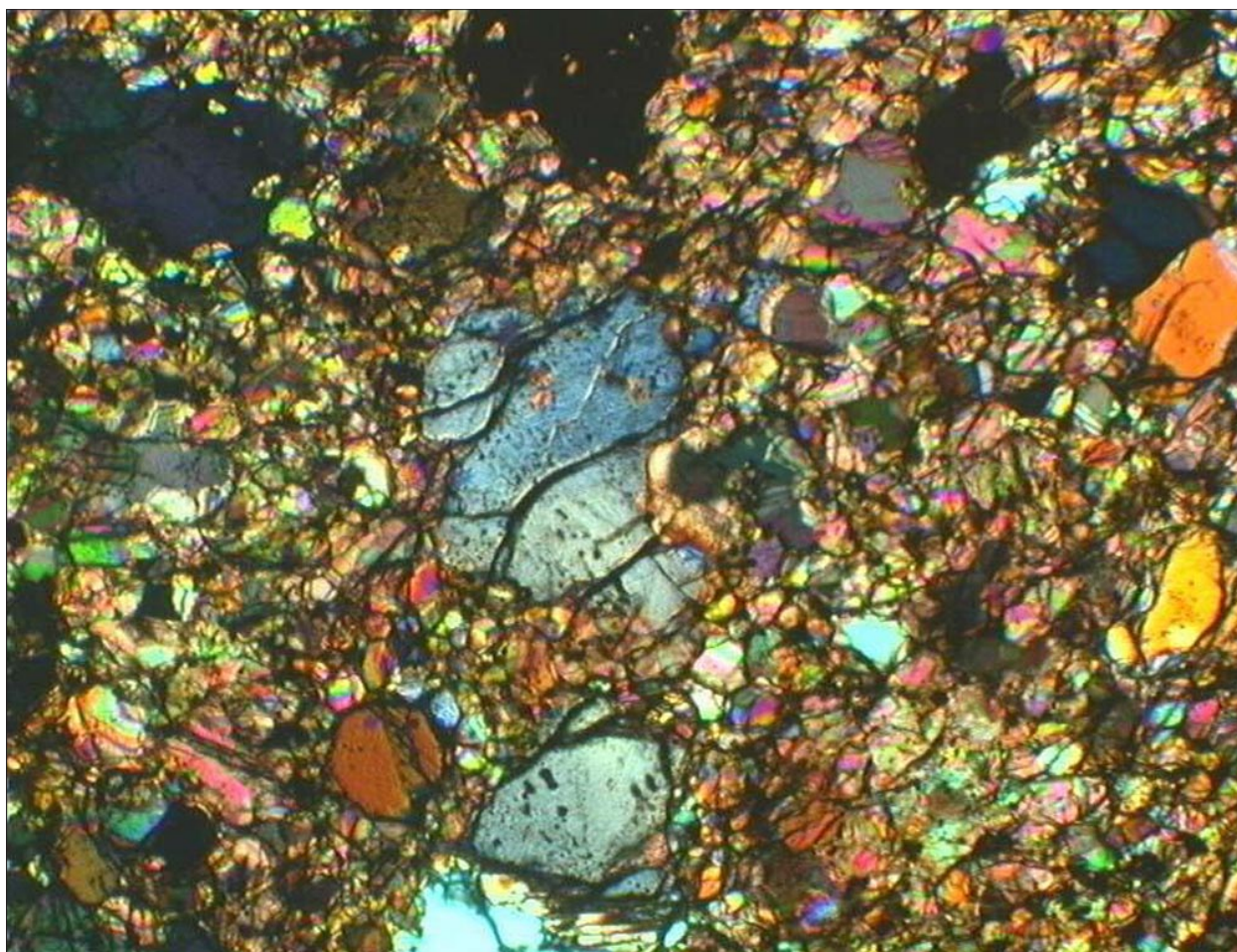
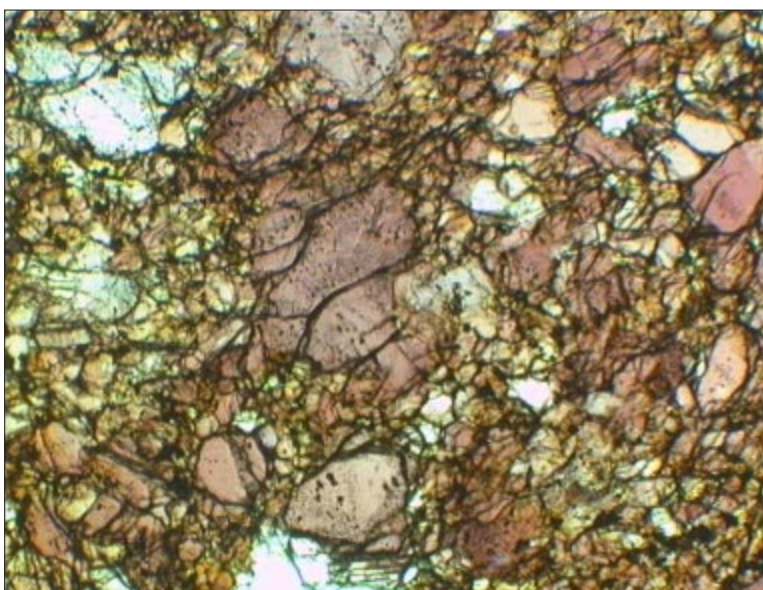
Nr 2 (58)

Czerwiec 2006

ISSN 1642-588X

W numerze:

- Angra dos Reis →
- przechowywanie meteorytów w próżni
- monachijskie targi 2005
- gdzie są kometarne meteoryty?
- lodowe meteoryty
- klasyfikacja chondrytów zwyczajnych



METEORYT

kwartalnik dla miłośników
meteorytów

Wydawca:

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

konto:

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

Kwartalnik jest dostępny głównie w prenumeracie. Roczna prenumerata wynosi w 2006 roku 40 zł. Zainteresowanych prosimy o wpłacenie tej kwoty na konto wydawcy nie zapominając o podaniu czytelnego imienia, nazwiska i adresu do wysyłki. Wydawca dysponuje także numerami archiwalnymi.

Większość publikowanych artykułów jest tłumaczona z kwartalnika METEORITE za zgodą jego wydawcy, który zachowuje prawa do tych artykułów.

Redaguje i tłumaczy większość tekstów:

Andrzej S. Pilski
skr. poczt. 6
14-530 Frombork
tel. 0-604-178-072
aspmet@wp.pl

Skład: Jacek Drażkowski

Druk: Jan, Lidzbark Warmiński

Od redaktora:

Okazało się, że w poprzednim numerze byłem zbyt pesymistą. Redaktorzy Meteorite dość szybko poradzili sobie z opóźnieniami i kolejny numer pojawił się w zasadzie w terminie. W rezultacie opóźnienie Meteorytu znacznie się zmniejszyło i wynika głównie z tego, że w czerwcu obaj redaktorzy mają mnóstwo obowiązków zawodowych i trudno wygospodarować czas na prace redakcyjne.

Dr Larry Lebofsky ma bardzo życzliwy stosunek do wydawania Meteorytu i dzięki temu mamy na przykład na okładce lepsze ilustracje niż w oryginale. Oczywiście staramy się rewanżować i artykuł o meteorycie Muonionalusta zamówiony do grudniowego numeru Meteorytu pojawił się teraz w angielskiej wersji w majowym numerze Meteorite. Mam też obietnicę, że będę otrzymywać teksty zaaprobowane do druku w kolejnych numerach jeszcze przed ich opublikowaniem, co pozwoli na spokojniejsze ich tłumaczenie. Dr Lebofsky przyznał się, że jego babka mówiła po polsku. On sam nic z naszego języka nie pamięta, ale jakiś cień sympatii chyba pozostał.

Ostatnio w Meteorite pojawiają się artykuły na temat przechowywania i konserwacji meteorytów. Niestety w artykule o galwanicznej metodzie ochrony przed rdzewieniem było tyle błędów merytorycznych, że nasz konsultant chemiczny, prof. Wiesław Wojnowski, zdecydowanie odradził jego opublikowanie. Tym razem artykuł o metodzie próżniowej przeszedł, bo jest w nim mniej chemii, choć powtarza za poprzednim artykułem to samo błędne twierdzenie, że metodą galwaniczną można zredukować rdzę z powrotem do metalu. Profesor Wojnowski zwraca także uwagę, że autor przesadza z krytyką stosowania powłok ochronnych, i że oleje dobrze penetrujące z dodatkiem inhibitorów korozji (np. WD-40) są stosowane powszechnie z dobrym skutkiem do ochrony stali przed korozją. Oczywiście metoda próżniowa jest lepsza, bo nie wprowadza zanieczyszczeń do meteorytu, ale przedstawianie jej jako jedynej godnej polecenia jest lekką przesadą.

Tegoroczne lato obfituje w meteorytowe spotkania. Wystawa meteorytów ze zbioru Kazimierza Mazurka w Olsztyńskim Planetarium stała się impulsem do zorganizowania wakacyjnej akcji szukania meteorytów oraz zorganizowania na sali wystawowej 22 i 23 lipca meteorytowego kiermaszu. Marcin Cimała zaprasza natomiast do siebie na Piknik 2 września. Meteoryty mają być także wystawiane w Lwówku Śląskim podczas Lwóweckiego Lata Agatowego 14–16 lipca. Oby nam tylko wystarczyło czasu i pieniędzy.

Andrzej S. Pilski

Zapraszamy na stronę
Polskiego Serwisu Meteorytowego
<http://jba1.republika.pl>



ZAPROSZENIE NA PIKNIK METEORYTOWY

PolandMET serdecznie zaprasza wszystkich meteorytowych maniaków na VIII Piknik Meteorytowy w Dzięgielowie, który odbędzie się 2 września, w sobotę, w miejscowości Dzięgielów koło Cieszyna. Wszelkich informacji udziela Marcin Cimała, pod numerem telefonu (033)8586409.

Tak jak w zeszłym roku, będzie miło jeśli uczestnicy zabiorą z sobą drobne fanty w postaci np. domowego ciasta, regionalnych nalewek czy innych przysmaków. Ponadto organizator zobowiązuje uczestników do przywożenia własnych, ciekawych okazów meteorytów. Pozwoli to na powiększenie ilości meteorytów które będą cieszyć nasze oczy podczas tej imprezy. Trzymajmy kciuki za pogodę!

METEORITE

THE INTERNATIONAL QUARTERLY OF METEORITES
AND METEORITE SCIENCE

Arkansas Center for Space and Planetary Sciences,
University of Arkansas, 202 Old Museum Building,
Fayetteville, Arkansas 72701, USA

Email: metpub@uark.edu, <http://meteoritemag.uark.edu>

Meteorite is available only by subscription, for US\$35 per year. Overseas airmail delivery is available for an additional US\$12 per year.

Angra dos Reis

Elizabeth Zucolotto

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 12 No. 2. Copyright © 2006 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

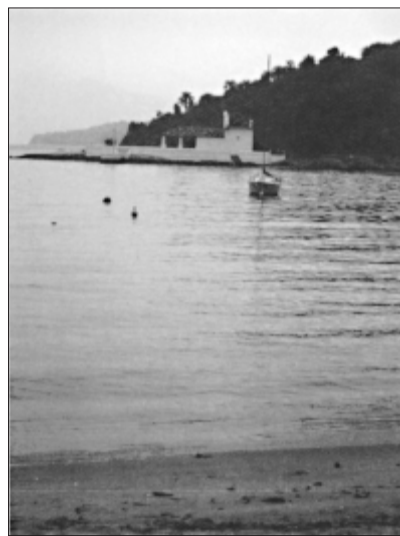
Angra dos Reis, nazywany ADOR, jest jednym z najbardziej znanych meteorytów badanych przez wielu naukowców. Pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku powstał zespół najlepszych badaczy meteorytów, nazwany „ADORBLES”, który miał przebadać ten meteoryt. Jednak historia i rozmieszczenie ADOR w zbiorach są wciąż nieznanne. Ten artykuł ma skorygować niektóre informacje i przedstawić dalsze problemy.

Meteoryt Angra dos Reis spadł w drugiej połowie stycznia 1869 roku, około 5 rano niedaleko kościoła Bonfim na Praia Grande w Angra dos Reis w Brazylii. Jego spadek widział przynajmniej dr Joaquim Carlos Travassos i kilku niewolników płynących łodzią. Było słychać tylko świst, a meteoryt pozostawił w powietrzu słaby ślad dymu wskazujący, że leciał z północy na południe. Dokładna data nie jest znana, ale zdarzyło się to kilka dni po narodzinach córki dr Travassosa, najprawdopodobniej 20 stycznia, ponieważ tę datę podał Salpeter w 1957 roku dla meteorytu żelaznego Angra dos Reis.

Meteoryt wpadł do zatoki niedaleko łodzi i niewolnicy nurkując zdołali wydostać dwa małe kawałki z głębokości około 2 metrów. Kształt fragmentów wskazywał, że jeszcze jednego kawałka brakowało. Dr Travassos podarował jeden fragment swemu teściowi, a inny sędziemu w Angra dos Reis, który dał go dr Ermelino Leao, który z kolei podarował go w 1886 roku Muzeum Narodowemu. Ten fragment ważył 446,5 g i wydaje się, że stanowił ćwiartkę głównej masy, jeśli przyjąć, że miała ona kształt elipsoidy obrotowej o mniejszej średnicy 7,5 cm. Fragment 66,52 g, który zachował się w zbiorach Muzeum Narodowego, wciąż ma z jednej strony cienką, błyszczącą, pomarszczoną, ciemnofioletową skorupę (fot. 2), a drugiej niekompletną skorupę, co wskazuje, że meteoryt rozpadł się w atmosferze niedaleko punktu wyhamowania.

W 1887 roku Tschermak opublikował list od Derby'ego (kustosza Muzeum Narodowego) z opisem spadku, ale bez informacji o wadze meteorytu. Waga znalezionych okazów 1,5 kg była podana przez Tschermaka w jego drugiej publikacji z opisem meteorytu. Napisał on:

„Der Richter von Angra welcher die Erscheinung auf dem Wege ins Bad wahrnam, gab einen Teil des aufgelesenen Steines einem Priester, welcher denselben nach Rom an den Papst gesandt haben soll. Das Gewicht des ganzen Meteoriten dürfte ungefähr 1,5 Kilo betragen haben. Herr Derby will über den Fall noch genauere Nachforschungen anstellen.”



Fot. 1. Widok z kościoła Bonfim w Angra dos Reis na zatokę, do której spadł meteoryt. Fot. Regina Dantas.

Co się tłumaczy jako: „Sędzia z Angry, który zauważył to zjawisko po drodze do kąpieli, dał część znalezionego kamienia księdzu, który miał go wysłać do Rzymu, do papieża. Waga całego meteorytu mogła wynosić około 1,5 kilo. Pan Derby przeprowadzi jeszcze dokładne badania tego spadku.”

Chociaż nie mogliśmy sprawdzić odpowiednio tej relacji, pojawiają się pewne problemy. Czy Tschermak znalazł całkowitą wagę, czy tylko przypuszczał, że dwa pozostałe kawałki także ważyły

po około 500 gramów, co w sumie dawało 1,5 kg? Jest możliwość, że skoro bryła z Muzeum Narodowego wyglądała na ćwiartkę całej masy, to można przypuszczać, że większa połowa odnalezionego meteorytu została podarowana teściowi dr Travassosa.

Publikacja Tschermaka jest źródłem drugiej zagadki. Chodzi o nieporozumienie dotyczące meteorytu kamiennego Angra dos Reis i meteorytu żelaznego Angra dos Reis, heksaedrytu ważącego 6,175 kg. Ten ostatni znajdował się w kolekcji podarowanej papieżowi Leonowi XIII w 1888 roku i miał etykietkę Angra dos Reis z datą spadku 20 stycznia 1869 roku. Jest to data spadku achondrytu ADOR. Czy druga część ADOR została podarowana Kościołowi? Czy to autentyczny ADOR był wysłany papieżowi i w watykańskiej kolekcji pomyłono etykiety, czy też wysłano papieżowi z Brazylii inny meteoryt, cięższy i ładniejszy niż ADOR? Czy druga część ADOR zaginęła w Brazylii czy w Rzymie?

W tym samym roku (1888) Orville Derby opublikował pracę, w której zwraca uwagę na możliwość, że drugi okaz także został podarowany Muzeum Narodowemu; to by wskazywało, że nie został wysłany do Rzymu. Gdzie jest obecnie ten drugi okaz? Co naprawdę stało się z tą cenną bryłą?

Jedyny pewny fakt jest taki, że nigdy nie trafiła ona do Muzeum Narodowego. Postanowiłam poszukać tego drugiego okazu przypuszczając, że może wciąż być w posiadaniu rodziny, ponieważ meteoryt był bardzo cenny dla nauki i rodzina była świadoma jego wartości. Zaczęłam szukać nazwiska teścia dr Travassosa, co wydawało się łatwe dzięki znajomości daty urodzin córki dr Travassosa. Pomagała mi Regina Dantas, historyk z Muzeum Narodowego. Nie znalazła żadnego rejestru narodzin, ale udało jej się znaleźć w kościele zapis chrzcin innej córki, która urodziła się kilka lat później. Niestety nazwisko teścia dr Travassosa

brzmi Rogerio Antonio de Oliveira, co jest bardzo pospolitym nazwiskiem w Brazylii, więc nie było szansy odnalezienia jego potomków. Przyjmując mało prawdopodobną ewentualność, że kamień powrócił do dr Travassosa, pani Dantas przebadła historię rodziny i znalazła jej członka, który wiedział o kamieniu przechowywanym w rodzinie przez wiele lat. Otrzymał go członek rodziny, dr Plinio Travassos, który założył w Ribeirão Preto muzeum zwane *Museu do Café*.

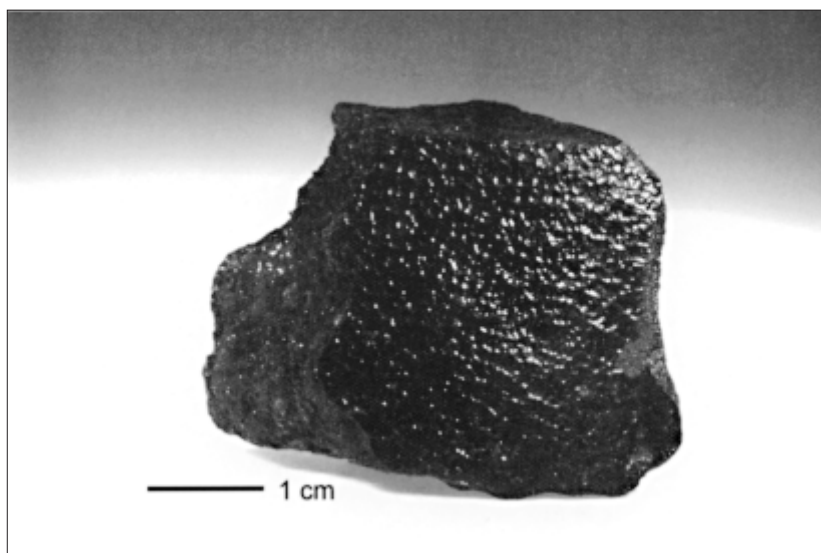
Udaliśmy się do *Museu do Café* i mimo że były tam tylko meteoryty żelazne, w 1954 roku były tam dwa meteoryty kamienne, o czym wspomina prof. Curvello (kustosz Muzeum Narodowego) po wizycie w tym muzeum. Spędziliśmy tam cały dzień oglądając wszystkie próbki skał, nawet w magazynie, ale nie udało nam się znaleźć żadnego meteorytu kamiennego. Co stało się z meteorytami kamiennymi z *Museu do Café*? Jeszcze jedna zagadka.

Ponadto gdyby ADOR był tam w 1954 roku, prof. Curvello rozpoznałby go, więc jest bardzo niska szansa, że drugi okaz ADOR jest w posiadaniu kogoś z rodziny Travassosa w Brazylii.

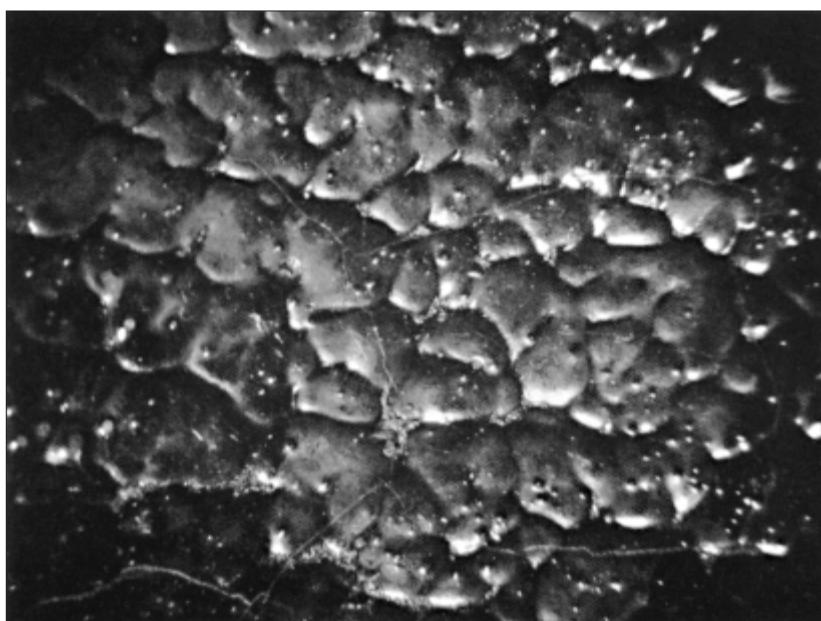
Gdzie jest przypuszczalny trzeci kawałek? Wciąż jest pod wodą i chociaż woda jest bardzo spokojna i niezbyt głęboka, to nie ma szansy na jego odnalezienie. ADOR jest bardzo kruchy i rozpadał się na kawałki, gdy próbowałam odciąć mały fragment.

Jak dużo ADOR znajduje się w zbiorach? Niestety w oficjalnych zbiorach, jak podaje katalog British Museum (tabela 1), jest niecałe 150 g. W rzeczywistości jednak ta ilość jest mniejsza, ponieważ Muzeum Narodowe ma tylko bryłkę 66,52 g i 1,22 g okruchów, a nie 101 g, jak sądzono. Te 101 g to była łączna waga czterech fragmentów, które powróciły do zbioru Muzeum Narodowego po wypożyczeniu dla zespołu ADORABLE. Potem Curvello wymienił około 30 g ADOR za Zagami (17,5 g) i Norton County (98 g).

Co stało się z resztą głównej masy? W 1888 roku Derby informował, że z 446,5 g, które otrzymał, zostało tylko 344,5 g, ponieważ ponad 100 g wzięto do analiz i na wymianę. Nie wspomina jednak, z jakimi instytucjami dokonywano wymian. W 1952 roku, gdy Cu-



Fot. 2a. Główna masa ADOR, 66,52 g z lśniącą, ciemnofioletową skorupą obtopieniową.



Fot. 2b. Skorupa w zbliżeniu.

rvello został kustoszem meteorytów w Muzeum Narodowym, było przynajmniej 227 g wymienionych w starych zapiskach Curvella. Szczodrze dawał on próbki meteorytu wielu instytucjom i badaczom i żadna z nich nie powróciła do zbioru. Niestety wiele z tych darów nie zostało włączonych do zbiorów obdarowanych instytucji. Z zachowanych listów wyrażających wdzięczność za próbki wiemy, że czasem dary były bardzo szczodre, o wadze nawet 15 gramów. Obecnie w Muzeum Narodowym pozostaje niecałe 70 g ADOR, więc jest niemożliwe, aby ktoś mógł otrzymać próbkę nawet w drodze wymiany.

Angryty

Angryty są rzadką i tajemniczą grupą bazaltowych achondrytów liczącą tylko około ośmiu meteorytów (tabela 2). Cechują się wyjątkowym składem mi-

neralnym i chemicznym oraz zwiększoną zawartością trudnotopliwych pierwiastków. Angryty składają się głównie z występujących w różnych proporcjach piroksenu — fassaitu, wapniowego oliwinu — kirschsteinitu i plagioklastu — anortytu, oraz innych akcesorycznych minerałów.

Fassait jest czerwonym do purpurowego klinopiroksenem (Al-Ti-diopsyd-hedenbergit), którego zawartość zmienia się od ponad 90% objętościowo w Angra dos Reis do 5% objętościowo w NWA 2999. Rzadko występuje w skałach ziemskich i planetoidalnych, ale częściej w skałach księżycowych. Angryty są wyjątkowo stare; ich wiek krystalizacji jest powyżej 4,56 mld lat, co sugeruje, że powstały one zaraz po kondensacji mgławicy przedśłonecznej i były najstarszymi zdyferencjowanymi ciałami w Układzie

Słonecznym. Porównanie wieku ekspozycji na promieniowanie kosmiczne angrytów pokazuje, że każdy z nich reprezentuje odrębne zjawisko wyrzucenia z oddzielnego miejsca na ciele macierzystym.

Angryty mają dużą różnorodność historii termicznych, przy czym większość angrytów ma struktury wskazujące na szybką krystalizację, czyli tworzyły się one albo do głębokości metra pod powierzchnią albo w lawach powierzchniowych. Angra dos Reis, LEW 86010 i NWA 2999 mają strukturę wielokątną-granularną wskazującą na powolne stygnięcie na większej głębokości.

Niektóre angryty, takie jak LEW 87051, ASUKA 881371, Sahara 99555 i D'Orbigny, okazują się ściślej powiązane. Są one bardzo podobne pod względem strukturalnym i mineralogicznym i niespokrewnione z Angra dos Reis. Ponadto analizy izotopów tlenu, przeprowadzone dla ADOR i kilku innych angrytów wskazują, że wszystkie angryty badane przez Grenwoda i in. (2003) pochodzą z jednego ciała macierzystego.

Ciała macierzystego angrytów dotychczas nie zidentyfikowano, chociaż porównując widma odbiciowe angrytów z widmami kilku planetoid głównego pasa Bus (1999) zidentyfikował dwa potencjalne ciała macierzyste: 289 Nenetta i 3819 Robinson.

Kurat i in. (2004) przedstawił dowody na niemagmowe utworzenie się angrytów na bardzo wcześnie uformowanym ciele macierzystym, które składało się głównie z trudnotopliwej materii.

Angra dos Reis

Angra dos Reis składa się w 93% z fassaitu z podrzędnymi ilościami oliwinu i akcesorycznymi kirschsteinitu, troilitu, spinelu, whitlockitu, metalicz-

nego Ni-Fe i jeszcze rzadszych tytano-magnetytu, celsianu, plagioklastu i baddeleyitu.

ADOR jest średnio- i gruboziarnistą skałą magmową. Fassait występuje w dwóch głównych teksturach: duże, poikilitowe ziarna rzędu 1,3 mm, które mogą całkowicie otaczać drobne ziarna fassaitowego ciasta skalnego. Ciasto

skalne wykazuje preferowaną orientację ze słabym liniowaniem, co interpretuje się, że oznacza to, iż ADOR jest kumulatem, w którym kryształły piroksenu osiadały w magmie, chociaż sugerowano także porfirową skałę magmową przeobrażoną później przez metamorfizm (Treiman 1989). Oliwin występuje jako oddzielne ziarna w fassaitowym cieście skalnym, albo jako skupienia małych, jednakowej wielkości ziaren. Z niektórymi skupieniami oliwinu występują także rzadkie lamelle kirschsteinitu. AL-Ti-diopsyd-hedenbergit, oliwin i kirschsteinit mają wszystkie jednorodny skład pierwiastków głównych, podrzędnych i śladowych, zgodny z rozległym zrównoważeniem.

Angra dos Reis ukazuje historię stygnięcia inną niż u szybko stygnących angrytów i inną niż LEW 86010, wolniej stygnący angryt. ADOR może być albo kumulatem, albo porfirową skałą magmową przeobrażoną później przez metamorfizm.

Dane geochemiczne dalej podkreślają, że natura Angra dos Reis odróżnia ten meteoryt od wszystkich innych angrytów. Crozaz i McKay (1990)

Dystrybucja (instytut)	Miasto	Waga (g)
Mus. Nac.	Rio de Janeiro	101
U.S. Nat. Mus.	Washington	6,5
Humboldt Univ.	Berlin	2
Mus. D'Hist. Nat.	Paris	15
Field Mus. Nat. Hist.	Chicago	5
Naturhist. Mus.	Vienna	7
Nat. Mus.	Budapest	6
Univ. New Mexico	Albuquerque	Thin section
Vatican Colin	Rome	0,6
Amer. Mus. Nat. Hist.	New York	4,08
DuPont Colin	Algonquin	1,3
Bartoschewitz Colin	Gifhorn	0,2
BM		5
Acad. Sci.	Moscow	0,005

Tabela 1: Rozmieszczenie okazów ADOR w zbiorach według *Catalogue of Meteorites BMNH*, piątego wydania zredagowanego przez Monica Grady.

przeprowadzili szczegółowe analizy pierwiastków śladowych w poszczególnych minerałach z Angra dos Reis i LEW 86010 i doszli do wniosku, że pomimo wspólnych cech te dwa meteoryty musiały powstać w odrębnych zjawiskach magmowych. Mittlefehldt i Linstrom (1990) zauważyli charakterystyczną mineralogię Angra dos Reis i anormalne składniki głównych i śladowych pierwiastków w porównaniu z innymi angrytami. Jest prawdopodobne, że ADOR reprezentuje odrębny źródłowy region na ciele macierzystym angrytów, który doświadczył wyjątkowej historii, co sugeruje, że albo ciało macierzyste angrytów było niejednorodne, albo ADOR formował się na oddzielnym ciele macierzystym.

ADOR jest niezwykle starym meteoritem, którego wiek absolutny jest porównywalny z CAI znalezionymi w Allende. Uformował się on tylko około trzech milionów lat po pierwszych kondensatach w mgławicy [zob. Artykuł Bakera i Bizarro w poprzednim numerze *Meteorytu*]. Rozległe badania izotopowe uznają ADOR za produkt wczesnej dyferencjacji planetarnej niezmieniony od uformowania się 4,55 mld lat temu.

Czy angryty są z Merkurego?

Ostatnio kilku autorów zwróciło uwagę na możliwość, że angryty mogą pochodzić z Merkurego. Pomysł ten opierał się na następujących argumentach:

1) Angryty to maficzne i ultramaficzne, „magmowe” lub metamorficzne skały, które prawdopodobnie pochodzą z dużego, zdyferencjowanego ciała planetarnego.

Nazwa	*Spadek /znalezisko	Miejsce	Masa
Angra dos Reis	*1869	Rio de Janeiro, Brazil	446,5g +masa utracona
LEW 86010	1986	Lewis Cliff, Antarctica	6,9g
LEW87051	1987	Lewis Cliff, Antarctica	0,6g
Asuka881371	1988	Antarctica	11,2g
Sahara 99555	1999	Sahara	2,710 g
D'Orbigny	*1979	Buenos Aires, Argentina	16,55 kg
NWA 1296	2001	Northwest Africa	810g
NWA 1670	2003	Northwest Africa	29 g
YAH 54*		Antarctica	
NWA 2999*	2004	Northwest Africa	2,4kg

Tabela 2: Znane angryty. * D'Orbigny został znaleziony w 1979 roku, ale rozpoznany jako angryt dopiero po 20 latach.

2) Bardzo stary wiek uformowania skały (>4,555 mld lat) wskazuje na bardzo szybkie oddzielenie jądra i stygnięcie.

3) Brak Na wskazuje na bardzo ogniotrwałą planetę (blisko Słońca?)

4) Proporcje izotopów tlenu są podobne jak w planetarnych kamieniach z Ziemi, Księżyca, Marsa i Westy.

5) Okazy angrytów różnią się strukturalnie od siebie.

6) Dynamiczne obliczenia przewidywają, że około 1% materii wyrzuconej z Merkurego może dotrzeć do Ziemi.

Literatura

Bus S. J. 1999. *Compositions and structure in the asteroid belt. Results of a spectroscopic survey*. Praca doktorska, MIT.

Crozaz G., McKay G. 1990. Rare earth

elements in Angra dos Reis and Lewis Cliff 86010, two meteorites with similar but distinct magma evolutions. *EPSL*. 97:369-381

Derby O. A. 1888.

Greenwood R. C. Franchi I. A., Jambon A. 2003. Oxygen isotope evidence for the origin of HED and angrites. *MAPS* 38, Abstract No. 5178.

Greenwood R. C. Franchi I. A., Jambon A., Buchanan P. C. 2005. Widespread magma oceans on asteroidal bodies in the early Solar System. *Nature*. 435:916-918.

Kuref G., Verela M. E., Brandstatter F., Weckwerth G., Clayton R. N., Weber H. W., Schultz L., Wasch E., Nazarov M. A. 2004. D'Orbigny: A non-igneous angritic achondrite? *GCA* 68:1901-1921.

Mittlefehldt D. W., Lindstrom M. 1990. Geochemistry and genesis of the angrites. *GCA* 54:3209-3218.

Treiman A. H. 1989. An alternate hypothesis for the origin of Angra dos Reis — porphyry, not cumulate. *LPSC XIX*:1203.

Tschemak G. 1887. *Min. Petr. Mitt.* 8:341.

Tschemak G. 1888. *Min. Petr. Mitt.* 9:423

E-mail: mezucolotto@globo.com.

Maria Elizabeth Zucolotto jest astronomem z wykształceniem geologicznym i metalurgicznym. Jest ona kustoszem meteorytów w Muzeum Narodowym w Brazylii.

Fot. na okładce: Mikroskopowe zdjęcie płytki cienkiej ADOR ukazujące małe i duże, fioletowe ziarna fassaitu, które zajmują około 90% pola widzenia. Światło przechodzące przy polaroidach równoległych (górne zdjęcie) i skrzyżowanych (dolne zdjęcie). Dłuższy bok ma 5 mm.



Wakacyjne spotkania z pozaziemską materią

Olsztyńskie Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne zaprasza wszystkich zainteresowanych meteorytami i tych, którzy być może nimi się zainteresują, na szereg imprez pod wspólnym hasłem przedstawionym na wstępie. Podstawowym elementem letniej akcji jest wystawa **Meteoryty, tektyty, impaktyty z kolekcji Kazimierza Mazurka**. Można ją zwiedzać codziennie od 9:30 do 17:30 od 1 lipca do 31 sierpnia. Zadaniem wystawy jest pokazanie, jak wyglądają różne rodzaje meteorytów. Po wystawie oprowadza niewidzialny przewodnik nagrany na dysku, a ponadto są plansze informacyjne w języku polskim, angielskim i niemieckim. Zwiedzający są zachęceni, aby przyjrzeć

się uważnie, jak wyglądają meteoryty, aby później podczas wakacyjnych wędrówek oglądać napotkane kamienie i wypatrywać tych, które przybyły z kosmosu.

Dla tych, którzy znajdą podejrzanego kamień, zorganizowane są **dyżury na wystawie** w soboty 8 i 22 lipca oraz 5 i 19 sierpnia, podczas których można będzie wstępnie sprawdzić, czy znaleziony kamień może być meteorytem. Gdy wynik weryfikacji będzie pozytywny, domniemany meteoryt będzie, po uzgodnieniu ze znalazcą, skierowany do szczegółowej analizy.

Dla kolekcjonerów oraz tych, którzy nie mają szczęścia w poszukiwaniach, a pragną mieć meteoryt, zorganizowano 22 i 23 lipca na sali wystawowej **kier-**

masz meteorytów. Wiadomo już, że będą oferowane meteoryty zagranicznych dealerów, chociaż oni sami raczej nie przyjadą ze względu na koszty i problemy z porozumiewaniem się z kupującymi.

Wszystkie imprezy odbywają się na sali wystawowej (wejście obok kasy planetarium), na którą wstęp kosztuje 5 zł (normalny) albo 3 zł (ulgowy). Oznacza to, że chcąc zweryfikować znaleziony kamień, lub zakupić meteoryt na kiermaszu, także trzeba będzie opłacić wstęp. Jednak tym, którzy kupią meteoryt o wartości powyżej 20 zł, koszt biletu zostanie odliczony od ceny zakupu.



tłum. Jacek Drązkowski

Nowa klasa komet może być źródłem ziemskiej wody

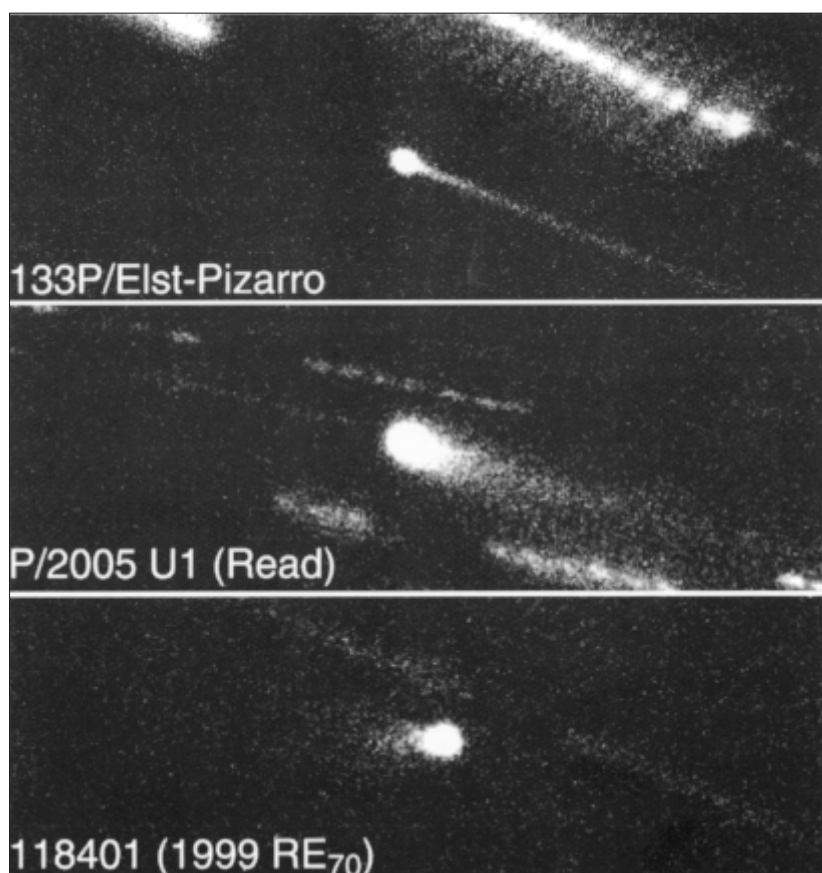
Trzy lodowe komety orbitujące pomiędzy skalistymi planetoidami w głównym pasie planetoid pomiędzy Marsem a Jowiszem mogą zawierać ślady pochodzenia ziemskich oceanów.

Nowo odkryta grupa komet, przez absolwenta Uniwersytetu Hawajów Henry'ego Hsieha i profesora Dawida Jewitta, nazwana „kometami pasa głównego” (ang. *main-belt comets*), ma podobne orbity do planetoid, a w odróżnieniu od innych komet, wydaje się być raczej uformowana w wewnętrznych gorących obszarach Systemu Słonecznego, w obrębie orbity Jowisza, niż w zewnętrznych zimnych obszarach poza Neptunem.

Istnienie tych komet pasa głównego sugeruje, iż komety i planetoidy mają więcej wspólnego niż wcześniej myślano i umacniają hipotezę mówiącą, że lodowe ciała z pasa głównego są głównym źródłem wody w dzisiejszych oceanach. Praca poświęcona temu tematowi ukazała się w kwietniowym wydaniu magazynu „Science”.

Decydujące obserwacje poczyniono 26 listopada 2005 r. przy pomocy 8-metrowego północnego teleskopu Gemini na Mauna Kea. Hsieh i Jewitt zauważyli, że obiekt oznaczony jako planetoida 118401 wyrzuca z siebie pył niczym kometą. Wraz z tajemniczą kometą (oznaczoną 133P/Elit-Pizarro) znaną od niemal dekady, lecz wciąż słabo poznaną, i inną kometą (oznaczoną P/2005 U1) odkrytą w ramach projektu Spacewatch w Arizonie dokładnie miesiąc wcześniej, „planetoida” 118401 tworzy całkowicie nową klasę komet.

„Komety pasa głównego są wyjątkowe z racji swoich płaskich kołowych orbit, podobnych do planetoidalnych, a nie wydłużonych i często nachylo-



Rys. 1. Obrazy trzech znanych komet pasa głównego (w centrum każdego panelu). Pozostałe widoczne obiekty to gwiazdy i galaktyki rozmażane przez ruch teleskopu prowadzonego za każdą z komet. Obrazy uzyskano przy pomocy 2,2-metrowego teleskopu Uniwersytetu Hawajskiego przez H. Hsieha i D. Jewitta (Uniwersytet Hawajski)

nych do ekliptyki, tak charakterystycznych dla wszystkich innych komet,” powiedział Hsieh. „A równocześnie ich kometarne zachowanie czyni je niepodobnymi do wszystkich wcześniej znanych planetoid. One nie pasują porządnie do żadnej kategorii.”

Zarówno w roku 1996 jak i 2002, „oryginalna” kometą pasa głównego, 133 P/Elit-Pizarro (nazwana nazwiskami dwóch odkrywców), była widziana z długim pyłowym warkoczem typowym dla komet lodowych, wbrew swej płaskiej kołowej orbicie typowej dla (jak się raczej przypuszcza) suchych skalistych planetoid. Ponieważ był to jedyny taki przypadek kometarnego zachowania obiektu pasa głównego, prawdziwa natura 133 P/Elit-Pizarro budziła wiele kontrowersji. Aż do teraz.

„Odkrycie innych komet pasa głównego pokazuje, że 133P/Elit-Pizarro nie jest wyjątkiem w pasie planetoid,” powiedział Jewitt. „Tak więc, jest to prawdopodobnie zwykła (choć lodowa) planetoida, a nie kometą z peryferii Układu Słonecznego, która jakimś sposobem zmieniła swoją typowo kometarną orbitę na

orbitę podobną do planetoid. To oznacza, że inne planetoidy mogą również zawierać lód.”

Ziemia, jak wierzymy, uformowała się jako ciało gorące i suche, co oznacza, że obecne zasoby wody musiały być dostarczone już po ostygnięciu planety. Poważnymi kandydatami dostarczającymi zapasu owej wody są zderzające się komety i planetoidy. Ze względu na dużą zawartość lodu komety były tu przez wiele lat wiodącymi kandydatkami, lecz ostatnie analizy kometarnej wody wykazały, iż woda z komet znacznie różni się od typowej wody w oceanach na Ziemi.

Lód z planetoid lepiej pasuje do ziemskich wód, lecz aż do dziś myślano, iż jakkolwiek lód, jaki mogą w sobie zawierać planetoidy, nie zachował się na dłużej, ewentualnie jest zagrzebany głęboko we wnętrzach wielkich planetoid, a przez to niedostępny dla dokładniejszych badań. Odkrycie komet pasa głównego oznacza, że ten lód nie jest stracony i jest jeszcze dostępny (bezpośrednio na powierzchni przynajmniej niektórych ciał pasa głównego, i czasami jest wy-

puszczany w przestrzeń kosmiczną). Wysłanie sondy kosmicznej do komet pasa głównego pozwoliłoby uzyskać nowe, dokładniejsze informacje o ich lodowej zawartości, a w efekcie dać nam wgląd w pochodzenie wody, a wreszcie i życia, na Ziemi.

Zgodnie z ustaloną definicją, komety i planetoidy są bardzo różne. Jedne i drugie są ciałami o rozmiarach od kilku do kilkuset mil, krążącymi wewnątrz Układu Słonecznego. Jednak komety, jak się zakłada, pochodzą z zimnych peryferiów Układu Słonecznego, a w konsekwencji zawierają znacznie więcej lodu niż planetoidy, z których większość najprawdopodobniej powstała znacznie bliżej Słońca, w pasie pomiędzy Marsem a Jowiszem.

Komety mają również duże, wydłużone orbity, w efekcie czego doświadczają sporych różnic temperatur. Gdy kometa zbliża się do Słońca jej lód nagrzewa się i sublimuje (bezpośrednio zmienia się z lodu w gaz), w przestrzeń wyrzucany jest gaz i pył, co tworzy efektowne zjawisko charakterystycznego rozwinętego warkocza kometarnego. Z dala od Słońca sublimacja ustaje, a lód który się ostał pozostaje zamrożony aż do następnego zbliżenia ze Słońcem. W przeciwieństwie do nich ciała z pasa planetoid mają zdecydowanie bardziej kołowe orbity i, jak się sądzi, bardziej wypieczony suchy lód z racji uwięzienia w wewnętrznych obszarach Układu Słonecznego. W szczególności powinny być zdecydowanie skaliste. W związku z odkryciem komet pasa głównego widzimy, że nie jest to regułą, a w konsekwencji wymaga udoskonalenia nasza dotychczasowa definicja komet i planetoid.

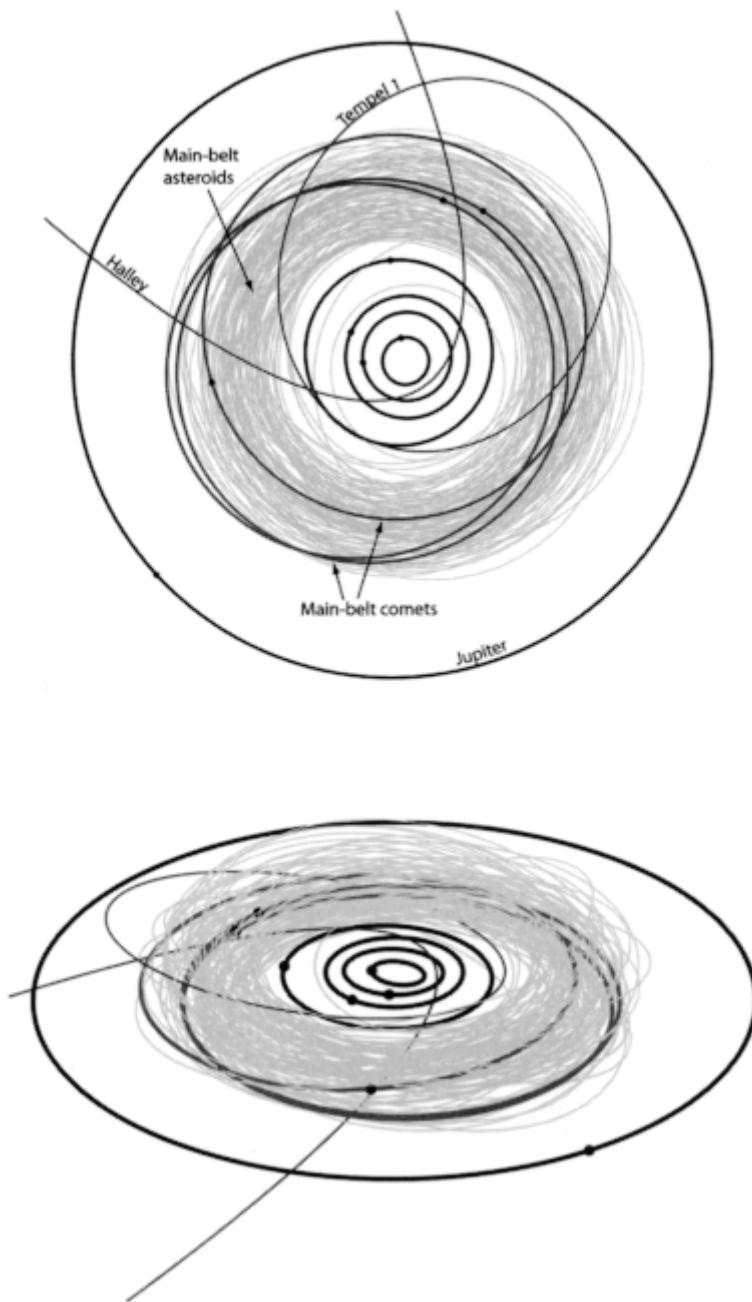
Praca ta jest wspierana grantem z Zarządu Misji Naukowych Programu Astronomii Planetarnej NASA. Instytut Astronomii Uniwersytetu Hawajskiego prowadzi badania galaktyk, kosmologii, gwiazd, planet i Słońca. Jego wydział i sami pracownicy angażują się również w nauczanie astronomii, misje kosmiczne oraz w rozwijanie i zarządzanie obserwatoriami na Haleakala i Mauna Kea. Założony w 1907 r. i w pełni akredytowany przez Zrzeszenie Szkół i Uczelni Stanów Zachodnich (Western Association of Schools and Colleges) Uniwersytet Hawajski jest je-

dyną stanową publiczną placówką szkolnictwa wyższego. Organizacja Uniwersytetu Hawajskiego daje możliwości studiów licencyjackich, dyplomowych i na wyższe stopnie naukowe, a także zapewnia odpowiednie warunki socjalne w 10 kampusach oraz w prowadzonych na obszarze stanu ośrodkach edukacyjnych, szkoleniowych i badawczych. Uniwersy-

tet ma ponad 50 tys. studentów z Hawajów, pozostałych stanów, a także z innych państw.

*Dr Dave Jewitt
Instytut Astronomii
Uniwersytet Hawajski
(wyd. druk. 23.03.2006)*

MW



Rys. 2. Orbity trzech znanych komet pasa głównego (linie ciemnoszare), pięciu planet (linie czarne, patrząc od środka, Merkurego, Wenus, Ziemi, Marsa i Jowisza) i stu przykładowych planetoid pasa głównego (linie jasnoszare) oraz dwóch „typowych” komet — Halley i Tempel 1, celu niedawnej misji Deep Impact. Czarnymi kropkami wskazane są pozycje komet i planet na 1 marca 2006 r. Ilustracja udostępniona za zgodą Pedro Lacerdy (Uniwersytet Hawajski; Uniwersytet Coimbra, Portugalia).

Przechowywanie meteorytów w komorach próżniowych

Patrick S. Mulvany

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 12 No. 1. Copyright © 2006 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Wstęp

Zagadnieniem chemicznego wietrzenia meteorytów na powierzchni Ziemi zajmowano się przy różnych okazjach od połowy XIX wieku i pojawiały się różne opinie co do natury niektórych procesów wietrzenia (Norton 2002). Niezależnie jednak od różnic poglądów jeden fakt pozostaje oczywisty: chemiczne wietrzenie w ziemskim środowisku niszczy meteoryty w krótkim czasie, patrząc w skali geologicznej. Jest to oczywisty, niepodważalny fakt.

Proponowano różne środki zaradcze, aby zahamować, lub przynajmniej spowolnić chemiczne wietrzenie meteorytów znajdujących się w zbiorach. Żaden z nich nie działa zadowalająco, ponieważ żadnemu nie udaje się usunąć wszystkich czynników powodujących wietrzenie chemiczne. Norton (2002) podsumował problem stwierdzając z rezygnacją, że jedynym sposobem ochrony meteorytów przed wietrzeniem jest umieszczenie ich z powrotem w kosmosie, gdzie byłyby dość stabilne przez miliony i miliardy lat.

Ten artykuł ma trzy cele: (1) dokonanie w nieskomplikowany sposób przeglądu czynników powodujących chemiczne wietrzenie meteorytów, tak aby wyodrębnić główne procesy i uszeregować je według ich ważności; (2) dokonanie przeglądu dotychczasowych pomysłów, jak chronić meteoryty przed skutkami chemicznego wietrzenia; (3) opisanie praktycznych, niezbyt kosztownych metod przechowywania meteorytów w pojemnikach próżniowych, przez co umieszcza się meteoryty w sztucznym środowisku naśladującym przestrzeń kosmiczną. Autor uważa, że metoda próżniowa znacznie przewyższa wszystkie dotychczasowe metody przechowywania meteorytów.

Większość czytelników, po przeczytaniu tytułu tego artykułu, może być

skłonna zignorować dyskusję na temat wietrzenia chemicznego i przejść od razu do tematu przechowywania próżniowego, ponieważ ich głównym problemem jest prawdopodobnie ochrona meteorytów znajdujących się w ich zbiorach. Jest jednak oczywiste, że aby wynaleźć metody przechowywania i ochrony meteorytów, trzeba zrozumieć czynniki i procesy ich chemicznego wietrzenia.

Czynniki i procesy wietrzenia chemicznego

Głównymi czynnikami wietrzenia chemicznego są woda, tlen i chlor (Norton 2002, Krauskopf i Bird 1995, Leygraf i Graedel 2000). Żaden z tych czynników nie jest sam w sobie szczególnie silny, ale działając wspólnie bardzo skutecznie powodują rozkład pospolitych minerałów meteorytów: metalicznego żelaza, troilitu, oliwinu, piroksenu i skaleń. Żelazo i troilit zajmują czołowe miejsce jeśli chodzi o podatność na wietrzenie chemiczne, oliwin jest na drugim miejscu, a piroksen i skaleń na trzecim. Troilit jest siarczkiem żelaza. Oliwin, piroksen i skaleń są krzemianami.

Czynniki wietrzenia chemicznego można pogrupować w cztery główne systemy wietrzenia: system wodny, system korozyjnych gazów, system tlenowo-wodny i system chlorkowo-tlenowo-wodny. Systemy te są opisane niżej.

System wodny

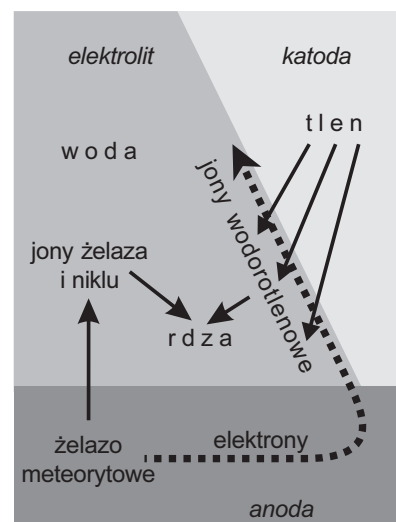
W stanie czystym woda jest co najwyżej słabym czynnikiem wietrzenia chemicznego. Woda destylowana nie reaguje z meteorytowym żelazem i troilem, ale bardzo powoli hydrolizuje oliwin, piroksen i skaleń powodując ich rozpad na różne jony, krzemionkę i glinę (Krauskopf i Bird 1995). W praktyce sama woda stanowi bardzo niewielkie zagrożenie dla minerałów meteorytów.

System korozyjnych gazów

Ozon, chlorowodór, siarkowodór, dwutlenek węgla, tlenki azotu, tlenki siarki i amoniak są gazami pochodzenia naturalnego i antropogenicznego, które występują w ziemskiej atmosferze, choć w małych ilościach (Leygraf i Graedel 2000). Ozon, chlorowodór i siarkowodór są zdolne reagować bezpośrednio z minerałami meteorytów powodując ich rozpad. Dwutlenek węgla, tlenki azotu i siarki oraz chlorowodór i siarkowodór rozpuszczają się w wodzie tworząc kwasy, które powodują korozję meteorytowych minerałów. Amoniak rozpuszcza się w wodzie tworząc zasadę, która atakuje minerały meteorytów, szczególnie krzemiany. Te gazy stanowią zagrożenie dla meteorytów tylko tam, gdzie ich stężenie jest lokalnie podwyższone; na przykład na terenach uprzemysłowionych.

System tlenowo-wodny

W normalnej temperaturze tlen, działając samotnie, niezbyt chętnie reaguje z którymkolwiek z rozważanych minerałów meteorytów (Krauskopf



Rys. 1. Rdzewienie meteorytów w wyniku procesu elektrochemicznego w systemie tlenowo-wodnym. Diagram przedstawia silnie powiększony widok brzości kropki wody na żelazie meteorytowym. Dalsze wyjaśnienia w tekście.

i Bird 1995). Jednak tlen i woda działające razem stanowią potężny czynnik wietrzenia chemicznego.

Żelazo meteorytowe łatwo rdzewieje w obecności tlenu i wody w wyniku procesu elektrochemicznego pokazanego na rys. 1. Metaliczne żelazo z niklem jest anodą, tlen katodą a woda elektrolitem. Elektrony opuszczają atomy żelaza i niklu i wędrują przez metal w kierunku tlenu. Powstałe w rezultacie jony żelaza i niklu migrują do wody. Elektrony wędrują do wody, gdzie łączą się z tlenem i wodą tworząc jony wodorotlenowe. Jony te łączą się z jonami żelaza i niklu tworząc rdzę. Proces rdzewienia jest kontynuowany, póki nie wyczerpie się tlen, albo nie wyschnie woda, albo metal nie przekształci się całkowicie w rdzę. System tlenowo-wodny stanowi bezpośrednie zagrożenie dla meteorytowego żelaza.

Pierwszymi produktami rdzewienia są wodorotlenek żelaza, wodorotlenek niklu i uwodniony tlenek żelaza. Tworzą one „uwodnioną rdzę”. Do uwodnionych tlenków żelaza należą minerały goethyt, akaganeyt i lepidokrokit, z których każdy może zawierać znaczące ilości niklu (Buchwald i Clarke 1988). Z upływem czasu uwodniona rdza traci wodę i przekształca się w „suchą rdzę”, która składa się z minerałów będących tlenkami żelaza jak hematyt, maghemit i magnetyt, z których żaden nie zawiera znaczących ilości niklu. W jej skład być może wchodzi minerał trevoryt — tlenek żelaza i niklu. Maghemit, magnetyt i trevoryt są silnie magnetyczne, natomiast wszystkie inne minerały składające się na rdzę są normalnie niemagnetyczne (Ford i Dana 1932, Jackson 1997). Nieokreślone mieszaniny produktów rdzewienia są potocznie nazywane limonitem (Jackson 1997).

Troilit łatwo reaguje z tlenem i wodą tworząc kwas siarkowy i siarczany żelaza (Krauskopf i Bird 1995). Kwas siarkowy atakuje meteorytowe żelazo, oliwin, piroksen i skałen z otoczenia troilitu. Siarczany żelaza w końcu przekształcają się w rdzę i inne produkty wietrzenia. Troilit jest pospolitym minerałem akcesorycznym w meteorytach i jego reagowanie z tlenem i wodą stanowi poważny problem dla zbiorów meteorytów. Rys. 2 pokazuje rozkład zawierających troilit meteorytów w systemie tlenowo-wodnym.

Oliwin, piroksen i skałen reagują po-

woli z tlenem i wodą tworząc różne jony, rdzę, krzemionkę i glinę (Krauskopf i Bird 1995). Te reakcje, ponieważ przebiegają bardzo powoli, stanowią niewielkie zagrożenie dla meteorytów.

System chlorkowo-tlenowo-wodny

Gdy do systemu tlenowo-wodnego dodamy chlorek, pojawia się szczególnie agresywna forma korozji, zwłaszcza jeśli chodzi o meteoryty żelazne. Do możliwych źródeł chlorków należą (1) chlorki i chlor, które mogą być składnikami niektórych meteorytów; (2) gazowy chlor i chlorowodór, które występują w niewielkich ilościach w ziemskiej atmosferze; (3) chlorek sodu, którego nie brak na powierzchni Ziemi; (4) mycie meteorytów chlorowaną wodą z kranu; (5) czyszczenie zardzewiałych meteorytów kwasem solnym; (6) używanie chlorowanych węglowodorowych rozpuszczalników do usuwania oleju, smaru i wosku, które ludzie powszechnie stosują, by chronić meteoryty przed rdzewieniem; (7) chlorki z rąk i oddechu ludzi, którzy biorą meteoryty do rąk. W ziemskim środowisku chlorki są wszędzie i praktycznie jest niemożliwe, by uchronić meteoryty przez kontaktem z nimi.

Chlorek zwiększa przewodność elektryczną wodnego elektrolitu w procesach elektrochemicznych opisanych wcześniej. Zwiększona przewodność elektryczna sprzyja szybszemu tworzeniu się rdzy. Im więcej chlorku, tym szybciej postępuje rdzewienie.

Obecność chlorku jest przyczyną innego problemu. Wodny elektrolit zawiera jony chloru, żelaza i niklu. Taka sytuacja powoduje, że w warunkach atmosferycznych woda nie może całkowicie wyschnąć, ponieważ chlorki żelaza i niklu są higroskopijne (Stecher 1960), co oznacza, że wchłaniają wilgoć atmosferyczną do tego stopnia, że stają się wodnymi roztworami. Dlatego obecność chlorku zapewnia obecność dobrze przewodzącego wodnego elektrolitu, który gwarantuje nieprzerwane i szybkie rdzewienie meteorytowego żelaza.

Obecność chlorku wywołuje jeszcze trzeci problem. Wodne roztwory chlorków żelaza i niklu są kwaśne (Stecher 1960, King 1994). Tak więc z chlorku żelaza wydziela się kwas solny (Stecher 1960), który agresywnie atakuje wszystkie omawiane minerały meteory-

tu. Rys. 3 pokazuje rozkład meteorytów zawierających żelazo w systemie chlorkowo-tlenowo-wodnym, który stanowi wielkie zagrożenie dla meteorytów zawierających żelazo.

Powszechne, codzienne doświadczenie z naszymi samochodami jest świadectwem szybkiej korozji żelaza w systemie chlorkowo-tlenowo-wodnym. Samochody, które jeżdżą po nadmorskich plażach, słonych równinach, czy posypywanych solą śliskich drogach, rdzewieją znacznie szybciej niż te, które nie jeżdżą w takich warunkach.

Dotychczasowe środki zaradcze i ich wady

Próbowano różnych sposobów, by powstrzymać, lub przynajmniej spowolnić chemiczne wietrzenie i w końcu rozpad meteorytów znajdujących się w zbiorach instytucjonalnych i prywatnych (pomysły różnych osób można znaleźć w internecie). Do tych sposobów należą (1) zanurzanie meteorytów w alkoholu by usunąć wodę i chlorek; (2) zanurzanie ich w ługu, by zneutralizować kwas; (3) ogrzewanie ich w piecu, by odparować wodę; (4) przechowywanie ich razem z pochłaniaczami wilgoci w szczelnych pojemnikach by usunąć wodę i odciąć dopływ tlenu i korozyjnych gazów; (5) pokrywanie ich olejem, smarem, woskiem i przezroczystymi farbami, by uniemożliwić wnikanie czynników wietrzenia chemicznego; (6) trzymanie ich w hermetycznych pojemnikach wypełnionych obojętnym gazem takim jak azot czy argon; (7) stosowanie czyszczenia galwanicznego.

Zanurzanie w alkoholu

Zanurzanie meteorytów tylko jeden raz w alkoholu usuwa wodę i chlorek znajdujące się na powierzchni meteorytu lub płytko pod powierzchnią. Wielokrotne zanurzanie byłoby konieczne, by usunąć wodę i chlorek znajdujące się głęboko w meteorycie wzdłuż długich i krętych kanalików. Nawet wtedy powietrze uwięzione w kanalikach może nie pozwolić na wniknięcie alkoholu. Norton (Norton i Chitwood 2005) pokazał przekonująco istnienie wypełnionych powietrzem kanalików sięgających głęboko do wnętrza meteorytu.

Zanurzanie w ługu

Zanurzanie w ługu (w roztworze wodorotlenku sodu) ma te same wady

jeśli chodzi o głębokie kanaliki. Ponadto ług powoduje degradację krzemianów i wprowadza do meteorytu obce jony.

Suszenie w piecu

Suszenie w piecu musi być przeprowadzone w temperaturze, która nie zniszczy krystalograficznej struktury meteorytowego żelaza i można wątpić, czy przy stosunkowo niskich temperaturach ulotni się cała woda z chlorków żelaza i niklu, które prawdopodobnie istnieją w głębokich szczelinach. Poza tym chlorki zaczynają ponownie absorbować wodę zaraz po ostygnięciu. Niestety pechowo się składa, że suszenia nie można zrobić w temperaturach dostatecznie wysokich, aby rozłożyć chlorek żelaza i usunąć cały chlor w postaci gazowej

Szczelny pojemnik z pochłaniaczem wilgoci

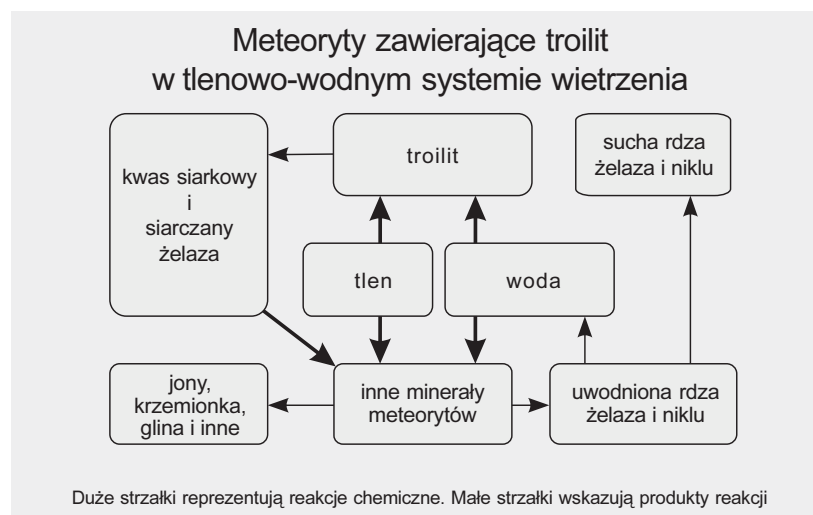
Szczelne pojemniki ograniczają dostęp czynników wietrzenia chemicznego. Pochłaniacze wilgoci mogą usunąć prawie całą wodę z chlorków żelaza i niklu, chociaż trwa to dość długo. Jednak za każdym razem, gdy pojemnik jest otwierany, wprowadzana jest świeża dostawa gazów, a chlorki natychmiast pochłaniają wodę z powietrza. Po zamknięciu pojemnika gazy i woda reagują z meteorytem. Reakcja zatrzymuje się, gdy wyczerpią się gazy albo woda, albo gdy pochłaniacz wilgoci wyciągnie całą wodę z chlorków.

Doświadczenia przeprowadzone przez autora pokazują, że potrzeba ponad tygodnia, by pochłaniacz usunął wodę, którą krystaliczny chlorek żelaza wchłonie w ciągu niecałych dwóch minut wystawienia na działanie powietrza. Widać więc, że meteoryty trzymane w szczelnych pojemnikach z pochłaniaczem wilgoci nie powinny być często wyjmowane.

Należy unikać wykorzystywania chlorku wapnia jako pochłaniacza, ponieważ zanieczyści on meteoryty chlorem. Żel krzemionkowy prawdopodobnie może wysuszyć chlorki, ale autor jeszcze go nie przetestował.

Powłoki ochronne

Powlekanie olejem, smarem, woskiem i bezbarwnym lakierem chroni jedynie przed wodą, ale nie chroni przed tlenem i korozyjnymi gazami. Te powłoki mogą w rzeczywistości ułatwiać rozpadanie się i w końcu znisz-



Rys. 2. Rozkład meteorytów zawierających troilit w tlenowo-wodnym systemie wietrzenia. Dalsze wyjaśnienia w tekście

czenie meteorytu. Zanieczyszczają one także meteoryty węglowodorami. Z równym skutkiem można oddać lub wyrzucić meteoryty zamiast psuć je w taki sposób.

Przedmuchiwanie obojętnym gazem

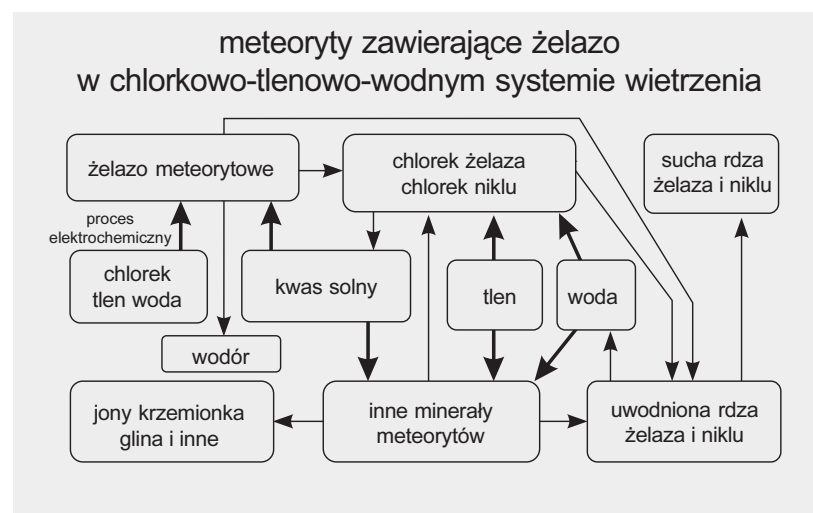
Przedmuchiwanie hermetycznych pojemników obojętnym gazem takim jak azot czy argon stwarza atmosferę przyjazną dla meteorytów. Prawdopodobnie trzeba jednak kilkakrotnie powtarzać przedmuchiwanie przez kilka dni, aby usunąć wodę i gazy z wnętrza meteorytu. Ponadto całą procedurę trzeba by powtarzać za każdym razem, gdy meteoryt zostanie wyjęty z pojemnika. Prawdopodobnie należy umieścić w pojemniku pochłaniacz wilgoci. Jest to prawdopodobnie najlepsza z proponowanych dotąd metod przechowywania meteorytów.

Czyszczenie galwaniczne

Metoda czyszczenia galwanicznego opisana przez Pickarda (2005) służy do zneutralizowania kwasu, wyługowania chlorku i zredukowania części utlenionego żelaza. Jest jednak wątpliwe, czy jej działanie sięga w głąb meteorytu. Ta metoda wprowadza także prawdopodobnie do meteorytów zanieczyszczenia w postaci glinu i węglanu sodu.

Przechowywanie w próżni

Przechowywanie meteorytów w pojemnikach próżniowych usuwa praktycznie całą wodę i wszystkie gazowe czynniki wietrzenia z otoczenia i z wnętrza meteorytu. Meteoryty w pojemnikach próżniowych, to meteoryty umieszczone w sztucznym środowisku przypominającym przestrzeń kosmiczną, gdzie meteoryty były stabilne pod względem mineralogicznym przez miliony i miliardy lat.



Rys. 3. Rozkład meteorytów zawierających żelazo w chlorkowo-tlenowo-wodnym systemie wietrzenia. Dalsze wyjaśnienia w tekście.

Sprzęt potrzebny do przechowywania meteorytów w próżni to pojemniki próżniowe, dobra pompa próżniowa, wskaźnik ciśnienia, węże z końcówkami do zamocowania i smar próżniowy.

Pojemniki próżniowe

Na fot. 4 widać trzy pojemniki próżniowe z meteorytami. Pojemnik z lewej jest akrylowym słoikiem do przechowywania żywności, który autor specjalnie wyposażył w zawory i elementy wzmacniające, by używać go jako pojemnik próżniowy. Val-Mart Stores, Inc., oferuje te pojemniki pod nazwą Mainstays w trzech wielkościach: 0,98 litra za około 4 dolary USA, 1,68 litra za 6 dolarów USA i 2,15 litra za mniej więcej 7 dolarów. Największy z nich widać na fot. 4. Dodanie zaworów i elementów wzmacniających zwiększa koszt tych pojemników o dalsze 6,50 dolarów.

Drugi od lewej pojemnik, to hermetyczna, akrylowa puszka do przechowywania żywności, która jest już gotowym pojemnikiem próżniowym. Te puszki są sprzedawane pod firmową nazwą „Foodsaver” i są dostępne w trzech rozmiarach: 1,1 litra za 5 dolarów, 2,47 litra za 7,50 i 3,57 litra za 10 dolarów. Na fot. 4 widać największy z nich. Na te pojemniki zwrócił uwagę autora pewien miłośnik meteorytów, któremu pokazała je jego żona. Autor gorąco poleca te pojemniki, ponieważ są niezbyt drogie, nie wymagają żadnych przeróbek i są wyposażone w zawór do wpuszczania powietrza otwierany przyciskiem. Jeśli ktoś szuka niezbyt hałaśliwych pojemników próżniowych, to jest to coś dla niego. Podobne pojemniki próżniowe oferuje firma Black and Decker Corp., ale autor jeszcze ich nie wypróbował.

Autor wyklada wnętrza akrylowych pojemników próżniowych pęcherzykową folią, aby uniknąć podrapania i uszkodzenia plastiku przez meteoryty. Folię widać w dwóch pojemnikach z lewej strony fot. 4.

Trzeci od lewej pojemnik został specjalnie wykonany z nierdzewnej stali dla okazów, które nie mieszczą się w plastikowych pojemnikach.

Firma Foodsaver oferuje także specjalne urządzenie pozwalające na przekształcenie zwykłych, szklanych słoików w pojemniki próżniowe. Są one niedrogie i można je wielokrotnie używać, ale ze względów bezpieczeństwa,

o których będzie mowa później, korzystanie ze szklanych pojemników nie jest zalecane.

Pompy próżniowe

Głębokość próżni w pojemnikach pokazanych na fot. 4 jest przynajmniej 99,9%, co zapewnia dwustopniowa, rotacyjna pompa próżniowa Edwardsa, model E2M2 widoczna na zdjęciu. Pompa jest podłączona do środkowego pojemnika.

Można także wykorzystywać pompy do głębokiej próżni, które dają niemal idealną próżnię, ale jest wątpliwe, czy dają one zauważalną różnicę, jeśli chodzi o przechowywanie meteorytów, w porównaniu z pompami do wysokiej próżni, takimi jak E2M2. Można też wykorzystywać tanie, ręczne pompy próżniowe (Norton i Chitwood 2005), ale dają one maksymalnie 90% próżnię; lepsza jednak taka niż żadna. Foodsaver sprzedaje, niezależnie od pojemników próżniowych, urządzenie zamykające, wyposażone w elektryczną pompę próżniową. Autor nie wypróbował pompy tego urządzenia, które kosztuje ponad 100 dolarów, ale wygląda ono na niezbyt solidne i prawdopodobnie nie daje lepszych efektów, niż tanie, ręczne pompy, które można kupić w sklepach z częściami samochodowymi za jakieś 30 dolarów.

Wysokiej jakości pompy dające głęboką próżnię można kupić nowe u producentów i w domach zaopatrzenia nauki za kilkaset i kilka tysięcy dolarów. Używane pompy można kupić na przykład przez Internet. Pompa na fot. 4 została kupiona na aukcji internetowej za około 200 dolarów. Ta pompa ma wydajność dwóch stóp sześciennych na minutę, co wystarcza, aby opróżnić pojemnik próżniowy w ciągu niecałej minuty. Trzeba jednak uważać kupując używaną pompę, ponieważ większość sprzedawców niewiele wie o ich działaniu. Autor szukał w Internecie przez kilka tygodni, zanim znalazł odpowiednią pompę za odpowiednią cenę i u sprzedawcy, który przetestował pompę i gwarantował jej prawidłowe funkcjonowanie. W handlu dostępne są zestawy do naprawy uszkodzonych lub zużytych pomp.

Metodologia

Sposób postępowania jest prosty: trzeba umieścić jeden lub kilka mete-

orytów w pojemniku próżniowym, pokryć krawędź pojemnika cienką warstwą próżniowego smaru, umieścić wieczko na pojemniku, podłączyć do pojemnika wąż od pompy próżniowej, włączyć pompę, pozwolić jej pracować pięć do dziesięciu minut obserwując wskaźnik ciśnienia, odłączyć wąż od pojemnika i wyłączyć pompę. Późniejszy proces wypuszczenia powietrza do pojemnika i ponownego odtworzenia próżni zabiera tylko kilka minut, więc można szybko i bez trudu wyjąć okaz do obejrzenia i włożyć z powrotem do pojemnika.

Pojemniki trzeba sprawdzać co parę tygodni, by upewnić się, czy nie ma nieszczelności. Jeśli można podnieść pojemnik za wieczko i wieczko nie odchodzi, to pojemnik raczej jest szczelny. Niemniej nie zaszkodzi od czasu do czasu podłączyć pompę i odświeżyć próżnię, oraz obserwować wskaźnik ciśnienia, czy jego zachowanie nie wskazuje istnienia nieszczelności. Jeśli pojemnik jest nieszczelny, trzeba go dokładnie obejrzeć, czy nie ma jakichś małych, obcych ciał w zaworze lub na krawędzi pojemnika. Najczęściej źródłem kłopotów są włosy lub włókna tkanin. Trzeba także sprawdzić, czy krawędź pojemnika nie jest wyszczerbiona. Jest także możliwe, że nieszczelny pojemnik został źle wykonany i nie da się nic na to poradzić. Autor bardzo rzadko miał problemy z nieszczelnymi lub wadliwymi pojemnikami.

Przykładowe historie

Szybko rozpadający się meteoryt żelazny Campo del Cielo, umieszczony w jednym z pojemników w wysokiej próżni, pokrył się brunatnoczarną cieczą wyciekającą z kilkunastu szczelin, które widocznie sięgały daleko w głąb okazu. W warunkach wysokiej próżni ciecz ta całkowicie wyschła. Było to już po potraktowaniu okazu ługiem, wykapaniu w etanolu, wysuszeniu w piecu i przechowywaniu przez rok w szczelnym pojemniku z pochłaniaczem wilgoci. Obecnie ten okaz wygląda na znacznie bardziej stabilny. Po wyjęciu z pojemnika jest bardzo suchy w dotyku, nie ma już słabego zapachu kwasu solnego i odpada od niego znacznie mniej zwietrzałych kałków.

Jądro szybko rozpadającego się oktaedrytu z Chin, o wielkości orzecha włoskiego, przepiłowane na pół. Obie

połówki zeszlifowano, wypolerowano, wytrawiono i przemyto alkoholem. Jedną połówkę od razu umieszczono w pojemniku próżniowym i włączono pompę na pół godziny. Później codziennie, przez tydzień, uruchamiano pompę na 10 do 15 minut. Drugą połówkę od razu wysuszono w piecu i potem pozostawiono na powietrzu. W momencie pisania, po kilku miesiącach, wytrawiona powierzchnia fragmentu przechowywanego w próżni jest lśniąca, bez śladu korozji, a powierzchnia drugiego kawałka jest matowa z plamkami rdzy.

Oporny chlorek

Autor przeprowadził doświadczenie z chlorkiem żelaza, który może sprawiać kłopoty jeśli chodzi o przechowywanie w próżni meteorytów, które są poważnie zainfekowane chlorkiem. W pojemniku próżniowym umieszczono zlewkę zawierającą 1,88 grama bezwodnego chlorku żelaza i włączono pompę mniej więcej na godzinę. Przez dziewięć kolejnych dni codziennie wyjmowano zlewkę na dwie minuty, by ją zważyć, wkładano ponownie do pojemnika i uruchamiano pompę na pięć minut. W ciągu tych dziewięciu dni chlorek żelaza wchłoniął 0,13 grama wody, zrobił się mokry i wydzielał silną woń chlorowodoru. Pompa próżniowa musiałaby chodzić bez przerwy osiem godzin, by usunąć z chlorku żelaza te 0,13 grama wody. Ta sama ilość wody w stanie czystym znikła by w warunkach wysokiej próżni w ciągu kilku minut. Niewątpliwie chlorek żelaza jest bardzo przywiązany do wody.

Z tego doświadczenia wynika wniosek, że meteoryty poważnie zainfekowane chlorkiem wymagają, przy próżniowej metodzie przechowywania, szczególnego traktowania. Po każdym wyjęciu ich na powietrze trzeba uruchamiać pompę próżniową przynajmniej na godzinę.

Widać, że jedyny sposób, by poradzić sobie z chlorkiem, to usunąć go całkowicie. Autor prowadzi obecnie doświadczenia starając się rozwiązać ten problem. Celem jest opracowanie takiej metody usuwania chlorku, która by nie wprowadzała obcych substancji do meteorytu.

Środki bezpieczeństwa

Jeśli chodzi o pojemniki próżniowe, należy się kilka słów przestrogi. Ciśnienie atmosferyczne wywiera na te pojemniki ogromną siłę, co stwarza zagrożenie implozją. Na przykład na duży pojemnik, trzeci od lewej na fot. 4, działa całkowita siła ściskająca 3600 funtów.

Z tego powodu pojemniki próżniowe muszą być starannie wykonane. Zaleca się, aby każdy pojemnik próżniowy najpierw przetestować, by upewnić się, że nie ma uszkodzeń. Robi się to zmniejszając stopniowo ciśnienie przy pomocy ręcznej pompy i bacznie obserwując czy nie pojawiają się pęknięcia, deformacje i nietypowe dźwięki. Jeśli tylko pojawi się którakolwiek z tych oznak grożącej katastrofy, trzeba natychmiast przerwać pompowanie, wpuścić powietrze i nie próbować więcej. Jeśli wszystko wygląda dobrze po

osiągnięciu maksymalnej próżni możliwej do uzyskania przy pomocy ręcznej pompy, to pojemnik prawdopodobnie wytrzyma także wysoką próżnię. Niemniej pierwszą próbę uzyskania wysokiej próżni w pojemniku należy zrobić umieszczając pojemnik za ekranem ochronnym.

Ze względów bezpieczeństwa lepiej unikać szklanych pojemników, ponieważ mają one skłonność do rozlatywania się na kawałki przy implozji, podczas gdy pojemniki akrylowe tylko pękają, a metalowe są zgniatane. Można sobie wyobrazić następujący scenariusz wypadku ze szklanym pojemnikiem. Z pojemnika zawierającego meteoryt wypompowuje się powietrze i wszystko wygląda dobrze. Przy podnoszeniu pojemnika meteoryt jednak zsuwa się i uderza w bok pojemnika, szkło pęka i cały pojemnik imploduje momentalnie na ostre kawałki.

Podsumowanie i wnioski

Chemiczne wietrzenie w ziemskim środowisku powoduje niszczenie meteorytów w krótkim czasie w skali geologicznej. Głównymi czynnikami wietrzenia chemicznego są: woda, korozyjne gazy, tlen i chlorek. Te czynniki można podzielić na cztery systemy wietrzenia chemicznego: wodny, korozyjnych gazów, tlenowo-wodny i chlorkowo-tlenowo-wodny.

System chlorkowo-tlenowo-wodny jest na pierwszym miejscu pod względem zdolności niszczenia meteorytów, system tlenowo-wodny jest drugi, system korozyjnych gazów jest trzeci i system wodny jest ostatni.

Głównymi minerałami meteorytów są: metaliczne żelazo, troilit, oliwin, piroksen i skałen. Żelazo i troilit zajmują pierwsze miejsce pod względem podatności na wietrzenie chemiczne, oliwin jest drugi, a piroksen i skałen są na trzecim miejscu.

Wcześniej proponowane metody przechowywania meteorytów starały się uniemożliwić lub ograniczyć dostęp czynników wietrzenia chemicznego, zneutralizować kwas i przekształcić rdzę ponownie w metal. Żadna z tych metod nie działa zadowalająco, ponieważ żadnej nie udaje się usunąć wszystkich czynników wietrzenia chemicznego z otoczenia i z wnętrza meteorytów. Ponadto niektóre z tych metod wprowadzają do meteorytów obce substancje, a niektóre



Fot. 4. Trzy rodzaje pojemników próżniowych z meteorytami i pompa, która została użyta do wytworzenia wysokiej próżni w pojemnikach. Dalsze wyjaśnienia w tekście.

re z tych substancji mogą uszkodzić minerały meteorytów.

Prezentowana tu metoda próżniowa usuwa praktycznie całą wodę i wszystkie gazowe czynniki wietrzenia z otoczenia i z wnętrza meteorytów. Zapewnia ona sztuczne środowisko, które przypomina kosmos, gdzie meteoryty są mineralogicznie stabilne przez miliony i miliardy lat. Próżnia jest doskonałym ośrodkiem do przechowywania meteorytów. Metoda próżniowa przewyższa wszystkie inne metody dotąd proponowane. Metoda ta trochę kosztuje, ale jest to niewiele w porównaniu z wartością meteorytów. Metoda próżniowa jest prosta i łatwa do zastosowania.

Szczegółnej uwagi wymaga przechowywanie w próżni meteorytów silnie zainfekowanych chlorkiem. W ich przypadku pompa próżniowa powinna pracować znacznie dłużej.

Widać, że jedynym sposobem, by skutecznie przeciwdziałać chlorkowej infekcji, jest usunięcie chlorku. Trwają doświadczenia, aby opracować metodę usuwania chlorku, która nie wprowadza na stałe obcych substancji do meteorytu.

Literatura

- Buchwald V. F., Clarke R. S. Jr., 1988. Akaganeite, not lawrencite, corrodes Antarctic iron meteorites. *Meteoritics* 23: 261.
- Fontana M. G., 1986. *Corrosion Engineering*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Ford W. E., Dana E. D., 1932. *A Textbook of Mineralogy*, 4th ed. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Jackson J. A., 1997. *Glossary of Geology*, 4th ed. Alexandria, Virginia: American Geological Institute.
- King R. B., ed., 1994. *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*. New York: John Wiley and Sons, Inc., vol. 1-8.

Krauskopf K. B., Bird D. K., 1995. *Introduction to Geochemistry*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, Inc.

Leygraf C., Graedel T., 2000. *Atmospheric Corrosion*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Norton O. R., 2002. *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Norton O. R., Chitwood L. A., 2005. Porowatość i gęstość meteorytów. *Meteorit* 1/2005: 16-19.

Pickard R., 2005. Galvanic cleaning of meteorites. *Meteorite* 11(4): 34-37. (Artykuł nie został zamieszczony w „Meteorycie” ze względu na liczne błędy merytoryczne — przyp. red.)

Stecher P. G., ed., 1960. *The Merck Index of Chemicals and Drugs* 7th ed. New Jersey: Merck & Co., Inc.

Rolla, Missouri, USA
jpmulvany@earthlink.net



Gdzie są kometarne meteoryty?

Tim Swindle i Humberto Campins

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 12 No. 2. Copyright © 2006 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Mamy meteoryty z Księżyca, z Marsa i wiele meteorytów pochodzących przypuszczalnie z planetoid. Czy mamy jakieś meteoryty z komet? W przeszłości wiele meteorytów podejrzewano o kometarne pochodzenie, ale jak dotąd nie ma żadnego przekonującego przypadku meteorytu z komety.

Kilka lat temu rozważaliśmy taką możliwość i próbowaliśmy wyobrazić sobie, jakie cechy powinien mieć kometarny meteoryt. Ponieważ jeden z nas (H. C.) bada komety, a drugi (T. S.) meteoryty, uznaliśmy, że wspólnie mamy szansę zidentyfikować taki kamień. Doszliśmy do wniosku, że jak dotąd nie ma żadnego. I chociaż od tamtego czasu podejrzewano kilka nowych meteorytów o kometarne pochodzenie, to wciąż nie ma ani jednego okazu, który zyskałby powszechną akceptację.

Dlaczego powinny być kometarne meteoryty?

W wewnętrznej części Układu Słonecznego (część położona bliżej Słońca niż Jowisz) jest znacznie więcej planetoid niż komet, więc nie musimy

oczekiwać, że kometarnych meteorytów będzie dużo. Ponadto w tych rzadkich przypadkach, w których było możliwe zmierzenie gęstości komety, ta gęstość jest zawsze mała, mniejsza od gęstości wody. Ponieważ lód jest najlżejszą materią, jaką spodziewamy się znaleźć w komecie, oznacza to, że komety muszą mieć luźną strukturę, więc nie możemy oczekiwać, że będą bardzo wytrzymałe. Skoro nie są wytrzymałe, nie możemy oczekiwać, że pochodząca z nich materia będzie w stanie przetrwać przelot przez ziemską atmosferę, czego wymagamy od meteorytu. Ponadto wszystkie widowiskowe komety, takie jak Halleya, Hale-Boppa i Hyakutake, mają orbity, które gwarantują, że każdy ich fragment zderzy się z Ziemią z bardzo dużą prędkością, znacznie większą niż w przypadku jakiegokolwiek znanego meteorytu, co sprawia, że przejście przez atmosferę byłoby jeszcze trudniejsze, a szansa na jego przetrwanie jeszcze mniejsza.

Jak pokazał jednak George Wetherill ponad 25 lat temu, istnieje „rodzina Jowisza” komet, które są znacznie lepszymi kandydatami na ciała macierzy-

ste meteorytów. Są to komety, które mają orbity bardziej podobne do orbit planet ziemskich, o małych nachyleniach i dość niskich mimośródach. Małe nachylenia oznaczają, że ich orbity są prawie w takiej samej płaszczyźnie co orbity planet, więc można je narysować na kartce i nie przychodzi spoza kartki w trzecim wymiarze. Niski mimośród oznacza, że w największym oddaleniu od Słońca mogą być blisko, lub nawet wewnątrz orbity Jowisza, a nie w zewnętrznej części Układu Słonecznego. Oba te efekty oznaczają, że fragmenty tych komet mogą spotkać się z Ziemią ze znacznie mniejszą prędkością, więc ewentualne meteoryty mają znacznie większą szansę przetrwania.

W istocie, ponieważ orbita komety z rodziny Jowisza ewoluuje w wyniku oddziaływań z planetami, jest możliwe, że jej końcowa orbita będzie nie do odróżnienia od orbity planetoidy. Jest parę „planetoid” przelatujących blisko Ziemi, które mogą być wygasłymi kometami, jak 4015 Wilson-Harrington, u której obserwuje się pojawianie się kometarnego warkocza, i 3200 Phaeton, która jest ciałem macierzystym roju

meteorów Geminidy. W istocie orbita 4015 Wilsona-Harringtona jest bardzo podobna do orbity bolidu sfotografowanego w 1979 roku przez kanadyjską sieć bolidową, który był dostatecznie jasny, by mogły spaść z niego małe meteoryty. Nie znaleziono jednak żadnego meteorytu.

Jest problem, czy kometarna materia byłaby dostatecznie wytrzymała. Odpowiedź można uzyskać z analizy bolidów, ponieważ rozkład jasności podczas przelotu przez atmosferę można powiązać z wytrzymałością. Po przeanalizowaniu danych z amerykańskiej sieci bolidowej Douglas ReVelle i George Wetherill doszli do wniosku, że niektóre bolidy z kometarnymi orbitami (na przykład zderzające się z Ziemią od czołowej strony, a nie mające małe nachylenie i mimośród znanych orbit meteorytowych) są tak wytrzymałe, jak niektóre odnalezione meteoryty, chociaż stanowią one małą część kometarnych bolidów. Chociaż tę analizę zrobiono ponad 20 lat temu, to ponieważ zarówno amerykańska jak i kanadyjska sieć zostały zamknięte przed rokiem 1985, jest ona wciąż ostatnim słowem na ten temat i prawdopodobnie będzie nim jeszcze przez jakiś czas.

Jak wyglądałyby kometarny meteoryt?

Naukowcy są pewni, że mamy meteoryty z Księżyca i Marsa, dlatego iż mogą porównać je z próbkami skał pochodzących z Księżyca (dostarczonych przez statki Apollo) i z pewnymi właściwościami, o których wiemy z sond lądujących na powierzchni Marsa. Niestety nasz stan wiedzy o kometach nie jest nawet w przybliżeniu równie dobry. Coś jednak o kometach wiemy.

Oprócz bolidów mamy trzy źródła informacji, jak wygląda materia w kometach. Jednym z nich są mikroskopijne cząstki pyłu międzyplanetarnego (IDP), które zebrano na wysoko latających samolotach NASA. Niektóre z nich są z pewnością pochodzenia kometarnego. Domyślenie się, które pochodzą z komet, a które z planetoid, nie jest łatwe, ale Don Brownlee i inni, którzy badali IDP, wierzą, że to potrafią. Drugim źródłem są teleskopowe obserwacje komet. Poza informacją, że jądra komet są niezwykle ciemne, obserwacje teleskopowe dostarczają informacji o cząsteczkach w gazie i mi-

nerałach w pyłe wyrzucanym przez aktywne komety. Trzecim źródłem są obserwacje ze statków kosmicznych. Obecnie najcenniejsze są obserwacje z europejskiej sondy Giotto, która przeleciała obok komety Halleya, ale wkrótce przewyższą je bardziej szczegółowe i liczniejsze wyniki obserwacji pyłu z komety Wild 2 przywiezionego niedawno przez sondę STARDUST. Korzystając z tych źródeł możemy przewidywać właściwości meteorytów kometarnych, jeśli takowe istnieją. Możemy spodziewać się, że meteoryty kometarne będą bardzo ciemne, ponieważ takie są wszystkie komety obserwowane czy to przez teleskopy czy przez sondy kosmiczne. Na podstawie obserwacji bolidów możemy oczekiwać, że te meteoryty będą kruche, porowate i o małej gęstości.

Możemy także zrobić pewne przewidywania dotyczące składu chemicznego. Średnia zawartość większości pierwiastków chemicznych w ziarnach pyłu z komety Halleya była zbliżona do ich zawartości w Słońcu i chondrytach CI, więc możemy oczekiwać, że takie meteoryty będą miały skład „słoneczny”. Były jednak także ziarna z dużą zawartością węgla, wodoru, tlenu i azotu, zgodne z obserwacjami teleskopowymi, więc możemy się spodziewać, że będzie ich dużo w meteorytach. Na podstawie „kometarnych” IDP możemy także spodziewać się, że kometarny meteoryt będzie zawierał dużo pyłu i ziaren międzygwiazdowych.

Możemy także spodziewać się, że kometarny meteoryt będzie bardzo niezrównoważony chemicznie. Pospolite pierwiastki żelazo i magnez spotykane są obficie w minerałach takich jak piroksen i oliwin. Zarówno w pyłe z komety Halleya jak i w „kometarnych” IDP te minerały mogą zawierać żelazo bez magnezu, magnez bez żelaza lub jakiegokolwiek pośrednie zawartości. Z drugiej strony w zrównoważonym chondrycie zwyczajnym lub w bazaltowym achondrycie stosunek tych dwóch pierwiastków będzie taki sam w każdym ziarnie danego meteorytu, ponieważ zawartość żelaza i magnezu osiąga równowagę podczas ogrzewania.

Na koniec, we wszystkich teleskopowych obserwacjach zrobionych dotychczas zidentyfikowano jedynie bezwodne minerały, czyli takie, które nie zawierają wody. Może wydawać się

dziwne, skoro kometa jest w połowie z lodu, że kamienne minerały nie zawierają wody, ale powód jest taki sam, jak tego, że meteoryty antarktyczne nie wietrzeją tak szybko, jak w innych częściach Ziemi. Nawet jeśli jest woda i kamień, to nie będą one reagowały chemicznie ze sobą, póki temperatura nie będzie dostatecznie wysoka, aby woda istniała w stanie ciekłym. Większość modeli komet twierdzi, że komety nigdy nie były dostatecznie ciepłe, by woda się stopiła, więc bezwodne minerały mają sens. Z drugiej strony niektóre modele przewidują, że wnętrza komety może ogrzać się, lub przyłączyć uwodnione minerały bezpośrednio podczas procesu formowania się. Ponieważ teleskopowe obserwacje obejmują tylko bardzo małe ziarna pyłu, być może są uwodnione minerały, które są za duże do zaobserwowania przez teleskop, albo może uwodnione minerały nie dają się tak łatwo wyrzucić z komety. Sytuacja jest podobna w przypadku IDP, a nawet dla próbek z sondy STARDUST.

Jedna rzecz, której nie wiemy o meteorytach kometarnych, to czy zawierają one chondry czy nie. Nikt nie wie, jak te tajemnicze, mikroskopijne kamienne kulki powstały, ale ponieważ musiały one być dostatecznie gorące, by się stopić (najbardziej prawdopodobny sposób, by powstała kulka), większość modeli powstawania chondr przewiduje, że tworzyły się one blisko Słońca, gdzie jest więcej ciepła i ruchu. Jeśli tak było, to komety, które formowały się w odległości dużych planet i dalej, prawdopodobnie nie zawierają chondr. Jest jednak jeden model formowania się chondr, model wiatru rentgenowskiego opracowany przez astrofizyka Franka Shu, który przewiduje, że wszystkie chondry utworzyły się bardzo blisko Słońca i zostały uniesione dalej przez „wiatr”. W takim przypadku komety także mogłyby mieć chondry. Dowody z kometarnych rojów meteorów (takich jak widowiskowe Leonidy) nie wskazują jednoznacznie, czy zawierają one chondry czy nie. Być może analiza pyłu zebranego przez sondę STARDUST da odpowiedź.

Jedna możliwość, której nie rozważaliśmy, to meteoryty zrobione z lodu. Kawałek brudnego lodu, który spadł z nieba wydawałby się oczywistym kandydatem, zwłaszcza gdyby zawierał w sobie materię znaną z meteory-

tów czy IDP. Nawet na Antarktydzie taki lód długo by nie przetrwał, ale gdyby został szybko znaleziony, można by go umieścić w zamrażarce i zachować. Niestety chociaż słyszeliśmy niejednokrotnie o kawałkach lodu spadających z nieba, i mówi się, że jeden czy dwa zanalizowano, nie zidentyfikowano jeszcze żadnego lodowego meteorytu. Wszystkie kawałki lodu spadły prawdopodobnie z samolotów [zob. artykuł Saula].

Czy są kometarne meteoryty

Skoro już wiemy, jak może wyglądać kometarny meteoryt, to czy są jakieś meteoryty w naszych zbiorach, które mogłyby rzeczywiście pochodzić z komet?

Żeby nie było wątpliwości, nie ma żadnego meteorytu, którego stosunki żelaza i magnezu mieściłyby się w przedziale albo ziaren z komety Halleya albo „kometarnych” IDP. Bazując tylko na tym kryterium moglibyśmy powiedzieć, że nie ma żadnego kometarnego meteorytu.

Gdy po raz pierwszy rozważaliśmy ten problem prawie 10 lat temu, stwierdziliśmy, że najlepszymi kandydatami mogłyby być niektóre okruchy w meteorycie Krymka, ważącym 50 kg nie zrównoważonym chondrycie LL, który spadł na Ukrainie w 1946 roku. Ukraińska uczona, V. P. Semenenko zauważyła sugestię i zajęła się szczegółowymi badaniami meteorytu Krymka i jego okruchów. Te ksenolity (wyraźnie nie utworzyły się one z resztą meteorytu, ale dołączyły się do niego w późniejszym czasie) są ciemne, kruche, bezwodne, zawierają dużo węgla i mają większy zakres stosunków żelaza do magnezu niż jakakolwiek inna część meteorytu. Jednak ich zakres stosunków żelaza do magnezu jest mniejszy niż pyłu Halleya czy IDP i mają one trochę chondr, chociaż chondry zdarzają się rzadko. Semenenko stwierdziła, że czymkolwiek jest ich ciało macierzyste, to nie mamy żadnych innych meteorytów pochodzących z niego, chociaż stwierdziła także, że nie wiemy dostatecznie dużo o kometach, by stwierdzić, czy fragmenty w Krymce są kometarne czy też nie. Zgadza się z nią.

Podobna sugestia dotyczy okruchu z węglem w chondrycie H Plainview. Alan Rubin wraz z innymi stwierdził, że pod względem składu okruch jest

podobny do reszty meteorytu z tą różnicą, że ma znacznie więcej węgla. Wobec braku innego prawdopodobnego źródła węgla zaproponowali oni, że okruch ten powstał wskutek uderzenia komety w macierzystą planetoidę chondrytu H. Oczywiście to nie jest to samo, co mieć w ręku kawałek komety.

Innym odwiecznym, ulubionym kandydatem są chondryty CI. Chociaż słynne, są to rzadko spotykane meteoryty; znanych jest tylko pięć i wszystkie są obserwowanymi spadkami. Podczas gdy liczba meteorytów innych typów znacznie wzrosła dzięki znaleziskom na Antarktydzie i na gorących pustyniach, nie znaleziono nigdzie ani jednego chondrytu CI. Już to sugeruje, że muszą one być fizycznie słabe. Potwierdza to ostatni spadek chondrytu CI w 1968 roku. Po ogromnym bolidzie, który był widziany w większej części zachodniej Kanady, i po szeroko zakrojonych poszukiwaniach znaleziono tylko jeden gram materii w ciemnej plamie na pokrytym śniegiem jeziorze koło Revelstoke w Kolumbii Brytyjskiej. Chociaż obliczenia wskazywały, że początkowa masa bolidu była tak duża, jak w przypadku meteorytu żelaznego Sikhote-Alin, to większość tej masy musiała po prostu się rozpaść. Wygląda to jak meteoryt kometarny. Najwidoczniej CI są po prostu zbyt kruche, by przetrwać na Antarktydzie czy na gorących pustyniach tak długo jak typowy meteoryt.

Ponadto jeśli posiadanie składu chemicznego zbliżonego do słonecznego i chondrytów CI jest cechą charakterystyczną kometarnych meteorytów, to która grupa byłaby lepsza niż same CI? No i meteoryty CI nie mają chondr.

Bardziej szczegółowo, Pascale Ehrenfreund, Oliver Botta i inni, pracując w laboratorium Jefrey Bada, stwierdzili, że typy i zawartości aminokwasów w chondrytach CI różnią się od tych znajdujących w innych typach chondrytów węglistych. Dowodzili oni, że te różnice oznaczają, że przy tworzeniu aminokwasów działały inne procesy, co oznacza, że CI pochodzą z ciała innego typu — z jakiejś komety.

W jednym z najbardziej bezpośrednich testów francuski naukowiec, Mathieu Gounelle, spróbował ostatnio, na podstawie relacji świadków spadku z 1864 r., policzyć orbitę, po jakiej poruszał się przed wejściem w atmosferę najbardziej znany CI, Orgueil. Gounelle

wyliczył, że Orgueil miał kometarną orbitę sięgającą dalej od Słońca niż orbita Jowisza.

Jest jednak kilka poważnych problemów z koncepcją CI jako kometarnych. Chociaż stosunek magnezu do żelaza w oliwinie i piroksenie jest bardziej zróżnicowany w CI niż w większości meteorytów, to nie ma takich różnic jak w pyłe komety Halleya czy w kometarnych IDP. Ponadto chociaż analiza Gounelle’a jest fascynująca i prawdopodobnie najlepsza, jaką można zrobić na podstawie dostępnych danych, to wniosek o zasięgu orbity zależy wyłącznie od oceny przez obserwatorów, jak długo widzieli oni bolid na niebie, a w połowie XX w. badacze doszli do wniosku na podstawie wielu podobnych badań, że obserwatorzy zwykle mylą się w ocenie czasu w taki sposób, że prowadzi to do zbyt wydłużonych orbit. Ponadto z obserwacji, że CI są wyjątkowo kruche i mają wyjątkowe aminokwasy, nie musi koniecznie wynikać, że są one kometarne. Chyba jednak najpoważniejszym problemem jest fakt, że CI są najbardziej uwodnionymi meteorytami, jakie mamy, co jest sprzeczne z jedną z postulowanych właściwości.

Jeśli badania sondy STARDUST lub przyszłe badania komet pokażą, że na kometach mogą być uwodnione minerały (a jest to jeden z tematów aktywnych badań), to CI staną się bezkonkurencyjnymi faworytami do tytułu kometarnych meteorytów. Albo może STARDUST pokaże nam, że jest jakaś inna diagnostyczna cecha materii kometarnej, o której nie wiemy. Do tego czasu jednak będziemy nadal szukać ciemnego, z dużą zawartością węgla, pozbawionego chondr, bezwodnego, niezrównoważonego meteorytu i interesować się okruchami w Krymce.

*E-mail: tswindle@u.arizona.edu
campins@phaser.physics.ucf.edu*

Tim Swindle jest profesorem nauk o planetach w Lunar and Planetary Laboratory Uniwersytetu Arizoańskiego. Bada on gazy szlachetne (takie jak argon i ksenon) w meteorytach i próbkach księżycowych, by określić ich wiek i historię.

Humberto Campins jest profesorem fizyki i astronomii na Uniwersytecie Środkowej Florydy. Bada on widma komet w podczerwieni, by określić ich skład chemiczny i pochodzenie.



Lodowe meteoryty: czy jest rozsądne ignorowanie anegdotycznych doniesień?

John Saul

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 12 No. 2. Copyright © 2006 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Raport Condon o *Naukowych badaniach niezidentyfikowanych obiektów latających* (1968) stwierdzał, że „lód spadł z bezchmurnego nieba” i sugerował, że takie „kawały lodu mogą powstawać wskutek elektrycznych efektów bolidów albo (co bardziej prawdopodobne) mogą być same meteorytami.” Wodny lód został później odkryty na Europie i w czapach biegunowych Marsa, a najnowsza publikacja na temat obiektu 2003EL61 z pasa Kuipera stwierdza, że „podobnie jak powierzchnie wielu ciał zewnętrznego Układu Słonecznego, powierzchnia 2003EL61 zawiera dużo krystalicznego, wodnego lodu.” (C. A. Trujillo, M. E. Brown, K. M. Barkume, E. L. Schaller, D. L. Rabinowitz, *Astronomical Journal* 2006) [Uwaga od redaktorów: wodny lód znaleziono na trzech z galileuszowych księżyców Jowisza i na wielu księżycach Saturna. Wodny lód wykryto także na kometach.]

Istnieje historyczna niechęć do przyznania, że są takie rzeczy jak „lodowe meteoryty”. Jeśli jednak połączyć obserwacje ciał Układu Słonecznego zrobione od czasu raportu Condon z mieszanką anegdotycznych doniesień spisanych poniżej, to wydaje się teraz, że rozsądniej jest założyć, że lodowe meteoryty istnieją niż że nie istnieją.

Poniższe doniesienia są cytowane bez żadnych zmian. Nie próbowano ich weryfikować. Nie uwzględniono relacji zawierających wzmianki o samolotach lub tornadach, ani licznych doniesień, które najprawdopodobniej opisywały wyjątkowy grad.

Ta lista nie jest wyczerpująca. Jej głównym celem jest zasygnalizowanie, że kwestia „lodowych meteorytów” zasługuje na poważne potraktowanie.

- 8 maja 1802 r., Węgry. Bryła lodu $3 \times 3 \times 2$ stopy spadła podczas burzy.

Źródło: Charles Fort *Księga rzeczy wyklętych* w *Księgi Charlesa Forta* (Henry Holt and Co., New York, 1941, polskie wydanie 1994 r.), cytat z C. Flammarion, *The Atmosphere*, str. 34. Uwaga: literatura podana przez Forta może być nieścisła.

- 12 maja 1811 r., hrabstwo Derby, Anglia. Spadły bryły lodu o obwodzie jednej stopy. Fort (1941), cytat z *Annual Register*, 1811:54.

- 7 czerwca 1811 r., „Birmingham”, spadek 6-calowej, sześcienniej bryły lodu. Fort (1941), cytat z Thompson, *Intro. To Meteorology*, str. 179.

- 24 lipca 1818 r., Orkney, spadek postrzępionych kawałków lodu z silnym odorem siarkowym. Fort (1941), cytat z *Trans. Roy. Soc. Edin.* 9:187.

- 1828, Candeish, Indie, bryła lodu o wielkości około jardu sześciennego. Fort (1941), cytat z *Rept. Brit. Assoc.*, 1851-32. Albo 1826 w Khandeish; zebrał William R. Corliss, Tornada, Ciemne Dni, *Anomalne opady i podobne zjawiska pogodowe: Katalog anomalii geofizycznych*, The Sourcebook Project, P.O. Box 107, Glen Arm MD 21057, USA (1983).

- 15 czerwca 1829 r., Cazorta, Hiszpania, blok ważący 4,5 funta. Fort (1941), cytat z Flammarion, *The Atmosphere*, str. 34.

- Październik 1844, Cette, Francja, blok lodu ważący 11 funtów. Fort (1941), cytat z Flammarion, *The Atmosphere*, str. 34.

- Sierpień 1849, Ord, Szkocja, bryła lodu o nieregularnym kształcie, o obwodzie około 20 stóp, jednorodna z wyjątkiem małej części, która wyglądała, jak zamrożone kulki gradu, spadła po „niezwykłym huku pioruna.” Fort (1941), cytat z *Edinburgh New Philosophical Magazine* 47-371, który cytuje *Advertiser-Scotsman*. Odnosnie

tego samego zjawiska Fort cytuje także relację w londyńskim *Times* z 14 sierpnia 1849 r., że w ślad za głośnym hukiem gromu poprzedniego wieczoru, bryła lodu mająca podobno 20 stóp obwodu, spadła na posiadłość Mr. Moffat of Balvullich, w hrabstwie Ross. Nie towarzyszył temu grad.

- 22 maja 1851 r., Bungalore, Indie, wielkości dyni. Fort (1941), cytat z *Rept. Brit. Assoc.*, 1855:35.

- 13 sierpnia 1851 r., New Hampshire, 1,5-funtowa bryła lodu. Fort (1941), cytat z Lummis, *Meteorology*, str. 129.

- Krótko przed 4 sierpnia 1857 r., Cricklewood, Anglia, blok „czystego” lodu ważący 25 funtów, znaleziono na łące następnego dnia po burzy. Fort (1941), cytat z londyńskiego *Times*, 4 sierpnia 1857.

- 16 marca 1860 r., Upper Wasdale, Anglia, podczas burzy śnieżnej spadły bloki lodu, które z daleka wyglądały jak owce. Fort (1941), cytat z londyńskiego *Times*, 7 kwietnia 1860.

- 3 maja 1877 r., Teksas, kawałki lodu o wielkości ręki mężczyzny zabiły tysiące owiec. Fort (1941), cytat z *Monthly Weather Review*, maj 1877 r.

- Czerwiec 1881 r., Iowa, bryła lodu o obwodzie 21 cali spadła z gradem. Fort (1941), cytat z *Monthly Weather Review*, czerwiec 1881 r. Uwaga: Ten fragment włączono, ponieważ sugeruje, że kamienie gradu mogą osiągnąć średnicę 17 cm. O kamieniu gradowym „wielkości piłki do siatkówki” składającym się ze zlepionych kryształów lodu, donoszono z Aurory w Newadzie w czerwcu 2003 r.

- Sierpień 1882 r., koło Salina, Kansas, bryła ważąca około 80 funtów. Fort (1941), cytat z *Scientific American*, 47:119 z powołaniem się na *Salina Journal*.

- 12 lipca 1883 r., Chicago, 2-funtowa bryła lodu wielkości cegły. Fort (1941), cyt. z *Monthly Weather Review*, lipiec 1883 r.
 - 6 grudnia 1893 r., Teksas, 4-funtowa bryła lodu. Fort (1941), cyt. z *Scientific American*, 68:58.
 - Sierpień 1897 r., Szkocja, po burzy z gradem normalnej wielkości znaleziono 50 kg bryłę lodu. Corliss (1983) GF1-X17.
 - 2 lipca 1908 r., Braemar, płaskie kawałki lodu spadły z czystego nieba. Fort (1941), cyt. z *Symons' Met. Mag.*, 43:154.
 - 11 września 1949 r., hrabstwo Stephens, Teksas, 40-funtowy kawał lodu ląduje 15 stóp od dr Roberta Bottsa. Corliss (1983) GF1-X18.
 - 10 listopada 1950 r., kanał Bristol, Anglia, 14-funtowy kawał lodu zabija owcę; w pobliżu znaleziono inne kawałki lodu. Corliss (1983) GF1-X19.
 - 24 listopada 1950 r., Londyn, lód o wielkości stopy sześcienniej przebija dach garażu. Corliss (1983) GF1-X20.
 - 30 listopada 1950 r., Hampstead Norris, Anglia, blok lodu 15x7x4 cali spada do ogrodu. Corliss (1983) GF1-X21.
 - 26 grudnia 1950 r., Dumbarton, Szkocja, ponad 100 funtów fragmentów z bryły lodu, która spadła na szosę i roztrzaskała się. Corliss (1983) GF1-X22.
 - 1951 r., Kempton, Niemcy, cieśla na dachu zabity przez spadający lód o wymiarach 6x0,5x0,5 stopy. Corliss (1983) GF1-X23.
 - 4 czerwca 1953 r., Long Beach, Kalifornia, spadło 50 brył lodu ważących do 75 kg; łączna waga 1 tona. Corliss (1983) GF1-X24.
 - Styczeń 1955 r., Los Angeles, spadek kawałków lodu od 6 do 26 funtów. Corliss (1983) GF1-X25.
 - 30 lipca 1957 r., Reading, Pennsylvania, spadek lodu o średnicy 2 stóp. Corliss (1983) GF1-X26.
 - 26 stycznia 1958 r., San Rafael, Kalifornia, płyta lodu spada przez dach. Corliss (1983) GF1-X27.
 - 8 września 1958 r., Chester, Pennsylvania, lód przebija dach magazynu. Corliss (1983) GF1-X28.
 - 1959 r., Tocca, Georgia, spadek 30-funtowego kawału lodu. Corliss (1983) GF1-X29.
 - 11 września 1959 r., Buffalo, Nowy Jork, spada 1-stopowy kawałek lodu. Corliss (1983) GF1-X30.
 - Grudzień 1959 r., Londyn, dom uszkodzony przez kawał lodu wielkości piłki do koszykówki. Corliss (1983) GF1-X31.
 - 16 października 1960 r., Melbourne, dwie bryły lodu wielkości piłki. Corliss (1983) GF1-X32.
 - Luty 1965 r., Woods Cross, Utah, 50-funtowa bryła lodu przebija dach zakładów Phillips Petroleum. Corliss (1983) GF1-X33.
 - Luty 1965 r., Aptos, Kalifornia, spadek kawałka lodu o długości stopy. Corliss (1983) GF1-X34.
 - 5 lutego 1968 r., Washington D.C., kawałek lodu 7–8 cali spadł przez zasłone. Corliss (1983) GF1-X35.
 - 22 lub 23 lutego 1969 r., Bracknell, Anglia, bryła lodu przebija dach zaparkowanej ciężarówki. Corliss (1983) GF1-X36.
 - 16 sierpnia 1970 r., Londyn, lód przebija dach. Corliss (1983) GF1-X37.
 - 10 kwietnia 1971 r., Tampico, Meksyk, 200-funtowa bryła lodu przebiła dach i podłogę ósmego piętra, czemu towarzyszył hałas i efekty świetlne. Źródło: *INFO Journal*, Vol. II No.4, No.8 (zima–wiosna 1972) str. 19-20, cyt. z *La Vanguardia Espanola*, Barcelona (11 kwietnia 1971 r.) Ta relacja wspomina „długi artykuł... w INFO, Vol. I, No. 3 zawierający wiele relacji naocznych świadków.”
 - 1971 r. (?), Brack, Syberia, spadek lodu większego od piłki. *INFO Journal*, to samo źródło, co poprzednio, ale cytujące *La Vanguardia Espanola* z 17 kwietnia 1971 r.
 - 23 stycznia 1972 r., Surrey, spadek 4-stopowego, kwadratowego bloku lodu. Corliss (1983) GF1-X39.
 - 24 maja 1972 r., Riverside, Kalifornia, 30–50-funtowy kawał lodu wbija się w biurowiec powodując szkody wartości setek tysięcy dolarów. Zarząd federalnego lotnictwa twierdzi, że nie wie o samolotach w tym rejonie. Corliss (1983) GF1-X40.
 - 9 stycznia 1973 r., West Wickham, Anglia, dom uszkodzony przez 10-funtowy blok lodu. Corliss (1983) GF1-X41.
 - 22 września 1973 r., Wombwell, Anglia, lód przebija dach; jeden fragment waży 6 funtów. Corliss (1983) GF1-X43.
 - 24 stycznia 1975 r., Londyn, 50-funtowy blok lodu spada na budynek mieszkalny. Corliss (1983) GF1-X46.
 - 2 stycznia 1977 r., Middlesex, lód
- ważący ponad 100 funtów przebija dach. Corliss (1983) GF1-X48.
- 1978 r. (?), Arvada, Colorado, dwa kawałki lodu o łącznej wadze 100 funtów. Hal R. Aldrich, *INFO Journal*, Vol. VII, No. 1, komplet No. 29 (maj–czerwiec 1978) str. 8-9, cyt. relację AP w wycinku bez daty z Tacoma, Washington, *News Tribune*.
 - 15 maja 1978 r., koło Harrison, Louisiana, brak wiatru, jedna mała chmurka; świadkowie mówili o spadku, który nie wyglądał jak normalny grad, bardziej jak bloki lodu, niektóre płaskie, niektóre podłużne. Wgniecioną górą ciężarówką. „Całkiem dobry trzask pioruna”, potem lód, potem ulewny deszcz. Źródło to samo, co poprzednio, cyt. Lafayette, L.A., *Advertiser* 5/19/78.
 - 1 maja 1979 r., Forked River, New Jersey, kawałki wielkości grejpfruta na pół twardego lodu i zbitego śniegu spadły na powierzchnię o średnicy 25 stóp poprzedzone świszczącym dźwiękiem na niebie. Corliss (1983) GF1-X49.
 - Marzec 1982 r., Tecumseh, Oklahoma, bryła lodu oceniana na 30 funtów; „nie grad”. Corliss (1983) GF1-X50.
 - 11 kwietnia 1983 r., Wuxi, Chiny, 50 kg blok mlecznobiałego lub szarego lodu spadł na oczach przechodniów i roztrzaskał się na chodniku. Wm. Corliss cyt. Chen Wei, *Journal of Meteorology*, U.K. 8:188 (1983).
 - 26 czerwca 1985 r., Hartford, Connecticut. Spadek 1500-funtowej płyty lodu, która omal nie trafiła dwóch nastolatków. Wm. Corliss, Sourcebook Project's Calendar June 26, 1998, ref.1:273.
 - Wieczór, 27 stycznia 2006 r., wieś Katnabil, okręg Burdwan, Zachodni Bengal, „ogromny kawał lodu” spada podczas ładnej pogody pozostawiając „krater o głębokości około stopy”. [Http://www.newindpress.com/Newsitems](http://www.newindpress.com/Newsitems)
 - [Dodane przez redaktora przy składaniu: 27 lutego 2006 r., „Kawałek nieba spada na dom Hegewischa. Gdy bryła spada, człowiek ogląda „Egzorcystę”. NBC 5 News (Chicago). [Http://www.nbc5.com/news/7517881/detail.html](http://www.nbc5.com/news/7517881/detail.html)]
- E-mail: john.saul@wanadoo.fr
 John Saul jest prywatnym geologiem specjalizującym się w tworzeniu się złóż kolorowych kamieni szlachetnych.

Monachijskie targi 2005 – bawarskie gwiazdy i stoiska

Norbert Classen

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 12 No. 2. Copyright © 2006 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Gdy wstałem rano w piątek, 28 października 2005, było jeszcze ciemno. Po krótkim prysznicu i skromnym śniadaniu czekała mnie pięciogodzinna jazda pociągiem do Monachium i czterdzieste drugie Dni Mineralów, jedne z największych targów minerałów w Europie. Oczywiście monachijskie targi są także jednymi z tych rzadkich wydarzeń, które przyciągają miłośników meteorytów wszelkiej maści — kolekcjonerów, dealerów, poszukiwaczy i naukowców — z całego świata. Jest to miejsce, gdzie można zdobyć nowe okazy do kolekcji, spotkać starych i nowych przyjaciół i podyskutować na ulubione tematy. Czekając na to miałem wrażenie, że podróż trwa wieki.

Gdy dotarłem w końcu na dworzec główny w Monachium, musiałem prześiać się do metra i jechać jeszcze pół godziny do hotelu, a potem na targi. Wchodząc do hali byłem bardzo zadowolony, że nie muszę stać w kolejce do jednej z kas; jako korespondent *Meteorite* otrzymałem bilety i katalog kilka tygodni wcześniej. Teraz musiałem tylko utorować sobie drogę przez zatłoczone dwie pierwsze hale, by dojść do trzeciej i ostatniej, w której miała stoiska większość poszukiwaczy i sprzedawców meteorytów.

Po drodze rozglądałem się poszukując znajomych twarzy i wkrótce wyjrzałem starego przyjaciela kolekcjonera, Christiana Angera z Austrii. Christian przyjechał poprzedniego dnia i zasypał mnie nowinami: kto z dealerów przyjechał, kogo w tym roku nie ma i kogo z meteoryciarzy już spotkał. Przypomni mi, że o drugiej po południu będzie spotkanie kolekcjonerów przy stoisku Ericha Haiderera, ale ponieważ mieliśmy jeszcze ponad godzinę, było dość czasu, by pójść do stoiska Deana Besseya i obejrzeć tonę niesklasyfikowanych meteorytów NWA, które przywiózł on na targi.

Niedoceniane pustynne sieroty Deana...

To było niebo dla poszukiwaczy skarbów i koszmar dla systematycznych kolekcjonerów. Na półkach rozrzucone były dosłownie tysiące fragmentów bezimiennych meteorytów NWA, przeważnie mocno zwietrzałych, wyglądających tak, jak w momencie znalezienia.

Kilkunastu znajomych i nieznanym klientom poszturczywało te ciemne, zakurzone sieroty magnesami, by sprawdzić ich przyciąganie, bo inaczej niż w przypadku ludzkich sierot, nawet słabe przyciąganie obiecuje nowy dom i uwagę potencjalnego kupca. Ktoś odwrócił się, pokazał mi jeden z tych biednych kamieni i nawet nie zaczynając od „hello” pośpiesznie zapytał „jak myślisz, czy to zwyczajny chondryt LL, czy też może to być zwietrzały eukryt?” Jednocześnie inny miłośnik wręczył mi ciemny fragment i lupę mamrocząc „Może to być chondryt węglisty?”

Gdy próbowałem się zastanowić, Dean wyciągnął jeszcze jedną skrzyn-

kę bezdomnych kawałków meteorytów. Zanim zdołał je powyjmować, już kilka par pożądliwych rąk zaczęło wyciągać i obracać meteoryty oglądając dokładnie każdy kamień. Przyszła mi na myśl stara piosenka Meat Loaf napisana przez Jima Steinmana. „Wiem, że szukasz rubinu w górze kamieni, ale na dnie skrzynki Cracker Jacka nie kryje się żaden Coupe de Ville.”

Skrzynki Deana zostały przebrane wcześniej już kilkanaście razy i szanse znalezienia w nich czegoś rzadkiego były mniej niż nikle. Te fragmenty meteorytów były biednymi resztkami po gorączce NWA, sierotami, na które nikt nie zwraca uwagi, zwietrzałymi i zardzewiałymi, a większość z nich na zawsze miała pozostać niesklasyfikowana i bezimienna.

...i opustoszałe marokańskie bazy

Z mieszanymi uczuciami opuściłem stoisko Deana Besseya i poszedłem do Marokańczyków. Kilka lat temu były to miejsca, gdzie można było zrobić dobry interes. W szczytowym okresie



Fot. 1. Wesole grono kolekcjonerów meteorytów (od lewej do prawej): Marcin Cimala, Stefan Ralew, Martin Altmann, Andreas Gren, Razvan Andrej, Norbert Classen, Hanno Strufe, Christian Anger, Harald Stehlik, Norbert Kammel, Erwin Obermaier i Herbert Raab. Fot. Hanno Strufe.

gorączki NWA wydawało się, że podaż nowych pustynnych znalezisk, często rzadkich typów i zaskakująco świeżych, nigdy się nie skończy. Jednak już w zeszłym roku nastąpiło wyraźne zmniejszenie do zaledwie 10% tego, co oferowano wcześniej. Teraz, w 2005 roku, Marokańczycy oferowali jeszcze mniej meteorytów, co wyraźnie wskazuje, że gorączka się zakończyła i źródła wysychają.

Zauważyłem tylko kilka skrzynek z dość świeżymi chondrytami oferowanymi po cenach znacznie wyższych niż w poprzednich latach. Rzadkich typów praktycznie nie było z wyjątkiem kilku meteorytów żelaznych, mezosyderytów i umiarkowanie zwietrzałych eukrytów pochodzących prawdopodobnie ze wspólnego spadku z polimiktycznym eukrytem lub howardytem, który sprzedawano pod kilkoma nazwami NWA przez ostatnie dwa lata. Nie było nic godnego uwagi i nic naprawdę nowego. Nawet NWA 869, jeden z najbardziej znanych i najczęściej oferowanych chondrytów NWA w ciągu ostatnich kilku lat, nagle okazał się trudny do zdobycia. Wygląda na to, że większość marokańskich dealerów z powrotem przerzuciła się na to, co zawsze oferowali, czyli skamieniałości, artefakty i rzadkie minerały.

Wesołe grono kolekcjonerów i nowy bencubbinit

Była już druga i trzeba było pędzić na spotkanie kolekcjonerów przy stoisku Ericha Haiderera. Przywitało mnie wesołe grono kolekcjonerów meteorytów takich jak Marcin Cimała z Polski,



Fot. 3. Hans Koser, zawsze uśmiechnięty król Campo, z bogatą ofertą południowoamerykańskich meteorytów żelaznych. Fot. Peter Marmet.

Razvan Andrej z Rumunii, Stefan Ralew, Andi Gren, Martin Altmann i Hanno Strufe z Niemiec, Erich i Sylvia Haiderer, Christian Anger, Harald Stehlik i Herbert Raab z Austrii. Zaraz po moim przybyciu dołączył uśmiechnięty Al Lang w towarzystwie żony Iris i Norbert Kammel z Australii. Z Norbertem Kammelem wymieniałem emaile i meteoryty od kilku lat i było miło spotkać po raz pierwszy mojego imienika osobiście.

Po wymianie pozdrowień i uścisków przyszła pora na tradycyjną sesję zdjęciową. Aparaty cyfrowe, które głównie służyły do robienia zdjęć meteorytów, wędrowały z rąk do rąk, by zrobić grupowe zdjęcia i każdy chętnie pozował z przyjaciółmi i kolegami. Potem przyszła pora na ostateczne uzgodnienia co do tegorocznego meteorytowego przyjęcia w Fliegerbräu w sąsiedniej wsi

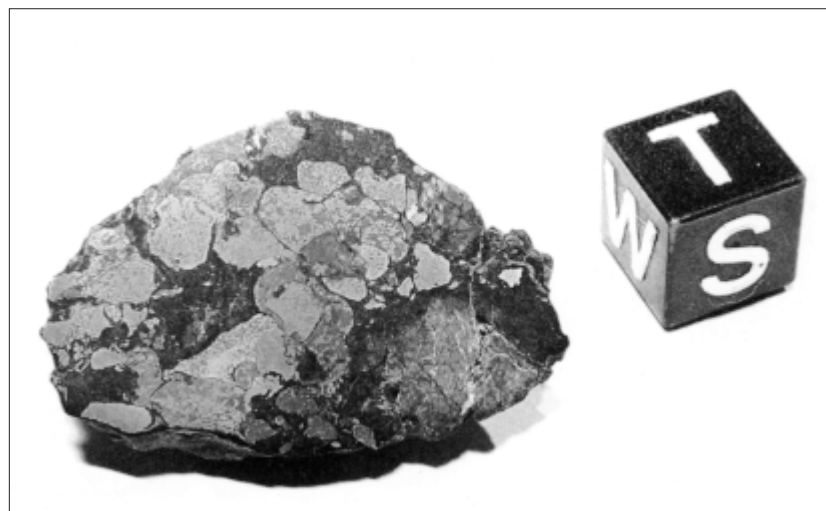
Feldkirchen. Tym, których nie było w zeszłym roku, Martin Altmann wręczył mapy i umówiliśmy się na spotkanie o siódmej wieczorem.

Podczas dalszej rozmowy niektórzy kolekcjonerzy zaczęli pokazywać swoje nowe nabytki takie jak orientowane chondryty, rzadkie, historyczne okazy czy mały okaz Sikhote-Alina z ładnym dołkiem uderzeniowym. Jednocześnie Hanno Strufe wyciągnął pudełko z różnymi okazami nowego bencubbinitu, które kupił kilka miesięcy wcześniej. Właśnie uzyskał wstępną klasyfikację z laboratorium w Berlinie i numer NWA dla swego wspaniałego znaleziska.

Nowy bencubbinit Hanno, NWA 4025, składa się z 69 małych fragmentów o łącznej wadze 745 gramów. Jego struktura przypomina prototypowy bencubbinit czyli Bencubbin, ale ma on też wiele cech jedyne obserwowanego spadku z tej niezwyklej grupy chondrytów węglistych, Gujby. Do dziś znanych jest tylko dziewięć bencubbinitów: Bencubbin, Weatherford, Isheyevo, NWA 1814, Fountain Hills, HaH 237, QUE 94411, Gujba i ten najnowszy NWA 4025, co pokazuje, jak bardzo rzadkie są te meteoryty. Wszyscy gratulowaliśmy Hanno tego wspaniałego znaleziska, prawdziwej ozdoby tych targów, chociaż, a może właśnie dlatego, że tego meteorytu nie było widać na stołach dealerów.

Precle, piwo i kawałek Księżycy

Czułem głód i pragnienie, więc w towarzystwie Andreasa Grena i Martina Altmanna poszedłem do jednego z ba-



Fot. 2. Ważaca 11,09 g trawiona piętka nowego bencubbinitu Hanno Strufe, NWA 4025. To fantastyczne, nowe znalezisko składa się z 69 małych fragmentów o łącznej wadze 745 gramów. Fot. Hanno Strufe.

rów znajdujących się na hali. Poprosiliśmy o tradycyjne bawarskie precele i piwo i dyskutowaliśmy o meteoroidach i obecnych tendencjach na meteoroidalnym rynku. I Andi i Martin narzekali na słaby niemiecki rynek i nastawienie przeciętnego niemieckiego klienta, który obecnie stosuje się do popularnego sloganu reklamowego „Geiz is geil”, co znaczy „skąpstwo jest modne”. Z tego samego powodu tacy dealerzy jak Sigi Haberer, Stefan Ralew i Christian Stehlin nie przyjechali w tym roku na targi, albo nie mieli stoisk. W poprzednim roku sprzedaż nie pokryła nawet opłat za stoisko nie mówiąc już o własnych kosztach.

Przypomniało mi to, że nie byłem tu tylko jako korespondent *Meteorite*, ale także jako kolekcjoner i klient, a jak dotąd nie wydałem nawet centa na meteoroidy. Pora aby to zmienić! W zeszłym roku miałem zamiar kupić próbkę dotąd nie opublikowanego bazaltu z księżycowego morza od Zdenka Prokopca, czeskiego poszukiwacza meteoroidów, który znalazł także księżycową brekcję anortozytową NEA 001. Wtedy jednak stanął mi na drodze nowy chassignit Bruno Fectaya, NWA 2737, który ogłosił mój budżet, więc z „nowego” księżycowego meteoroidu Zdenka musiałem zrezygnować.

W rzeczywistości nowy bazalt z morza Zdenka nie jest naprawdę nowy. Zdenek znalazł go w regionie Wadi Zamzam, w Libii, w 2000 roku, dwa lata przed znalezieniem NEA 001, ale kilka lat zajęło mu zorganizowanie przebadania tego meteoroidu i przygotowanie do opublikowania. Sklasyfikował go Jakub Haloda z Uniwersytetu Karola w Pradze i będzie on przesłany do komisji nazewnictwa Meteoritical Society z proponowaną nazwą „Al-Qaryah Ash Sahrqiyah” lub w skrócie „AQAS”. Jest to gruboziarnisty bazalt z morza z przylegającą bazaltową brekcją i składa się z dwóch małych kamieni o łącznej wadze tylko 124 gramy. Niewiele, by mogło starczyć dla wszystkich.

Konieczność musiałem dodać reprezentatywną próbkę tego nowego lunaitu do mojej kolekcji meteoroidów planetarnych, więc spytałem Martina Altmanna, czy już widział Zdenka na tegorocznych targach i czy nie wie, czy przywiózł on próbki swego bazaltu z morza księżycowego. Martin potwierdził, że Zdenek jest i zgodził się towa-

rzyszyć mi do jego stoiska, by rzucić okiem na jego lunaity i inne rzadkie okazy. To niewiarygodne, ale prawdziwe — w swej karierze poszukiwacza meteoroidów Zdenek znalazł więcej rzadkich achondrytów niż chondrytów zwyczajnych, co z pewnością jest problemem dla wszystkich statystyk znalezisk meteoroidów i kpina z naszego zdrowego rozsądku.

Gdy przybyliśmy do stoiska Zdenka, ucieszyłem się, że pamięta mnie i naszą rozmowę w 2004 roku. Zaraz wyciągnął trochę wspaniałych okazów takich jak duża, kompletna płytka NEA 001, ale mój wzrok przyciągały dwa ładne okazy AQAS, tego bazaltu z morza. Po krótkim targowaniu się Zdenek

i Achim mieli jedno z najlepszych stoisk i niesamowity wybór rarytasów, historycznych okazów i fantastycznych meteoroidów żelaznych. Specjalnością tego roku było trochę rzadkich, australijskich meteoroidów żelaznych, takich jak Redfields, Mount Magnet, Warburton Range, Wonyulgunna i jeszcze kilka trudnych do wymówienia miejscowości.

Potem złożyłem wizytę Hansowi Koserowi, zawsze uśmiechniętemu królowi Campo. Jak zawsze Hans miał największy wybór umiarkowanie zwierzęcych okazów meteoroidu żelaznego Campo del Cielo po rozsądnych cenach, najróżniejszej wielkości i w najrozmaitszych kształtach. Na koniec zatrzyma-



Fot. 4. Wążąca 88 kg tarcza Gibeona Karla Spricha; okaz z pięknymi regmagliptami, przecięty długim, nieregularnym rowkiem. Czy jacyś krajowcy próbowali przeciąć tę bryłę w prehistorycznych czasach? Fot. Hanno Strufe.

dał mi propozycję nie do odrzucenia, więc wybrałem pięknie wypolerowaną piątkę AQAS, wążącą 2,18 g, z widocznymi obiema głównymi strukturami: czystym bazaltem i bazaltową brekcją. Nie była tania, ale dla mnie to był zakup dnia.

Jeszcze parę stoisk i słynne przyjęcie meteoroidowe

Pożegnałem Martina i Zdenka i poszedłem obejrzeć jeszcze kilka stoisk meteoroidalnych dealerów. Najpierw odwiedziłem moich starych przyjaciół Bruno i Carine, gdzie ślinka mi ciekła na widok ich bogatej oferty planetarnych okazów, rzadkich typów i trudnych do zdobycia historycznych spadków. Potem zatrzymałem się przy stoisku Karlów i, jak zawsze, Moritz

łem się przy stoisku Norberta i Heike Kammelów i podziwiałem ich bogatą ofertę wspaniałych okazów eukrytu Millbillillie i innych australijskich meteoroidów. Ich ceny były bardzo przystępne, ale w końcu nie chciałem wydawać więcej pieniędzy na meteoroidy i zamiast nich poprosiłem o dwa ładne, wyraziste opale dla mojej żony, co jak się przekonałem zaraz po targach, było mądrą decyzją.

Czas płynął szybko. Była najwyższa pora, by wrócić do hotelu i przygotować się do wieczornego spotkania. W hotelowym pokoju zrobiłem trochę notatek, odpocząłem parę minut, ubrałem się wieczorowo i zamówiłem takśówkę do Fliegerbräu, starego browaru i restauracji w wiosce Feldkirchen. Dawniej w Feldkirchen znajdował się

znany port lotniczy Riem łączący Monachium ze światem i w Fliegerbräu gromadzili się zwykle piloci i lotnicy, więc było to odpowiednie miejsce dla dorocznego przyjęcia meteorytowego.

Gdy przybyłem, przywitało mnie wiele znajomych twarzy, zbyt wiele, by wszystkich wymienić. Myślę, że było tam około sześćdziesięciu osób: poszukiwaczy meteorytów, dealerów i kolekcjonerów, początkujących i zaawansowanych miłośników meteorytów i tych najbardziej znanych. Zająłem miejsce przy jednym z długich stołów. Z lewej strony miałem polską ekipę, reprezentowaną przez eksperta od meteorytów żelaznych Andrzeja Pilskiego (ciekawe, dałbym głowę, że mnie tam nie było. Mam nadzieję, że pozostałe informacje autora są bliższe prawdy — przyp. tłum.), Marcina Cimałę i Stanisława Jachymka (znalazcę achondrytu Zakłodzie), oraz Heike i Norberta Kammela z Australii. Z prawej siedzieli Hanno Strufe, Olaf Gabel, Svend Buhl i Manfred Dannapfel z Niemiec, a po przeciwnej stronie stołu Harald Stehlik i Christian Anger z Austrii oraz Razvan Andrej z Rumunii.

Przy sąsiednim stole byli Ali i Mohammed Hmani, Terry Boswell, Dean Bessey z mamą i prawdziwy E.T., Edwin Thompson.. Przyłączyli się też Jan i Yvonne Bartels z Holandii i szwajcarska grupa czyli Peter Marmet i Marc Jost (znalazca znanego meteorytu żelaznego Twannberg II). Był też oczywiście pierwszy monachijski dealer meteorytowy, Martin Altmann, który zajmował się rezerwacją miejsc i organizowaniem przyjęcia, i podobnie jak przed rokiem wykonał znakomitą robotę.

Przy smacznych bawarskich daniach i galonach piwa dyskutowaliśmy ze starymi przyjaciółmi, zawieraliśmy nowe znajomości i oczywiście pokazywaliśmy sobie najnowsze nabytki. Dokonywano wymian, oglądano niesklasyfikowane meteoryty kamienne, krążyły opowieści o odnajdywaniu meteorytów i wszyscy mieliśmy mnóstwo zabawy. Wraz z Christianem Angerem chodziliśmy od stołu do stołu zwracając się do członków IMCA i przypominając im, że pierwsze publiczne wybory mają się skończyć właśnie w ten weekend. W sumie był to wspaniały wieczór i jestem całkiem pewien, że będzie kolejne znakomite przyjęcie meteorytowe w Fliegerbräu w 2006 roku. Serdecz-

nie zapraszamy, by przyłączyć się do nas w tym roku.

Powrót bohatera i dwa nowe planetarne meteoryty

Następnego ranka wstałem późno i na targi przybyłem około jedenastej. Spotkałem Petera Marmeta i zjadłem z nim śniadanie w jednej z restauracyjek. Ponieważ Peter przyjechał kilka godzin wcześniej, spytałem, czy widział już Mike Farmera. Mike miał przyjechać tego ranka z Maroka i czekałem niecierpliwie, by spotkać się z nim i kupić fragment dość szczególnego achondrytu — płytkę NWA 2910, najbardziej zszokowanego i przetopionego uderzeniowo eukrytu, jaki kiedykolwiek widziałem. Miałem także duże nadzieje, że Mike może przywieźć ze swej wyprawy do Maroka nowy planetarny meteoryt. W 2004 roku przyjechał z nowym marsjańskim meteorytem NWA 2626, całkowitym okazem ważącym 31 g, który kupił w Maroku zaledwie kilka dni przed targami.

Peter nie widział jeszcze Mike'a, ale był pewien, że wkrótce on się pojawi. Powiedział mi także, że widział ogromny okaz Gibeona na stoisku dealera z Afryki Południowej w drugiej hali, który koniecznie powinienem zobaczyć. Po śniadaniu poszedłem więc zobaczyć tego Gibeona i rzeczywiście wyglądał imponująco. Ważył 88 kg, miał kształt tarczy z licznymi regmagliptami i dziwną rzeczą: był przecięty głębokim, nieregularnym rowkiem.

Byłem ciekaw, czy jest to naturalny twór. Właściciel tego niezwykłego okazu, Karl Sprich, południowoafrykański gentleman niemieckiego pochodzenia, przerwał moje rozmyślenia i powiedział, że otrzymał tę bryłę już w takim kształcie i może sobie tylko wyobrazać, że jacyś tubylcy mogli w prehistorycznych czasach próbować przeciąć ten okaz.

Zaraz potem napotkałem przypadkowo Mike Farmera rozmawiającego z amerykańskimi przyjaciółmi. Mike przywitał mnie szerokim uśmiechem i wręczył zarezerwowaną płytkę NWA 2910. Był to wspaniały okaz, pełny przekrój składający się w połowie z czarnego stopu pozderzeniowego i w połowie z brekcji eukrytowej o wyglądzie kumulatu. Sfinalizowaliśmy transakcję, a potem Mike poprosił, by wyjść z nim poza halę. Chciał mi pokazać coś szczególnego, co właśnie przywiózł z Maroka, coś co należy oglądać przy słonecznym świetle.

Z uśmiechu Mike'a mogłem się tylko domyślać, że znów musiał znaleźć coś niezwykłego. Najpierw wręczył mi ważący 233 g kamień, który na pewno wyglądał na planetarny. Jedną stronę pokrywała świeża skorupa obtopienio-wa, która bardzo przypominała mi Zagami, a z drugiej strony było widać świeże, zielonkawo-szare bazaltowe wnętrza poprzecinane szklistymi żyłkami szokowymi. Podobnie jak Mike i parę innych osób, które oglądały ten kamień na targach, byłem gotów założyć się, że jest to nowy marsjański shergottyt,



Fot. 5. Prawdziwe чудо, które koniecznie trzeba zobaczyć: nieprawdopodobnie świeży shergottyt bazaltowy NWA 2975 Mike Farmera, oryginalny kamień z Czerwonej Planety. Fot. Geoffrey Notkin.

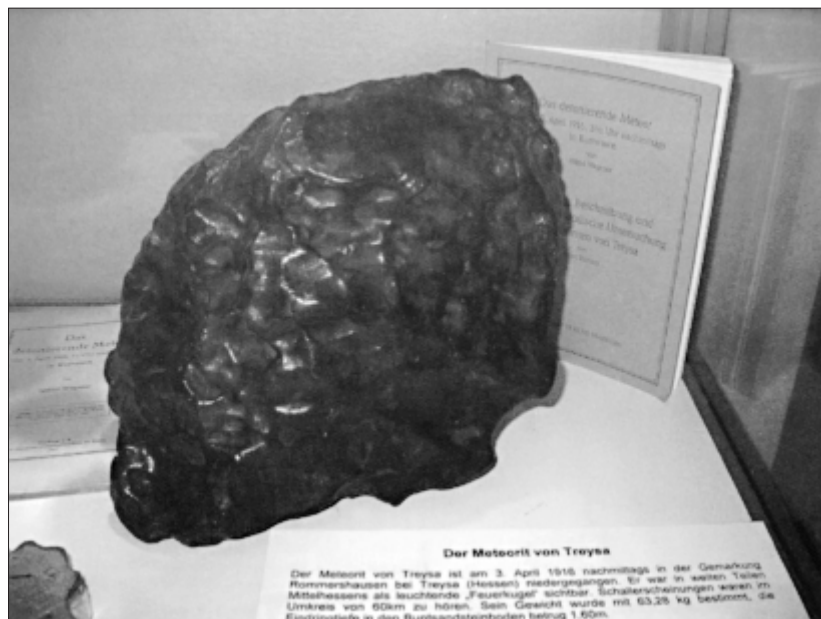
ale późniejsze badania, które przeprowadził Ted Bunch, pokazały, że pochodzi on z Księżyca.

NWA 2977 (tymczasowe oznaczenie tego nowego planetarnego meteorytu) jest księżycowym gabrem, które zawiera dwa rodzaje piroksenu, oliwin, plagioklaz przeobrażony szokowo w maskelinit i parę podrzędnych minerałów poza dużą liczbą magmowych inkluzji i fragmentów stopu pozderzeniowego. Według Teda Buncha, ta kumulatowa skała księżycowa prawdopodobnie powstała na księżycowych wyżynach w grubej pokrywie lawy, albo w płytkiej intruzji w skorupie wyżyn. Po uformowaniu gabro było umiarkowanie zszokowane przez silne uderzenie i wyrzucone w kosmos, by wylądować na Ziemi.

Jakby tego było mało, Mike wyciągnął i podał mi jeszcze jeden kamień. Ten ważący 70,1 g, prawie całkowicie pokryty skorupą kamień, to było prawdziwe чудо, które koniecznie trzeba było zobaczyć. Cienka skorupa obtopieniowa była lśniąca i pomarszczona, były na niej wspaniałe zakrzepłe strużki i nie było widać oznak wietrzenia. W paru miejscach było widać średnioziarniste, bazaltowe wnętrza z przezroczystymi kryształami, które od razu przypominały mi shergottyt Los Angeles. Byłem pewien, że patrzę na nowy marsjański kamień, prawdopodobnie jeden z najpiękniejszych, jakie istnieją.

Późniejsze badania Teda Buncha i Tony Irvinga potwierdziły pierwsze podejrzenia. NWA 2975 (tymczasowa nazwa) należy do bazaltowych shergottytów, co widać po obecności piroksenu wapniowego (augitu), piroksenu z małą zawartością wapnia (pigeonitu), dużej zawartości plagioklazu (w postaci maskelinitu utworzonego wskutek zmian szokowych) i podrzędnych ilości fosforanów i tlenków żelaza i tytanu. Zdaniem Teda Buncha NWA 2975 jest prawdopodobnie najbardziej świeży ze wszystkich marsjańskich znalezisk i pod względem świeżości jest bardzo bliski obserwowanym spadkom takim jak Zagami. Co za znalezisko!

Wkrótce zebrała się wokół nas nie-duża grupka zaciekawionych miłośników meteorytów i słychać było „ach” i „och” od każdego, kto oglądał jeden z nowych meteorytów planetarnych Mike’a. Po NWA 2626 na targach monachijskich w 2004 roku Mike pobił swój własny rekord przywożąc dwa



Fot. 6. Główna masa meteorytu żelaznego Treysa z pięknymi regmagliptami. Meteoryt ten spadł 3 kwietnia 1916 roku i jest jednym z nielicznych obserwowanych spadków meteorytów w Niemczech. Fot. Peter Marmet.

nowe okazy planetarne, jeden piękniejszy od drugiego. Oczywiście od razu zarezerwowałem u Mike’a okazy do mojego zbioru i pogratulowałem mu fantastycznych nowych znalezisk.

Angryty, agaty i historyczny deser

Po tej wyjątkowej uczcie potrzebo-wałem chwili oddechu i postanowiłem wrócić na hale poszukać trochę odpężenia. Przy stoisku Bruna i Carine wpadłem na starego przyjaciela i nauczyciela, dr Jürgena Otto, emerytowanego petrologa i meteorytyka z uniwersytetu we Freiburgu. Rozmawialiśmy o tym, co dotychczas widzieliśmy i dr Otto radził mi odwiedzić stoisko Alego Hmani, by obejrzeć jego angryty. Jego propozycja brzmiała zachęcająco i dziwiłem się, dlaczego wcześniej nie zatrzymałem się przy stoisku Alego.

Po drodze wpadłem na samego Boba Haaga. Kupił on właśnie świeży, orientowany okaz eukrytu o jakiegoś marokańskiego dealera i z dumą prezentował swą zdobycz. Spytałem Boba, czy chciałby iść ze mną obejrzeć angryty i chętnie się zgodził. Gdy przyszlismy, Ali przywitał nas uśmiechem i chętnie wręczył główną masę swego, ważącego 810 g angrytu, NWA 1296.

Obaj byliśmy bardzo zdziwieni brakiem widocznej struktury wnętrza NWA 1296. Ten szaro-czarny kamień jest tak drobnoziarnisty, że nie da się rozpoznać żadnej struktury. Co za fantastyczna skała. Ali pokazał nam także

kilka fragmentów innego nowego angrytu, prawdopodobnie z tego samego spadku, co bardziej gruboziarnisty, plutoniczny angryt NWA 2999. Ten nowy angryt miał numer NWA, ale byłem tak zdumiony, że zapomniałem go zanotować. Na półkach Alego były inne rzadkie towary takie jak okazy chondrytu węglatego, meteoryty księżycowe i kawałek unikalnego bazaltowego achondrytu NWA 2400 z tego samego spadku co słynny, niezgrupowany NWA 011.

Tego popołudnia odwiedziłem stoiska wielu innych dealerów meteorytów, ale obawiam się, że nie zostało dość miejsca, by wymienić ich wszystkich. Było kilku rosyjskich dealerów; wśród nich młody entuzjasta Andrej Andrejew, który miał do sprzedania trochę ładnych płytek mezosyderytu Budulan. Erich Haiderer oferował wielki wybór różnych meteorytów, w tym rzadkie okazy planetarne, nowe ureility i eukryty, a także kilka klasycznych meteorytów. Andreas Gren miał ładne okazy z dużą płytą Page City i ładnie wytrawionymi meteorytami żelaznymi Zagora, a Sławomir Derecki oferował najwyższej klasy biżuterię meteorytową — prawdziwa uczta.

Późnym popołudniem postanowiłem zakończyć dzień i wracać do domu. Pozostała tylko jedna rzecz do zrobienia: odwiedzić specjalność tego roku, wystawę agatów w pierwszej hali i zobaczyć słynny na cały świat agat „Sowa z kapturem”, który został wypożyczony na wystawę. Od wczesnego dzieciństwa zbierałem kamienie i często sam

szukałem agatów. Są to z pewnością jedne z najbardziej fascynujących i najpiękniejszych ziemskich kamieni, a na tej szczególnej wystawie były niektóre z najpiękniejszych agatów świata. Widok Sowy z kapturem, rzadkiego agatu Apaczów, zapierał po prostu dech w piersiach, podobnie jak kilka innych słynnych agatów.

Ku mojemu całkowitemu zaskoczeniu zobaczyłem nagle wśród agatów duży meteoryt. Był częścią wystawy z Muzeum Mineralów Uniwersytetu

w Marburgu i była to pokryta wspaniałymi regmagliptami główna masa słynnego meteorytu żelaznego IIIAB, który spadł koło miejscowości Treysa, w Hesji, w Niemczech, trzeciego kwietnia 1916 roku. Jego jasny bolid widziały setki ludzi podczas I Wojny Światowej, a detonacje słyszano w promieniu 60 km. Sam meteoryt znaleziono po jedenastu miesiącach na podstawie analizy toru lotu meteoru — jest to jeszcze jeden kamień milowy w historii meteorologii. Byłem zadowolony, że go nie

przegapiłem i pojechałem do domu z dość wyjątkowym posmakiem tego nieoczekiwanego deseru. Były to wspaniałe targi i z pewnością wrócę w 2006 roku, by odwiedzić czterdzieste trzecie Mineralientage i spotkać starych i nowych przyjaciół.

e-mail: trifid@timewarp.de
Norbert Classen pracuje jako
nieetatowy autor i redaktor dla wielu
wydawnictw w Niemczech.



Ponowne odwiedziny aminokwasów meteorytu Murchison

Gregory T. Shanos

tłum. Magdalena Pilska-Piotrowska

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 12 No. 2. Copyright © 2006 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Chondryt węglisty Murchison CM2 spadł 28 września 1969 roku w stanie Victoria w Australii. Od tamtego czasu zidentyfikowano w tym niesamowitym meteorycie setki cząsteczek opartych na węglu. Węgiel występuje w postaci grafitu, diamentu i fullerenu. (Patrz *Meteoryt* wrzesień 1999 i grudzień 2000). Węgiel organiczny jest chemicznie związany z wodorem, tlenem lub azotem. Węgiel organiczny występuje w takich, istotnych pod względem biologicznym, cząsteczkach, jak aminokwasy, cukry czy tłuszcze. (Patrz *Meteoryt* wrzesień 1998, wrzesień 1999 i wrzesień 2002).

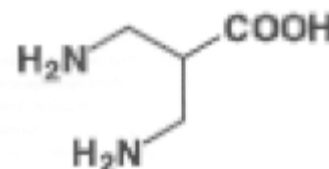
Niedawna praca Meierhenricha i in. (2004) identyfikowała diaminokwasy w meteorycie Murchison. Aminokwasy zwykle zawierają centralny węgiel alfa do którego dołączone są cztery grupy chemiczne. Wszystkie

aminokwasy posiadają grupę aminową ($-NH_2$), która jest słabą zasadą, grupę karboksylową ($-COOH$) która jest słabo kwasowa i neutralny atom wodoru. Reszta R, odchodząca od centralnego węgla, definiuje każdy indywidualny aminokwas. (patrz rys. 1.)

Diaminokwasy, jak wskazuje nazwa, to aminokwasy z dwiema grupami aminowymi ($-NH_2$) przyłączonymi do cząsteczki (patrz rys. 2). Meierhenrich i współpracownicy byli pierwszymi, którzy zidentyfikowali sześć diaminokwasów w meteorycie Murchison (patrz tabela 1). Do dziś zidentyfikowano ponad siedemdziesiąt aminokwasów (zob. spis w *Meteorycie* z września 1999), przy czym diaminokwasy występują w niewielkich stężeniach. Ogólnie ilość aminokwasów w chondrytach węglistych spada logarytmicznie ze wzrostem liczby atomów węgla.

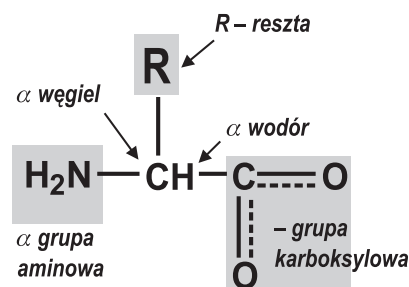
Odkrycie diaminokwasów w meteorycie Murchison ma swoje znaczenie dla kwestii początków życia. Diaminokwasy były syntetyzowane w laboratorium w wyniku fotochemicznego i termicznego przetwarzania analogów międzygwiezdnego lodu. Dostawa organicznych składników przez meteority, cząstki międzyplanetarnego pyłu lub

komety mogła przyczynić się do pojawienia się życia na Ziemi. W chondrytach węglistych stwierdzono obecność składników DNA takich jak zasady purynowe i pirymidynowe, czy związki cukropochodne.



Rys. 2: struktura chemiczna diaminokwasu. Zauważ dwie grupy aminowe (H_2). Z Meierhenrich i in. 2004.

W trakcie genetycznej ewolucji współczesny „świat DNA–RNA–białko” mógł być poprzedzony przez prebiotyczny system. Naukowcy obecnie badają prekursor DNA i RNA, które mogły funkcjonować jako materiał genetyczny tak dobrze jak podobne do enzymów katalizatory. Potencjalnym kandydatem jest cząsteczka peptydowego kwasu nukleinowego (PNA — peptide



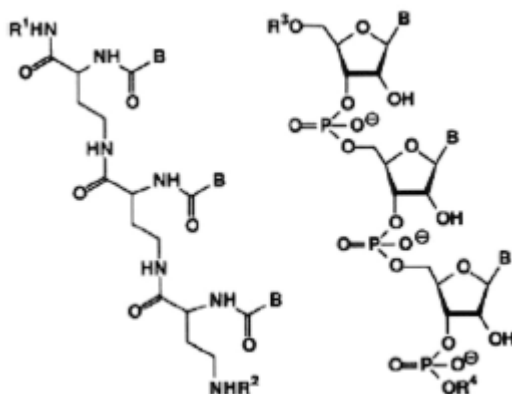
Rys. 1: Struktura aminokwasu. (www.biology.arizona.edu/biochemistry/problem-sets/aa/BasicStruct.html)

Diaminokwas	Stężenie (ppb)
kwas D-2,3 diaminopropanowy	49,9 ($\pm 4,2$)
kwas L-2,3 diaminopropanowy	49,8 ($\pm 4,2$)
kwas D-2,4 diaminobutanowy	31,6 ($\pm 3,3$)
kwas L-2,4 diaminobutanowy	29,9 ($\pm 3,2$)
kwas 3,3' diaminoizobutanowy	48,6 ($\pm 4,1$)
kwas 4,4' diaminoizopentanowy	32,2 ($\pm 3,3$)

Tab. 1: Z Meierhenrich i in. 2004.

nucleic acid), w której nasycony cukrowo-fosforanowy szkielet jest zastąpiony przez szkielet trzymający się razem dzięki nienasyconym wiązaniom amidowym (patrz rys. 3). Następnie do tej struktury dołączone są zasady azotowe (B) adenina, uracyl, guanina i cytozyna. Synteza w laboratorium struktur polipeptydów diaminokwasowych prowadzi do fałdowania cząsteczki w drugorzędowe struktury beta harmonijki. W ten sposób laboratoryjne eksperymenty wspierają ideę, że takie cząsteczki mogą powstawać w pierwotnych warunkach na Ziemi.

Diaminokwasy w chondrycie węglistym Murchison CM2 dodają jeszcze jeden rozdział do organicznego inwentarza tego niesamowitego meteorytu. Badania na tym polu są kontynuowane.



Rys. 3: Struktura chemiczna PNA (z lewej) i RNA (z prawej). B oznacza zasady azotowe w obu strukturach. Struktura po lewej to kwas 2,4-diaminobutanowy, który został zidentyfikowany w meteorycie Murchison. Czy polimery takie jak ten mogłyby być prekursorami RNA na pierwotnej Ziemi?

Literatura:

U. J. Meierhenrich, G. M. Munoz Caro, J. Hendrik Bredehöft, E. K. Jesseberger, W. H.-P. Thiemann. 2004. Identification of diaminoacids in the Murchison meteorite. PNAS 101: 9182-9186.

E-mail: gshanos@aol.com

Gregory T. Shanos otrzymał tytuł doktora farmacji w 1999 roku. Obecnie jest konsultantem farmakologicznym w kilku specjalistycznych klinikach w stanie Floryda. Dr Shanos zaczął kolekcjonować meteoryty w 1985 roku. Interesują go przede wszystkim cząsteczki organiczne, które zostały wykryte w chondrytach węglistych, a także pozaziemskie przyczyny wymierania na przełomie Permu i Triasu. Jest zapalonym miłośnikiem astronomii, kolekcjonerem skamieniałości i łowcą zaćmień. Jest także członkiem programu NASA Ambassador.

nm

Sens badań meteorytów

Alan E. Rubin

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 12 No. 2. Copyright © 2006 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Gdy badacze meteorytów wygłaszają referaty na seminariach geologicznych, albo omawiają swe prace na forum publicznym, czasem stykają się z pytaniem o sens tych badań. Pytający są zwykle uprzejmi, ale ich niewypowiedziane myśli pełne są różnych insynuacji. Dlaczego te badania są ważne? Do czego one się nadają? Czy to nie jest po prostu marnowanie czasu? W istocie są to rozsądne pytania, a kosmochemicy nie mają potrzeby się bronić. Są trzy podstawowe odpowiedzi na to straszne pytanie o sens.

1. *Ludzie są z natury ciekawi i pragną zrozumieć, jak funkcjonuje świat, oraz odczuwają potrzebę określenia swego miejsca w nim.* Wielkie cywilizacje zawsze chciały przeznaczyć niewielką część osób zatrudnionych przy pomnażaniu bogactw do poszukiwania odpowiedzi na kosmiczne pytania. Począwszy od czasów Hammurabiego (1725–1686 pne) państwo babilońskie finansowało astronomów, którzy łączyli punkty na niebie i tworzyli gwiazdozbiory. Stworzyli oni potężne katalogi gwiazd i do roku 800 pne zdołali zapi-

sać położenia planet na tle gwiazd. Grecki astronom, Hipparch (160–127 pne), znalazł dobrą posadę klasyfikując gwiazdy według ich jasności obserwowanej i zestawiając katalog zawierający ponad tysiąc pozycji gwiazd. Porównał on swe pozycje z zapisanymi prawie dwieście lat wcześniej i odkrył, że biegun nieba się przemieścił. To zjawisko, znane teraz jako precesja, wynika z grawitacyjnego przyciągania równikowego wybrzuszenia Ziemi przez Słońce i Księżyc; powoduje to, że oś obrotu Ziemi zakreśla stożek z okresem 25800 lat.

Przed tysiącami lat wodzowie Majów zamówili skonstruowanie wymyślnych, astronomicznych obserwatoriów. Te wieże budowano z oknami skierowanymi na punkty zachodu Słońca w momencie równonocy i najbardziej oddalone na północ i południe punkty zachodu Wenus. Spektakularnym przykładem obserwatorium Majów jest świątynia Caracol w Chichén Itzá; ruiny tej okrągłej wieży, to imponująca budowla wznosząca się ponad krajobrazem Jukatana.

Współcześni kosmolodzy kontynuują w pewnym stopniu tę samą intelek-

tualną tradycję; mierzą mikrofalowe promieniowanie tła i tworzą modele, jak powstał wszechświat. Badacze meteorytów i kosmochemicy są także częścią tej tradycji. Wykorzystują oni pieniądze podatników dostarczane poprzez rządowe granty, ciężko zapracowane opłaty za studia przetworzone na uniwersyteckie pensje i zainteresowanie zbiorami muzealnymi, by badać powstanie i ewolucję Układu Słonecznego — kolebki ludzkości.

2. *Szczegółowe badania procesów fizykochemicznych występujących na planetoidach dotyczą części procesów geologicznych występujących także na Ziemi.* Geolodzy przyjmują jako rzecz oczywistą, że ich badania procesów zachodzących na Ziemi są ważne. Trzeba rozumieć, jak topią się skały, bo mamy na naszej planecie około 1500 czynnych wulkanów. Geomorfologia jest ważna, ponieważ ludzie rozbijają namioty na powierzchni Ziemi i budują domy na osadach i skałach. Potrzebujemy rozumieć pogodę, ponieważ żyjemy na dnie atmosfery o głębokości 30 km.

Meteoryty dostarczają dowodów mnóstwa procesów występujących na

planetoidach, na przykład zagęszczania, ogrzewania uderzeniowego, cząstkowego topnienia, krystalizacji, metamorfizmu cieplnego, frakcjonowania izotopowego, utleniania, redukcji i przeobrażeń pod wpływem wody. Takie procesy występują również na Ziemi. Badania meteorytów poszerzają więc naszą geologiczną perspektywę i pogłębiają rozumienie ziemskich procesów. Nawet badania chondr i wysokotemperaturowych inkluzji mają sens. Chociaż te obiekty nie powstają na Ziemi, to sama Ziemia uformowała się bezpośrednio lub pośrednio z materii chondrytowej zawierającej te obiekty.

3. *Czysto naukowe badania często doprowadzały do istotnego postępu, który poprawiał warunki bytu ludzi.* Chociaż niektórzy badacze meteorytów mogą uważać swą pracę za wiedzę tajemną, to nie powinni się tym przejmować. Nagrodzony przez Meteoritical Society medalem Leonarda fizyk Bob Walker z McDonnell Center for the Space Sciences Uniwersytetu Waszyngtońskiego w swym wystąpieniu dziękczynnym pokazał wyraźnie, że badania

prowadzone z czystej ciekawości często w sposób trudny do przewidzenia prowadziły do naprawdę ważnych odkryć. Wskazał, że „Globalny System Lokalizacji (GPS) wykorzystuje zegary atomowe na orbicie, by umożliwić poszczególnym osobom określenie swojej pozycji z dokładnością do kilkudziesięciu metrów w dowolnym miejscu na powierzchni Ziemi. Ten system... opiera się na szczególnym zastosowaniu ogólnej teorii względności.” Walker stwierdził dalej, że „badacze powinni być pewni, że jeśli wykonują dobrą, czysto naukową robotę, to ich wspólna działalność okaże się przydatna w najbardziej praktyczny sposób dla ich współobywateli.”

Astronom Jay Pasachoff z Williams College — Hopkins Observatory zrobił podobną obserwację broniąc astronomii. W roku 1977 pisał on, że „wiele przyszłych odkryć — może kontrolowana fuzja jądrowa, albo odkrycie nowych źródeł energii, albo może coś tak rewolucyjnego, że nie można tego obecnie przewidzieć — będzie niewątpliwie opartych także na odkryciach dokona-

nych w wyniku takich podstawowych badań, jak badanie układów astronomicznych. Jeśli spojrzymy pod takim kątem, to astronomia jest inwestycją w naszą przyszłość.”

Meteorityka jest dziedziną astronomii. Jest to, w pewnym sensie, astronomia praktyczna; meteority są skałami niebieskimi, które możemy wziąć do ręki. Szczegółowe badania tych skał mogą być może zaspokoić naszą ciekawość, w jaki sposób rozwijał się Układ Słoneczny. Pozaziemska materia daje nam także sposobność zwiększenia naszego rozumienia takich procesów fizykochemicznych jak zmiany szokowe, topnienie, metamorfizm, frakcjonowanie izotopowe i przeobrażenia pod wpływem wody. Możemy czuć się bezpiecznie wiedząc, że nasza praca, rozumiana kolektywnie, najprawdopodobniej przyniesie ważne, nieprzewidziane korzyści społeczeństwu.

E-mail: aerubin@ucla.edu

Alan Rubin jest geochemikiem w Instytucie Geofizyki i Fizyki Planet Uniwersytetu Kalifornijskiego (UCLA).



Klasyfikacja chondrytów zwyczajnych

O. Richard Norton

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 12 No. 2. Copyright © 2006 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Wiele lat temu, na zajęciach z geologii, gdy po raz pierwszy usłyszałem o metamorfizmie ziemskich skał, wyobraziłem sobie ogromne baseny płynnej magmy stygnące powoli i krystalizujące w metamorficzną skałę głęboko we wnętrzu Ziemi. Potem jednak usłyszałem o metamorfizmie w meteorytach kamiennych i wszystko się zmieniło. Najpierw nie chciałem w to uwierzyć. Jak mogły minerały przekształcać się w inne minerały głęboko w ciele macierzystym chondrytu zwyczajnego? (Nazywają to rekrystalizacją w stanie stałym.) Pomyślcie tylko! Cząsteczki wędrujące z miejsca na miejsce w morzu stałych, przylegających do siebie kryształów. Dla mnie brzmiało to jak magia. Zajrzałem więc do mojego wysłużonego Słownika Geologicznego.

Oto co mówi on o metamorfizmie:

„...procesy, które powodują zmiany strukturalne i mineralogiczne w dowolnym typie skały, w odpowiedzi na warunki fizyczne i chemiczne różniące się od tych, w których skały powstały pierwotnie. ... Metamorfizm w zasadzie ma miejsce w stanie stałym i obejmuje powstawanie nowych minerałów, rekrystalizację minerałów, które już są, i formowanie się nowych tekstur i struktur w skałe.”

Autor postarał się pominąć zmiany z powodu procesów zachodzących na powierzchni lub blisko niej, takich jak wietrzenie. Meteority, których spadek obserwowano, i które znaleziono w ciągu kilku dni po spadku, powinny być stosunkowo pierwotne, zwietrzałe w niewielkim stopniu lub wcale. Wietrzenie chondrytowych złazisk (w od-

różnieniu od obserwowanych spadków) jest przedmiotem dużego zainteresowania kolekcjonerów meteorytów, kustoszy w muzeach i badaczy. Zamierzamy przyjrzeć się efektom wietrzenia meteorytów w przyszłym artykule.

Powyższa definicja metamorfizmu ziemskich skał obowiązuje także w przypadku skał z kosmosu. Jeśli jednak chodzi o chondryty zwyczajne, istnieje, jak zobaczymy, istotne ograniczenie temperaturowe. Jeśli odetniemy i wypolerujemy kilka płytek różnych chondrytów zwyczajnych, to od razu zauważymy, że poszczególne okazy różnią się znacznie pod względem gęstości chondr oraz ich struktury. W niektórych chondrytach jest dużo wyraźnie wyodrębnionych chondr, gdy inne mają znacznie mniej chondr i ich chondry zlewają się z ciastem skalnym. Nie-

które chondryty prawie wcale nie mają chondr. Zdjęcia 2a i 2b ilustrują rekryystalizację w stanie stałym, wynik metamorfizmu cieplnego. Jak się okazuje, metamorfizm cieplny jest doskonałym procesem, który może służyć za podstawę systemu klasyfikacji.

Klasyfikowanie chondrytu oparte na kryteriach chemicznych i mineralogicznych jest uważane za część pierwotnej klasyfikacji, ponieważ ogólny skład chemiczny, to cecha pierwotna nabyta przez meteoryt, gdy formował się on w mgławicy słonecznej. Jednak ogólny skład chemiczny trzech grup chondrytów zwyczajnych (H, L, LL) wygląda bardzo podobnie. Natomiast przez mikroskop, czy nawet lupę, widać wyraźne różnice petrograficzne pomiędzy tymi trzema grupami chondrytów zwyczajnych. Meteorytocy potrzebują systemu klasyfikacyjnego, który weźmie pod uwagę nie tylko różnice chemiczne, ale także różnice petrograficzne.

W 1967 roku W. R. Van Schmus i J. A. Wood opublikowali pracę, w której przedstawili taką właśnie petrograficzną klasyfikację. Pomyślałem, że mogłoby być ciekawe zobaczyć, czy mógłbym określić typ petrograficzny kilku chondrytów zwyczajnych z mojej kolekcji przy pomocy kryteriów przedstawionych w ich publikacji. Van Schmus i Wood przyjęli 10 kryteriów, by określić typy petrograficzne chondrytów. Po zapoznaniu się z nimi stwierdziłem, że większość kryteriów wymaga użycia specjalnych przyrządów takich jak mikrosonda elektronowa. Z tego powodu ograniczymy naszą dyskusję do tych kryteriów, które łatwo zaobserwować przez mikroskop albo lupę.

Diagram (rys. 1) pokazuje kryteria ze względu na strukturę chondr używane do zdefiniowania sześciu różnych typów petrograficznych obejmujących wszystkie rodzaje chondrytów: zwyczajne, węgliste, chondryty R, chondryty enstatytowe. Zauważmy, że wzrastający metamorfizm cieplny rozciąga się w prawo do typów 4 do 6. Te typy pokazują kolejne etapy metamorfizmu aż do granicznej temperatury 950°C, wewnątrz przedziału temperatury, gdzie jest możliwa rekryystalizacja w stanie stałym. Typ 3 jest chemicznie niezrównoważony i dlatego uważany jest za najbardziej pierwotny. W tym typie występuje duża zmienność składu chemicznego oliwinów i piroksenów. Typy

4–6 obejmują chondryty w równowadze chemicznej. Ich skład jest znacznie bardziej jednorodny niż w typie 3, ponieważ rekryystalizacja w stanie stałym spowodowała ujednolnienie.

Struktury chondr i ich gęstość są kryteriami o wiele łatwiejszymi do zaobserwowania gołym okiem czy przez lupę. Jest kuszące, choć niepoprawne, uważać typ 3 za środkowy punkt diagramu. Przeobrażenia pod wpływem wody sięgają do petrograficznego typu 3, który nie jest środkowym punktem jednego procesu, lecz raczej reprezentuje część wspólną dwóch procesów: metamorfizmu cieplnego rosnącego w prawo (typy 3–6) i przeobrażeń wodnych rosnących w lewo (typy 3–1). Chondryty przeobrażone pod wpływem wody zaczynają się od temperatury 400°C, przy której metamorfizm cieplny się kończy. Chondry z bardzo wyraźnymi granicami widać w typach 2 i 3, ale chondry w typie 2 są rzadziej rozmieszczone w czarnej, nieprzezroczystej masie, która objętościowo stanowi prawie połowę meteorytu. Klasyycznym przykładem chondrytu węglistego typu 2 jest chondryt Murchison CM2. Chondryty zwyczajne typu 3 mają bardzo wysokie gęstości chondr, ale gdy przechodzimy od typu 4 do 6, chondry są coraz mniej wyraźnie ograniczone, aż w końcu cały meteoryt zostaje zrekrytalizowany, a pierwotne struktury chondr zniszczone. Łatwo to zaobserwować i sfotografować (fot. 2a i b).

W 1980 roku Sears i in. pokazali, że czułość na wymuszoną termoluminescencję można wykorzystać do zdefiniowania 10 podtypów (3.0 do 3.9) w chondrytach zwyczajnych typu 3 i w pewnym stopniu w niektórych typach chondrytów węglistych (CO i CV).

Struktura ciasta skalnego jest innym kryterium, które łatwo można zastosować przy pomocy prostych urządzeń. Ciasto skalne pozostaje nieprzezroczyste w typie 3, ale od typu 4 zaczynamy widzieć tworzące się przezroczyste, mikrokryształiczne ciasto skalne. Staje się ono bardziej przezroczyste w typie 5 i w końcu całkowicie zrekrytalizowane w typie 6. W tym punkcie ciasto skalne zyskuje jasnoszarą barwę (fot. 3).

Inne kryterium można zastosować, gdy dokładnie przeanalizujemy płytkę ciekłą. Chodzi tu o stopień rozwoju wtórnego skalenia. Znalazienie małych kryształów skalenia jest dość trudne. Wymaga to mikroskopu o powiększeniu przynajmniej 100 razy i sporo czasu na poszukiwanie zanim uda się znaleźć jakiś kryształ. W typach 1, 2 i 3 skalenia nie ma, ale zaczyna pojawiać się w typie 4, w szklawie, jako małe ziarna, poniżej mikrometra. W typach 5 i 6 szklawo krystalizuje i znika zastąpione przez kryształy skalenia. Wielkość kryształów rośnie w cieście skalnym typu 6 (fot. 4). Pojawienie się kryształów skalenia o wielkości około 50 do 100 mikrometrów jest niewątpliwą oznaką zrównoważonego ciasta

Typy petrologiczne

Typ chemiczny		1	2	3	4	5	6
		widoczność chondr					
		brak	nieliczne	liczne/wyraźne	coraz bardziej niewyraźny		
chondryty zwyczajne	H						
	L						
	LL						
chondryty węgliste	CI						
	CM						
	CR						
	CO						
	CV						
	CK						
chondryty typu R	R						
chondryty enstatytowe	EH						
	EL						

<150°C <200°C <400°C <600°C <700°C <750°C <950°C
 ← coraz większe zmiany wodne → coraz większy metamorfizm cieplny

Rys. 1: Diagram klasyfikacji ze względu na widoczność chondr. Pokazuje on pogrupowanie wszystkich chondrytów na typy chemiczne i petrograficzne (zob. Tekst). Adaptacja z Van Schmus i Wood, 1967.

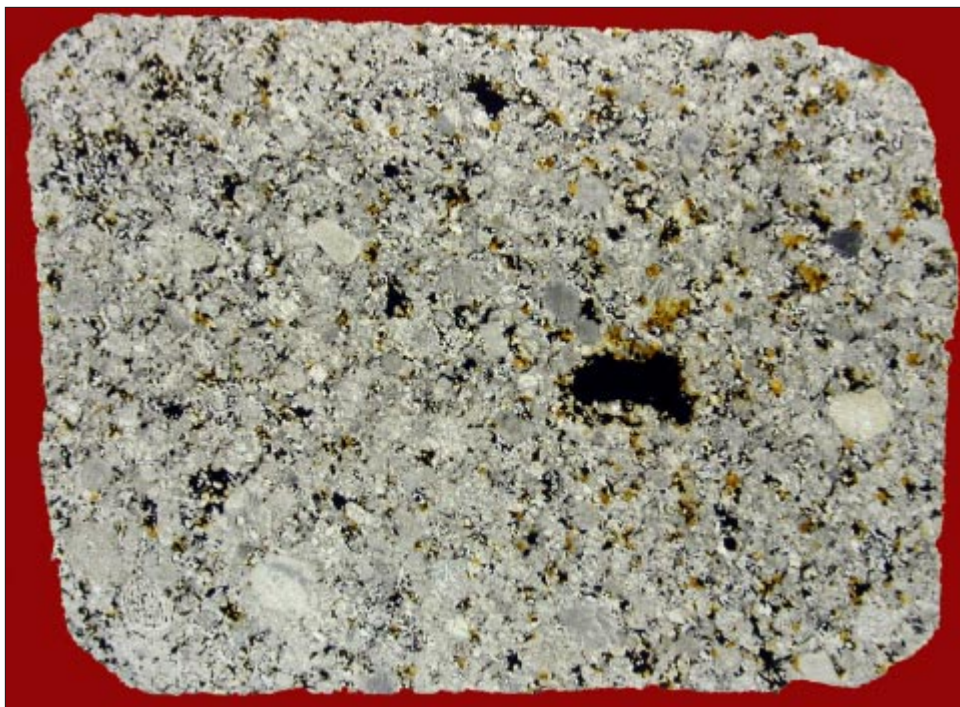


skalnego typu 6. Poza tym punktem chondryt może ulec stopieniu.

Są inne kryteria, które mogą zastosować ci, którzy mają dobry mikroskop i chęć poświęcenia kilku godzin. Nie musi to być mikroskop petrograficzny; na początek wystarczy zwykły mikroskop i dwa filtry polaryzacyjne. Za cenę rzadkiego meteorytu (około 1000 dolarów) oczekuje więc nas całkiem nowa aleja przygód. Czytacie następne artykuły!

*O. Richard Norton jest emerytowanym nauczycielem astronomii i pisze artykuły do czasopism takich jak *Astronomy*, oraz książki o meteorytach (*Rocks from Space* i *Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. Najnowsza książka, *Field Guide of Meteorites*, ma ukazać się w przyszłym roku.*

dw

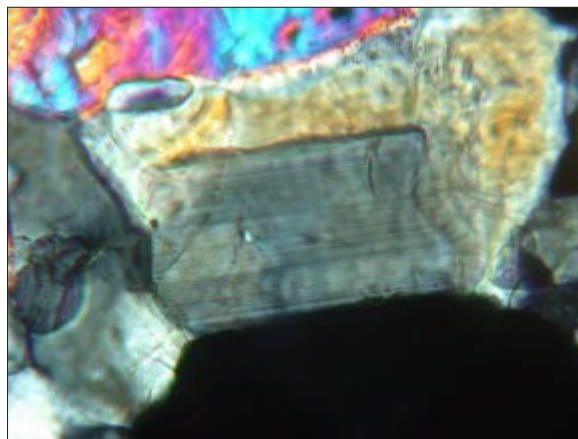


Fot. 2: (a) We wnętrzu chondrytu zwyczajnego L3.8 Moorabie widać pole o wysokim zagęszczeniu ostro ograniczonych chondr typowych dla niezrównoważonego chondrytu typu L3. (b) Rekrytalizacja w stanie stałym między chondrami i ciastem skalnym rozmazuje granice chondr w tym zrównoważonym chondrycie zwyczajnym z Mbale w Ugandzie. Struktura i brak chondr są typowe dla zrównoważonego chondrytu zwyczajnego typu 5/6.

Fot. O. Richard Norton.



Fot. 3: Struktura ciasta skalnego w chondrycie L6 Tenham. Ciasto jest całkowicie zrekrytalizowane i wskutek tego gruboziarniste, co daje jasną barwę wnętrza. Fot. O. Richard Norton.



Fot. 4: Wtórny skałen w chondrycie zwyczajnym typu 6. Zauważmy polisyntetyczne zbliżniaczenie ziarna skałen i jego niską barwę interferencyjną (ciemnoszary kolor). Płytkę cieniową jest z chondrytu zwyczajnego Portales Valley H6. Powiększenie 400×. Fot. O. Richard Norton i Lawrence A. Chitwood.