KWARTALNIK MIŁOŚNIKÓW METEORYTÓW

METEORYT

Nr 2 (62) Czerwiec 2007 ISSN 1642-588X

W numerze:

- 40 lat Sejmczana
- chondry i chondryty
- kustosz watykańskiej kolekcji meteorytów
- meteoryty Namibii
- odkrycie kalifornijskiego obszaru rozrzutu
- szok i groza

chondryt Juancheng

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 2007 roku 44 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 Drążkowski

Druk: Jan, Lidzbark Warmiński

Od redaktora:

Wygląda na to, że opóźnienia „Meteorytu" są tradycją i niezależnie od wysiłków redakcji zawsze jakiś powód opóźnienia się znajdzie. Dzięki opóźnieniu zdążył jednak dotrzeć majowy numer „Meteorite" z artykułem o chondrach i chondrytach, który uznałem za tak ważny, że zmieniłem plany i wstawiłem go do tego numeru.

Im dłużej przyglądam się chondrytom, tym bardziej jestem przekonany, że mgławicowe hipotezy powstawania chondr niewiele mają wspólnego z rzeczywistością, a chemiczna klasyfikacja chondrytów niekoniecznie odzwierciedla zachodzący w nich metamorfizm. Dlatego zawsze z zainteresowaniem czytałem artykuły badaczy, stanowiących dużą mniejszość, którzy pokazywali, że chondry mogą powstawać podczas zderzeń planetoid. Dr Derek Sears, autor artykułu, jest także autorem bardzo dobrej książki „The Origin of Chondrules and Chondrites". Jak przyznaje, z czasem doszedł do wniosku, że chondry powstają jednak na planetoidach, a dotychczasowe argumenty przeciw takim teoriom wynikały w dużym stopniu z nieznajomości budowy planetoid.

Niestety z żalem dowiedziałem się, że niespodziewanie zmarł jeden z głównych zwolenników planetarnych teorii powstawania chondr, prof. Robert Hutchison, wieloletni kustosz brytyjskiego zbioru meteorytów i autor znakomitego podręcznika „Meteorites: A Petrologic, Chemical and Isotopic Synthesis". Właśnie Jemu zadedykowany jest artykuł dr Searsa.

Gorąco polecam także wywiad redaktora „Meteorite" z dr. Guy'em Consolmagno, kustoszem watykańskiej kolekcji meteorytów. Dla mnie jest on szczególnie interesujący, ponieważ podobnie jak obaj rozmówcy zajmuję się popularyzacją nauki i wiele omawianych problemów znam z własnego doświadczenia. Myślę jednak, że każdy znajdzie w nim coś dla siebie, bo jest to przede wszystkim wywiad z człowiekiem, który poszukuje drogi życiowej i sensu życia. Tłumaczę już drugą część, która ukaże się w następnym numerze i jest ona dla mnie jeszcze bardziej fascynująca.

W czerwcu minęło 40 lat od znalezienia pierwszej bryły meteorytu żelaznego Seymchan, który ostatecznie okazał się pallasytem. Zawsze skromny Walentin Cwietkow nigdy nie wspominał, że miał z tym coś wspólnego, ale w końcu jednak się wydało. Szczegóły na str. 26. Jak zwykle, gdy nazwa pochodzi z języka, który nie używa alfabetu łacińskiego, jest ona podawana w transkrypcji angielskiej, ale po naszemu mówi się Sejmczan.

Chondryty zajęły tyle miejsca, że zabrakło go na odnotowanie dwusetnej rocznicy odkrycia macierzystej planetki achondrytów HED. Odkrył ją 29 marca 1807 roku dr Heinrich Wilhelm Olbers, lekarz z zawodu, astronom z zamiłowania. Nazwę Westa nadał słynny matematyk Carl Friedrich Gauss. Jakby dla uczczenia tej rocznicy w maju i czerwcu tego roku Westa świeciła wyjątkowo jasno, tak że przy szczególnie czystym niebie mogła być widoczna gołym okiem jako słabiutka gwiazdka niedaleko Jowisza. Z okazji rocznicy meteoryty z Westy zostaną specjalnie wyeksponowane na wystawie w Wieży Kopernika we Fromborku.

Andrzej S. Pilski

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

ZAPROSZENIA

Kazimierz Mazurek i Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku zapraszają na kolejną **wystawę meteorytów** w Wieży Kopernika. Wystawę można oglądać w lipcu i sierpniu, codziennie, od godz. 9:30 do 16:30. Atrakcją wystawy jest wierna kopia największego okazu Moraska znalezionego w zeszłym roku.

ASPMET zaprasza do Fromborka na **piknik meteorytowy**, który odbędzie się w sobotę, 4 sierpnia, na terenie Obserwatorium Astronomicznego, na brzegu domniemanego krateru meteorytowego Frombork. Główna część pikniku planowana jest od 12 do 16, ale można pojawić się już o 10 rano i zostać do 18. Dalsze szczegóły zostaną podane osobom, które zgłoszą chęć przyjazdu pod adres: aspmet@wp.pl, lub zwykłą pocztą: Andrzej S. Pilski, skr. poczt. 6, 14-530 Frombork

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

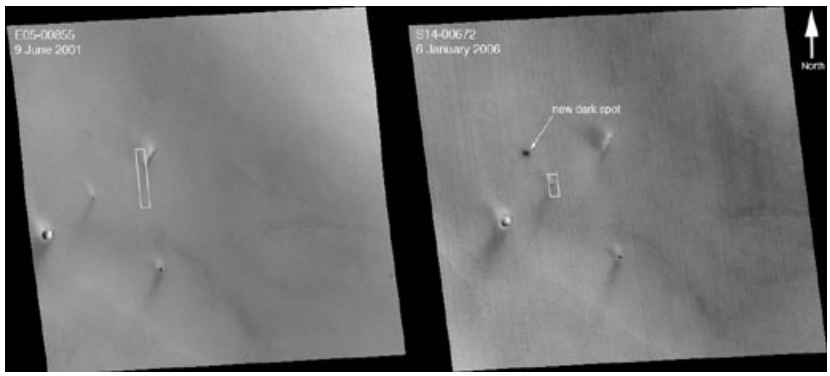
Meteorite is available only by subscription, for US$35 per year. Overseas airmail delivery is available for an additional US$12 per year.

Okładka: Dwie strony ważącej 6,4 g płytki chondrytu Juancheng z licznymi żyłkami szokowymi. Kolekcja redaktora. O szokowych przeobrażeniach meteorytów str. 27 i 28.

NOWINY

(Z kwartalnika METEORITE
Vol. 13 No. 1. Copyright © 2007
ARKANSAS CENTER FOR SPACE
& PLANETARY SCIENCES)

Nowe kratery na Marsie

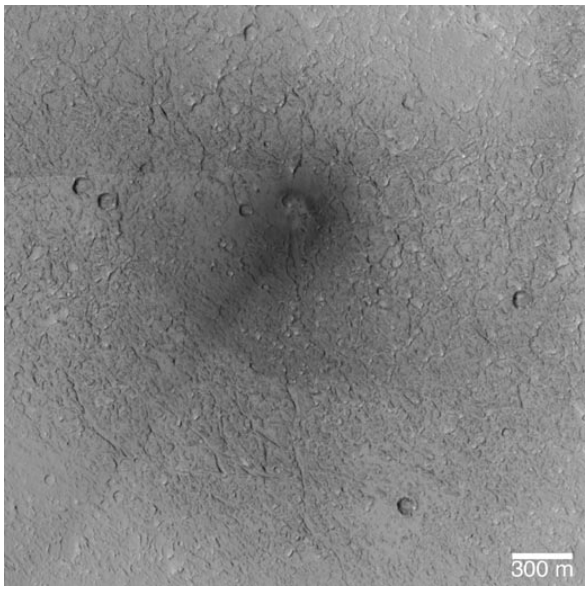


Fot. 1. Dwa czerwone obrazy tła z szerokokątnej kamery. Pierwsze zrobiono 9 czerwca 2001 r. na parę lat przez spadkiem meteorytu. Drugie to zdjęcie „odkryciowe" zrobione 6 stycznia 2006 r. w obu przypadkach biały prostokąt wskazuje umiejscowienie wąskokątnego obrazu kamery, dla którego robiono zdjęcie otoczenia. Białe prostokąty mają 3 kilometry szerokości.

Kamera orbitalna sondy Mars Global Surveyor wykryła, że meteoryty przez cały czas uderzają w powierzchnię Marsa i tworzą nowe kratery. Gdyby ktoś mieszkał na Marsie, to jest szansa, że w ciągu 10 czy 20 lat meteoryt spadłby dostatecznie blisko miejsca zamieszkania, by to zauważyć — być może mieszkaniec usłyszałby uderzenie i zerwałby się przerażony z fotela. Jeszcze rok temu zespół obsługujący kamerę nie spodziewał się, że znajdą oni miejsca na Marsie, gdzie meteoryty spadły na powierzchnię w czasie trwania misji. Takie kratery, jeśli by w ogóle powstały, miałyby od kilku do kilkudziesięciu metrów średnicy; o wiele za mało, by zauważyć je (jak sądzili) na zdjęciach z tej szerokokątnej kamery. Jednak 9 stycznia 2006 roku zaczęli uświadamiać sobie, że nie tylko możemy znaleźć takie kratery, ale możemy także ocenić dzisiejsze tempo powstawania kraterów na Marsie. Poszukiwanie świeżych kraterów utworzonych w czasie trwania misji dostarczyłoby pierwszych bezpośrednich danych obserwacyjnych na temat współczesnego tempa powstawania kraterów dla jakiegokolwiek ciała w Układzie Słonecznym włącznie z Ziemią i Księżycem. To z kolei może pomóc testować modele wykorzystywane cały czas przez naukowców do oceny wieku utworów na powierzchniach planet. Pierwsze świeże miejsce uderzenia zostało zauważone po raz pierwszy 9 stycznia 2006 roku na zdjęciu zrobionym trzy dni wcześniej. To zdjęcie było zrobione szerokokątną kamerą przy najwyższej możliwej rozdzielczości około 240 metrów na piksel. Na północny zachód od obszaru fotografowanego wąskokątną kamerą, na czerwonym obrazie tła z szerokokątnej kamery widać ciemną plamę. Nie było tej plamy na żadnym z wcześniejszych zdjęć zrobionych przez jakąkolwiek sondę od Marinera 9 (który dotarł do Marsa w 1971 r.) do sondy Mars Express (która dotarła w 2003 r.).

Misją Mars Global Surveyor kieruje na zlecenie Biura Nauki o Kosmosie NASA w Waszyngtonie, należące do NASA Laboratorium Napędów Odrzutowych w Pasadenie w Kalifornii, oddział Politechniki Kalifornijskiej, także w Pasadenie. Statek kosmiczny zaprojektował i kieruje nim Lockheed Martin Space Systems w Denver. Malin Space Science Systems z San Diego, w Kalifornii zbudował i kieruje marsjańską kamerą orbitalną.

Materiały udostępniły: NASA/JPL/Malin Space Science Systems. Więcej informacji o zdjęciach z marsjańskiej kamery orbitalnej można znaleźć na http://www.msss.com/mgs/moc/index.html



Fot. 2. Na tym zdjęciu północ jest u góry. Pojedyncza, szeroka, ciemna smuga, która wychodzi z miejsca uderzenia i wskazuje na południowy zachód (u dołu z lewej), może wskazywać albo kierunek, z którego nadleciał meteor, albo przeciwny. Jeśli jest to kierunek, z którego nadleciało uderzające ciało, to smuga jest skutkiem rozproszenia pyłu w marsjańskiej atmosferze, gdy obiekt w nią wchodził. Jeśli przeciwnie, to smuga wskazuje kierunek, w jakim materia została wyrzucona z miejsca uderzenia. W każdym przypadku impaktor wchodził pod dość niskim kątem i rozpadł się tuż przed uderzeniem w grunt, ponieważ wytworzył liczne małe kratery.

Zdjęcia NASA sugerują, że na Marsie woda wciąż płynie krótkotrwałymi strugami

Zdjęcia NASA ujawniły jasne, nowe osady widoczne w dwóch rowach na Marsie, które sugerują, że woda transportowała przez nie osady kiedyś w ciągu ostatnich siedmiu lat.

„Te obserwacje stanowią jak dotąd najsilniejszy dowód, że od czasu do czasu woda wciąż płynie po powierzchni Marsa", powiedział Michael Meyer, kierownik naukowy Programu Badań Marsa NASA w Waszyngtonie.

Uważa się, że ciekła woda, w przeciwieństwie do wodnego lodu i pary wodnej, o których wiadomo, że na Marsie istnieją, jest niezbędna dla istnienia życia. Te nowe odkrycia zwiększają zainteresowanie możliwością bakteryjnego życia na Marsie. Marsjańska kamera orbitalna na sondzie NASA Mars Global Surveyor dostar-

czyła nowych dowodów występowania osadów na zdjęciach zrobionych w latach 2004 i 2005.

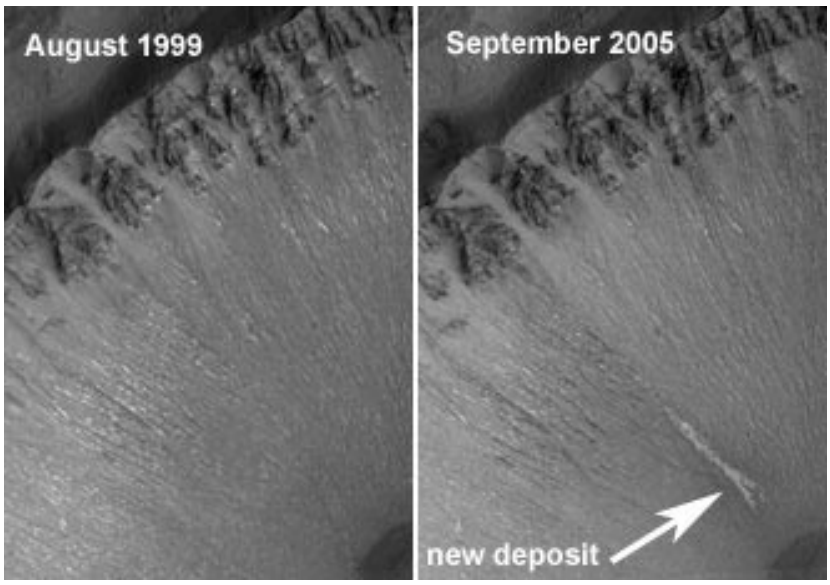
„Kształt tych osadów jest taki, jakiego należałoby oczekiwać, gdyby materiał był transportowany przez płynącą wodę," powiedział Michael Malin z Malin Space Science Systems w San Diego. „Mają one palczaste rozgałęzienia w dolnej części stoku i łatwo omijają małe przeszkody. Malin jest głównym badaczem w zespole kamery i głównym autorem relacji o odkryciach opublikowanej w czasopiśmie Science.

Atmosfera Marsa jest tak cienka, a temperatura tak niska, ze ciekła woda nie może długo istnieć na powierzchni. Szybko paruje ona lub zamarza. Badacze proponują, że woda może pozostać w postaci ciekłej dostatecznie długo po wydostaniu się z podziemnego źródła, by unieść rumosz po zboczu w dół zanim całkowicie zamarznie. Dwa świeże osady mają po kilkaset metrów długości.

Jasna barwa osadów może pochodzić od powierzchniowego szronu nieustannie odnawianego przez lód z masy osadów. Inna możliwością jest solna skorupa, która byłaby oznaką działania wody na rzecz koncentracji soli. Gdyby osady były rezultatem ześlizgiwania się po zboczu suchego pyłu, to prawdopodobnie byłyby ciemne, co wynika z ciemnej barwy pyłu świeżo poruszonego przez koła rovera, zawirowania powietrza i świeże kratery na Marsie.

Mars Global Surveyor odkrył dziesiątki tysięcy rowów na zboczach wewnątrz kraterów i innych depresji na Marsie. Większość rowów znajduje się w szerokościach 30 stopni i wyższych. Malin i jego zespół po raz pierwszy powiadomili o odkryciu rowów w roku 2000. Szukając zmian wskazujących na występujący obecnie przepływ wody, zespół kamery wielokrotnie fotografował setki miejsc. Jedna para zdjęć pokazuje rów, który pojawił się w drugiej połowie 2002 roku. To miejsce było na wydmie piaszczystej i proces wyżłobienia rowu zinterpretowano jako spływ suchego piasku.

To ogłoszenie jest pierwszym ukazującym nowo osadzony materiał najwidoczniej przeniesiony przez ciecz po wcześniejszych zdjęciach tych samych rowów. Te dwa miejsca są w kraterach



Fot. 1. Nowy osad w rowie, w kraterze, w regionie Centauri Montes. Udostępnili: NASA/JPL/ Malin Space Science Systems.

Fot. 2. Nowy osad w rowie w kraterze na Terra Sirenum. Udostępnili: NASA/JPL/ Malin Space Science Systems.

na Terra Sirenum i Centauri Montes w południowej części Marsa.

„Te świeże osady sugerują, że w niektórych miejscach i w niektórych momentach na współczesnym Marsie spod gruntu pojawia się ciekła woda i przez krótki czas spływa po zboczach. Ta możliwość wywołuje pytanie, w jaki sposób woda pozostaje w stanie ciekłym pod powierzchnią, jak duży może to być obszar i czy istnieje pod powierzchnią wilgotne środowisko nadające się dla życia. Przyszłe wyprawy mogą dać odpowiedź" stwierdził Malin.

Poza szukaniem zmian w rowach zespół kamery orbitalnej ocenił tempo pojawiania się nowych kraterów uderzeniowych. Kamera sfotografowała w 1999 r. około 98% powierzchni Marsa i około 30% planety sfotografowano ponownie w 2006 r. Na nowszych zdjęciach widać 20 świeżych kraterów uderzeniowych o średnicach od 2 do 148 metrów, których nie było przed siedmiu laty. Te wyniki mają istotne znaczenie dla wyznaczenia wieku utworów na powierzchni Marsa. Wyniki te w przybliżeniu zgadzają się z przewidywaniami i wskazują, że marsjański teren z niewielką liczbą kraterów jest rzeczywiście młody.

Mars Global Surveyor zaczął krążyć wokół Marsa w 1997 roku. Zawdzięczamy mu wiele ważnych odkryć. Od początku listopada NASA nie miała kontaktu z sondą. Próby nawiązania kontaktu są kontynuowane. Jej bezprecedensowa długowieczność pozwoliła na obserwowanie Marsa jeszcze przez kilka lat po zaplanowanym okresie działania.

Laboratorium Napędów Odrzutowych NASA w Pasadenie kieruje misją Mars Global Surveyor na zlecenie Dyrekcji Misji Naukowych NASA w Waszyngtonie. Więcej informacji o NASA i jej programach na stronie http://www.nasa.gov

Chondry i chondryty

Derek Sears

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 13 No. 2. Copyright © 2007 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

W pierwszych latach dziewiętnastego wieku w pewnym laboratorium w Londynie, prawdopodobnie w Królewskim Instytucie, spotkali się dwaj panowie. Byli to Edward Charles Howard, brat dwunastego księcia Norfolk, i Jacques Louis hrabia de Bournon, wybitny mineralog francuski, przebywający wówczas w Anglii, gdzie schronił się przed zamieszaniem Rewolucji Francuskiej. Spotkali się oni na prośbę sir Josepha Banksa, prezesa Royal Society, który chciał, aby obejrzeli trochę okazów kamieni i rodzimego żelaza. Joseph Banks, oficer naukowy podczas wyprawy Jamesa Cooka na południowy Pacyfik, był w Anglii końca osiemnastego wieku wybitną osobistością i te kamienie i żelazo przysyłały mu z różnych stron świata osoby, które twierdziły, że spadły one z nieba. Zaciekawiony przekazał je Howardowi i Bournonowi, aby przeprowadzili pierwsze naukowe badania meteorytów. To, co osiągnęli ci dwaj panowie, było dość niezwykłe.

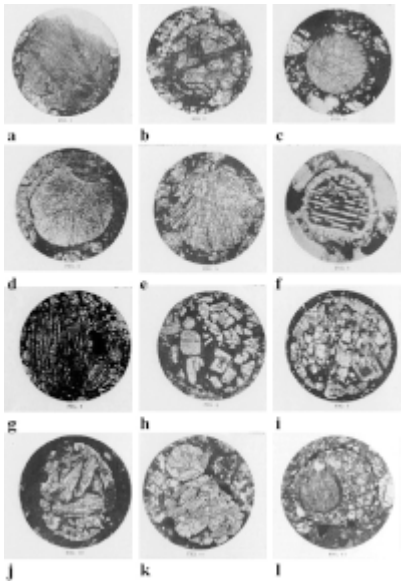
Edward Howard jak ukazuje go rycina w Królewskim Instytucie w Londynie. Rycina jest kopią popiersia z brązu, prawdopodobnie zrobionego pośmiertnie. Howard, z mineralogiem Jacquesem Louisem Hrabią de Bournon, prawdopodobnie przeprowadził pierwsze nowoczesne badania meteorytów. Jego relacja — zawierająca pierwsze obserwacje osobliwych globul, czyli chondr, w meteorytach — miała decydujące znaczenie dla rozpoczęcia poważnych, naukowych badań meteorytów.

Osobliwe kulki

Wykorzystując metody analityczne, które sam wymyślił, a które teraz są standardowe, Howard stwierdził, że kamienie są podobne pod względem chemicznym, a ziarna metalu w kamieniach, podobnie jak okazy rodzimego żelaza, zawierają świeżo odkryty i dość egzotyczny pierwiastek, nikiel. Te kawałki kamieni z nieba i rodzimego żelaza (o których krążyły legendy, ze spadły one z nieba) zostały w końcu połączone przez obiektywną moc nauki. W tych dziwnych kamieniach były licznie widoczne „osobliwe kulki", które zostały nazwane „chondrami". Zawierające je kamienie zostały nazwane „chondrytami", aby odróżnić je od dość rzadkich meteorytów — po traz pierwszy rozpoznanych jako odrębne przez chemika Berzeliusa — o których obecnie wiemy, że są pozaziemskiego pochodzenia wulkanicznego. Badania meteorytów zawsze były związane z wybitnymi naukowcami.

Krople ognistego deszczu

Były odkrywcze wyprawy po Cooku, by obserwować przejścia i zaćmienia i dostarczyły one widowiskowych obrazów aktywnego Słońca wyrzucającego ogromne ilości materii rozsiewanej w kierunku Ziemi. Na tym tle, pół wieku po Howardzie i Bournonie, akademik z Sheffield, Henry Clifton Sorby oglądał po raz pierwszy chondry przez mikroskop geologiczny wykorzystując swą nową metodę robienia płytek cienkich. Dla Sorby'ego chondry były oczywiście „kroplami ognistego deszczu" ze Słońca. Te ogromne protuberancje wychodzące ze Słońca kondensowały do postaci kropel, które zestalały się tworząc chondry. Słowa Sorby'ego niosą się echem przez lata i wciąż kierują myślami współczesnych badaczy meteorytów starających się zrozumieć, jak chondry powstały. w pewnym stopniu współcześni naukowcy zgadzają się z Sorbym. Chondry, to malutkie, całkowicie lub częściowo stopione krople skały. Ale czy rzeczywiście to Słońce je zrodziło?



Przykładowe tekstury chondr według Merrilla (1920). (a) — (g) formy szkliste, skrytokrystaliczne promieniste i belkowe (czyli nie porfirowe). (h) — (j) Formy porfirowe. (k) — (l) Chondry zespolone. Merrill nie podał skali, ale wydaje się prawdopodobne, że każde pole widzenia ma około 0,5 mm średnicy.

Stała materia Słońca

Z pewnością formowanie się tych skał ma coś wspólnego ze Słońcem; przynajmniej to, że Słońce i meteoryty wyłoniły się z tego samego obłoku materii w początkach Układu Słonecznego. Koncepcję tę potwierdziła rodząca się astronomiczna spektroskopia. Zapoczątkował ją Adolf Erik Nordenskjöld, który stwierdził, że główne pierwiastki występują w takich samych proporcjach w meteorytach i w Słońcu. H. N. Russell (od znanego diagramu Hertzsprunga-Russella) rozszerzył później tę obserwację na znacznie więcej pierwiastków. Rzeczywiście chondryty były zestaloną materią Słońca.

Tufowe meteoryty

Gdzieś pod koniec dziewiętnastego wieku systematyczne badania meteorytów pod mikroskopem zaowocowały paroma ważnymi koncepcjami. Gustav Tschermak — kustosz kolekcji w Wiedniu — opisał prawie każdy ważniejszy utwór meteorytowej petrologii i przedstawił koncepcję, że większość meteorytów jest „tufowa", czyli ma teksturę „tu-

fów", brekcji wulkanicznych. Są to skały składające się z fragmentów innych skał i pyłu, związane z wulkanami. Nie twierdził on, że meteoryty są w jakimś sensie skałami magmowymi, a tylko że ich składniki były ułożone tak, jak popioły i lawy są ułożone po gwałtownych eksplozjach wulkanicznych.

Typy chondr

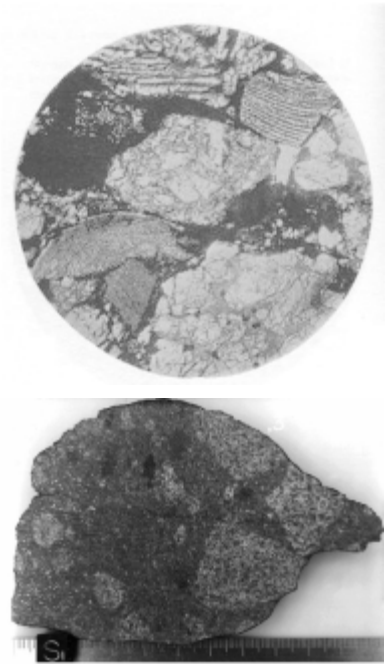
Drugą koncepcję, jaka pojawiła się w owym czasie, opisał prawdopodobnie po raz pierwszy George P. Merill, kustosz innej wielkiej narodowej kolekcji meteorytów, tej w Waszyngtonie D.C. Do określenia dwóch głównych typów struktur chondr Merill użył nie całkiem odpowiednich terminów „porfirowe" i „nieporfirowe" i to rozróżnienie zachowało się przez lata w szeregu nazw i symboli. Te dwa typy naprawdę oznaczają to, że są chondry, które zostały w znacznym stopniu stopione — i ich skład został zmieniony wskutek utraty bardziej lotnych pierwiastków, takich jak sód, potas, trochę krzemu i dużo żelaza, oraz te, które nie zostały w znacznym stopniu przeobrażone i przypuszczalnie ich skład odzwierciedla ogólny skład wyjściowej skały. Zaciekły spór w latach siedemdziesiątych XX wieku, gdy niektórzy badacze uważali, że chondry zawierają mało składników lotnych, a inni, że dużo, był częściowo spowodowany istnieniem tych dwóch typów chondr. Prawda jest taka, że niektóre mają mało składników lotnych, a niektóre dużo, chociaż nawet najniższe stopnie metamorfizmu — ogrzanie bez stopienia — mogą przenieść te lotne pierwiastki z reszty meteorytu z powrotem do chondr.

Typy chondrytów

W latach pięćdziesiątych XX wieku centrum aktywności w badaniach meteorytów zaczęło się przenosić z narodowych muzeów do uniwersytetów i agencji federalnych, zwłaszcza agencji badań kosmicznych. W klasycznej pracy Harolda Ureya i Harmona Craiga, wówczas z uniwersytetu w Chicago, zaobserwowano, że chociaż w zasadzie skład jest ten sam, meteoryty można podzielić na grupy zawierające dużo żelaza i mało żelaza. Potem dowiedzieliśmy się, że zawartość metalu i wielkość ziaren zmieniają się zależnie od grupy. Meteoryty mające najmniej żelaza mają największe chondry i największe ziarna metalu, a meteoryty mające najwięcej żelaza mają najmniejsze chondry i najmniejsze ziarna metalu. Żelazo nie jest wyjątkiem. Inne pierwiastki także zmieniają się zależnie od typu; zawartość niektórych pierwiastków zmienia się wraz z zawartością żelaza. Są to pierwiastki syderofilne (lubiące żelazo), które mają tendencję do koncentrowania się w metalu. Zawartość innych pierwiastków zależy od typu w różny sposób i dotyczy to umiarkowanie lotnych pierwiastków takich jak magnez i sód.

Zderzenie jako zjawisko planetarne

Był to także czas, kiedy rozpoczęły się badania kraterów. Odkrycie wysokociśnieniowych minerałów i pewnych



Tekstury zbrekcjowanych chondrytów. (a) „Tufowy charakter wielu chondrytów jest tu zilustrowany mikroskopowym zdjęciem Mezö Madaras" (pole widzenia 0,97 mm). (b) Meteoryt Fayetteville, który teraz nazwalibyśmy brekcją regolitową z dużą zawartością gazu. Takie meteoryty znajdowały się widocznie na powierzchniach ich ciał macierzystych, ponieważ obecnie widzimy tam pył i gruz przed wytworzeniem zwartej skały.

cech struktury było przekonującym dowodem, że kratery odkrywane za Ziemi były utworzone przez zderzenia. Kratery uderzeniowe istnieją na Ziemi i gdzie indziej, a Urey i Craig sugerowali, że w tym przypadku chondry musiały być kroplami stopu pozderzeniowego utworzonymi, gdy uderzone skały przekształciły się w ciecz, która rozbryznęła się wokół krateru.

Heroiczne lata

Lata sześćdziesiąte i siedemdziesiąte XX wieku określono „heroicznymi latami" kosmochemii, obejmującej także badania składu meteorytów. Pieniądze i energię ładowano w badania kosmiczne — pozostałość po zimnej wojnie — a dostępność wielu nowych przyrządów analitycznych oznaczała, że nowe wyniki publikowano niemal codziennie. Pojawił się nowy poziom pewności siebie i śmiałości w interpretowaniu tych tajemniczych chondrytów.

Wraz z tym nowym orężem przyrządów analitycznych pojawiła się możliwość wyznaczenia wieku nie tylko formowania się chondrytów, ale i małych różnic w wieku formowania się różnych składników. Nowe przyrządy oznaczały możliwość wyznaczania składu izotopowego coraz mniejszych składni-

Student Ryan Godsey unosi się w Vomit Comet nad aparatem zaprojektowanym do badania sposobu, w jaki ziarna krzemianów i metalu oddzielają się, gdy doznają wstrząsów w warunkach mikrograwitacji.

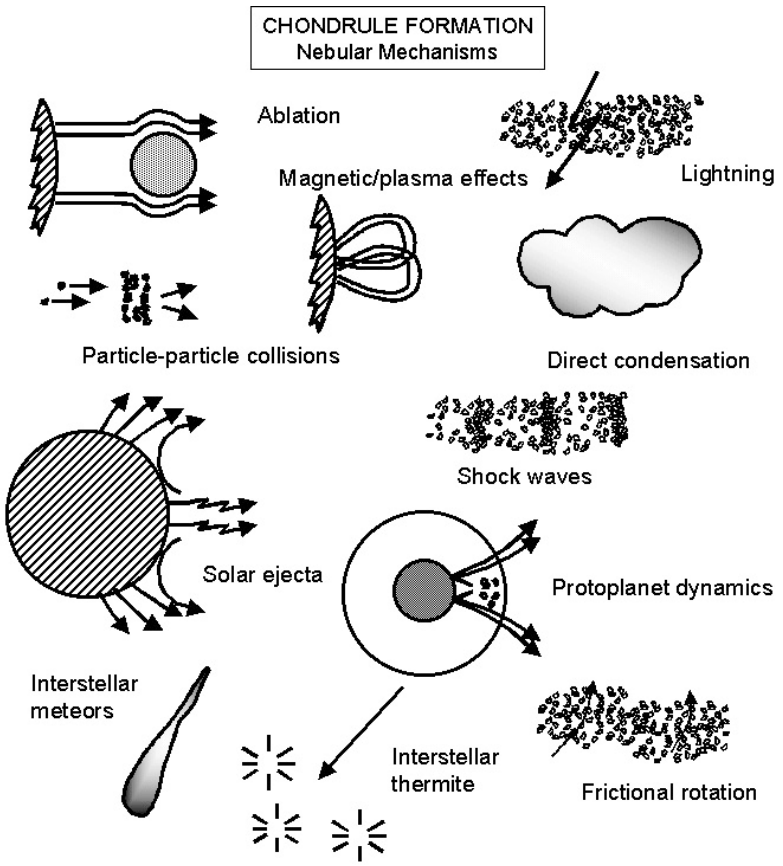
ków, a część tego składu była tak dziwna, że pojawiła się wątpliwość, czy te składniki powstały w naszym Układzie Słonecznym. Niektóre proporcje izotopów przypominały nawet te przewidywane dla procesów występujących podczas formowania się pierwiastków i być może związanych z innymi gwiazdami. Wśród izotopów niektóre były wytworzone przez obecnie wygasłe izotopy, które miały bardzo krótki czas połowicznego rozpadu, co musiało oznaczać, że odstęp czasu między końcem formowania się pierwiastków w gwiazdach, a powstaniem meteorytu, był bardzo krótki. Być może to eksplozja supernowej, oznaczająca koniec istnienia dużej gwiazdy, zapoczątkowała formowanie się Układu Słonecznego.

Te obserwacje były źródłem koncepcji, że meteoryty były bezpośrednim produktem pierwotnego obłoku gazu i pyłu, który zrodził Słońce i planety. Proporcje składników, które stały się podstawą klasyfikacji meteorytów, można było odtworzyć stosując obliczenia termodynamiczne, co sugerowało, że prosta chemia w połączeniu z pewnym mechanicznym sortowaniem składników może wyjaśnić wszystko. Nowe astrofizyczne modele młodego Układu Słonecznego i nowe spojrzenie na zachowanie młodego Słońca wspierały koncepcję, że procesy występujące w tak zwanej pierwotnej mgławicy słonecznej mogły wytłumaczyć właściwości chondr i większość własności chondrytów.

Były jednak problemy. Wciąż nie było zgody co do szczegółów, w jaki sposób formowały się chondry i typy chondrytów. Jeden z moich kolegów doliczył się 72 teorii powstawania chondr. Wykorzystywały one cały wachlarz pomysłów takich jak bezpośrednia kondensacja stopów ze stygnącej mgławicy, wyładowania elektryczne w pyle, energetyczne reakcje chemiczne w ziarnach pyłu, międzygwiazdowe meteoroidy, różne rodzaje wyrzutu materii ze Słońca, fale uderzeniowe i prądy elektryczne w pyle indukowane przez Słońce.

Badanie Księżyca

Podczas gwałtownego wzrostu aktywności badawczej związanej z przywiezieniem próbek z Księżyca geolodzy zrobili dwie obserwacje, które są ważne dla badań meteorytów. Po pierwsze tekstury skał z powierzchni



Niektóre reprezentatywne koncepcje formowania się chondr w pierwotnej mgławicy słonecznej. (a) Kilku autorów sugerowało, że chondry są materią wyrzuconą ze Słońca i utworzyły się blisko Słońca lub z materii słonecznej. Liffman sugerował, że chondry są kulkami cieczy, które oderwały się od 400 m obiektu w odległości 0,1 j.a. od Słońca. (b) Wood sugerował, że chondry formowały się przez bezpośrednią kondensację. (c) Whipple sugerował, że chondry mogły się utworzyć, gdy w młodej mgławicy słonecznej, w pyle występowały wyładowania elektryczne. (d) Sonett i inni proponowali mechanizmy wykorzystujące pola magnetyczne i plazmę. (e) Lange i Larimer sugerowali, że chondry utworzyły się w wyniku zderzeń cząstka-cząstka w mgławicy, co byłoby szczególnie ważne w pobliżu rezonansów orbitalnych, a Rassmussen i Wasson sugerowali, że chondry tworzyły się przez tarcie w wyniku rotacji różniczkowej różnych stref pyłu mgławicy. (f) Podolak i Cameron sugerowali, że ciała stałe spadające z zewnętrznej do wewnętrznej części protoplanety Jowisza wytwarzały chondry jako stop pozderzeniowy, które uciekały i wędrowały do pasa planetoid. (g) Wood także sugerował, że chondry formowały się z pyłu międzygwiazdowego, gdy wchodził od do pierwotnej mgławicy słonecznej, a Clayton sugerował, że niestabilne rodniki i reaktywne produkty pośrednie podlegały reakcjom egzotermicznym, gdy ziarna ogrzewały się wchodząc do wewnętrznej części Układu Słonecznego. (h) Hood i Horányi proponowali, że chondry wytwarzały fale uderzeniowe w pierwotnej mgławicy słonecznej.

Księżyca są bardzo podobne do tekstur meteorytów: skały wewnątrz skał; fragmenty skał zagrzebane w innych fragmentach skał i w pyle; pył zawierający częściowo lub całkowicie stopione ziarna, z których część można nazwać sferulami oraz inne, które okazały się drobnymi kropelkami stopu, które rozbryznęły się na pyle (aglutynaty). Nie powstały one na zboczach wulkanów, ale są najwidoczniej tym, co znajduje się na powierzchni pozbawionego powietrza ciała narażonego na powtarzające się zderzenia. Ludzie porównywali powierzchnię Księżyca do powierzchni planetoidy uważanej za źródło meteorytów pomino niedużych różnic z powodu różnych rozmiarów i umiejscowienia Księżyca i planetoid.

Niemal każdy geolog, który oglądał próbki z Księżyca, zwłaszcza skały przywiezione przez Apollo 14, znajdował obiekty, które nazywał chondrami lub obiektami „podobnymi do chondr". Miejsce lądowania Apolla 14, Fra Mauro, składa się przeważnie z materii wyrzuconej przez uderzenie, które wytworzyło Morze Deszczów i czas lotu stopu z miejsca zderzenia jest akurat taki, że wystarcza do wytworzenia struktur przypominających chondry. W istocie jest generalnie prawdą, że zderzenie, które wytwarza chwilowy krater o promieniu porównywalnym z uderzonym obiektem, zapewnia czas lotu dla stopu wystarczający do wytworzenia struktur chondr bez względu na to, czy obiektem jest Księżyc, czy mała planetoida.

Widowiskowa wybuchowa erupcja wulkanu St. Helens 22 lipca 1980 roku, podczas której pumeks i popiół został wyrzucony w powietrze na 10–18 km, była widoczna z Seattle, w stanie Washington, 160 km na północ od wulkanu. Ten widok jest od południa. (USGS, fot. Michael P. Doukas).

Sugestia Ureya i Craiga, że chondry były kulkami stopu pozderzeniowego, nie znalazła uznania w tych heroicznych latach. Zbyt duża była fascynacja astrofizyką i koncepcją, że chondryty formowały się w mgławicy. Nawet odkrycie chondr w skałach księżycowych nie mogło przezwyciężyć przekonania, że właściwości meteorytów zostały jakoś wytworzone w mgławicy. Były inne argumenty przeciw koncepcji zderzeniowej: prędkości zderzeń w pasie planetoid są zbyt małe, by wytworzyć stopy; wielu naukowców uważało, że na planetoidach nie ma regolitu; no i gdzie są chondry wytworzone przez niedawne zderzenia.

Badania planetoid

W latach dziewięćdziesiątych XX wieku badacze meteorytów byli świadkami czegoś o doniosłym znaczeniu. Program badań kosmicznych dostarczył im pierwszych zdjęć planetoid zrobionych z bliska. Najpierw statek Galileo po drodze do Jowisza, potem wyprawa NEAR-Shoemaker do Erosa i ostatnio wyprawa sondy Hayabusa do planetoidy Itokawa dały nam zupełnie nową perspektywę — perspektywę astronomiczną i geologiczną — na naturę ciał macierzystych meteorytów. Po pierwsze powierzchnia planetoid wygląda raczej jak powierzchnia Księżyca, z licznymi kraterami, głazami i grubą warstwą regolitu. Planetoidy mają także bardzo małe gęstości sugerujące niezbyt zwarte wnętrze z powodu obecności wody, wysokiej porowatości, albo jednego i drugiego.

Osobisty pogląd

Nowe dane z planetoid zmieniły wszystko. Po 200-letnich staraniach, by zrozumieć chondry i chondryty zbliżamy się w końcu do zrozumienia i to program kosmiczny i badania Układu Słonecznego pomogły nam ostatecznie rozwiązać ten problem.

Parę lat temu zespół naukowców i studentów University of Arkansas wzniósł się na pokładzie „Vomit Comet" NASA, samolotu, który wznosi się i opada, by wytworzyć dwudziestosekundowy stan nieważkości, gdy wchodzi na wierzchołek swej parabolicznej trajektorii. Zabrali oni około 300 plastykowych rurek wypełnionych różnymi mieszankami piasku i żelaza. Próbowali oni zobaczyć, jak takie mieszanki zachowają się w warunkach mikrograwitacji. Była nadzieja, że da nam to podpowiedź, jak zachowują się na powierzchniach planetoid mieszaniny typu chondrytowego. Dostaliśmy wyniki przypominające różne typy meteorytów, ale ten eksperyment nie był doskonały i powtórzyliśmy go po roku z lepszym zaprojektowaniem doświadczeń i lepszymi metodami obserwacji. Typy chondrytów mogą być wynikiem procesów zachodzących na powierzchni planetoid. Badania teoretyczne i doświadczenia laboratoryjne wytworzyły większe przekonanie, że to mieszanie i osiadanie grubych warstw pyłu na powierzchniach planetoid wytworzyło różne typy chondrytów. Co jednak z chondrami?

Zawsze miałem poważne wątpliwości, czy chondry powstały w mgławicy. Najpierw niepokoiła mnie liczba proponowanych mechanizmów. Żadna koncepcja nie wydawała się całkowicie satysfakcjonująca, chociaż wydawało się, że jest ich niezliczona ilość. Potem zwróciłem uwagę, że po prostu wydaje się zbyt trudne wyjaśnienie szczegółów budowy chondr przez procesy w mgławicy. Po pierwsze, mgławica składała się w większości z wodoru, który zgarnąłby cały tlen, by wytworzyć wodę, a jednak w większości meteorytów tlenu nie brakowało. Po drugie, chondry wystawione na otwartą

Fig. 7. Eros widoczny ze statku NEAR-Shoemaker z wysokości 38 km ukazuje powierzchnię zdominowaną przez pokrywę regolitu z głazami i kraterami. Cały obraz ma około 1,1 km szerokości.

mgławicę utraciłyby wszystkie składniki lotne i stygłyby bardzo szybko, a jednak większość chondr ma dużo składników lotnych i wszystkie one stygły powoli.

Przyjrzałem się więc ponownie argumentom przeciw temu, że chondry mogą być kulkami stopu pozderzeniowego i wydaje mi się, że żaden z tych argumentów nie wytrzymał próby czasu. Wiemy teraz, że grawitacyjne oddziaływania z Jowiszem powodowały energetyczne zderzenia w pasie planetoid. Wiemy też, że grube warstwy regolitu na planetoidach oznaczają wydajne wytwarzanie stopu, stopionej skały, która może być rozproszona w chmurze pyłu po zderzeniu jako mgiełka drobnych kulek, a potem powoli stygnąć tworząc kulki, które spadną jako deszcz na planetoidę.

Tak więc, moja osobista wizja formowania się chondr i chondrytów, to chmura po zderzeniu podobna na przykład do tej nad wulkanem St. Helens. Chociaż to nie wulkaniczna eksplozja wytworzyła tę chmurę, ale potężne zderzenie tego typu, który mógł występować tylko w początkach formowania się Układu Słonecznego, takie, po którym chwilowy krater miał rozmiary porównywalne ze średnicą trafionej planetoidy. i to nie magmy w skorupie ziemskiej brały w tym udział, ale planetoida ze wszystkimi właściwościami zestalonej materii słonecznej; o składzie chemicznym Słońca, pełnej wody i związków organicznych, bez chondr i metalu, coś zbliżonego do naszych obecnych poglądów na najbardziej pierwotne meteoryty czy jądra komet. Dla mnie, chociaż wiele śladowych składników meteorytów zostało wytworzonych w innych układach gwiezdnych lub w ośrodku międzygwiazdowym, to główne właściwości meteorytów — uformowanie się chondrytów i chondr — są rezultatem ich historii zderzeniowej w grubej warstwie regolitu planetoid w ciągu kilku pierwszych milionów lat.

E-mail: dsears@uark.edu

Dr Derek Sears jest profesorem na Wydziale Chemii i Biochemii University of Arkansas. Jest dyrektorem Arkansas Center for Space and Planetary Sciences i szefem Cosmochemistry Research Group. Interesują go laboratoryjne badania pozaziemskiej materii, stabilność wody na Marsie, procesy na powierzchni planetoid i komet, historia meteorytyki, chemiczne i fizyczne badania chondrytów i formowanie się chondr.

Gdy przekazałem ten artykuł do druku, niespodziewanie zmarł mój przyjaciel i mentor, Robert Hutchison, wieloletni kustosz meteorytów w British Museum. Przez połowę mojej kariery nie zgadzałem się z nim na temat pochodzenia chondrytów i chondr i dopiero niedawno doszedłem do przekonania, że miał rację. Wydaje się stosowne, że zadedykuję Jemu ten artykuł.

Dr Guy J. Consolmagno: Kustosz Watykańskiej Kolekcji Meteorytów,

Część I

Wywiad przeprowadził Larry A. Lebofsky

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 13 No. 1. Copyright © 2007 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Dr Guy J. Consolmagno, S.J. (Towarzystwo Jezusowe), dla przyjaciół Brat Guy, jest od wielu lat moim przyjacielem, kolegą naukowcem i jezuitą, który jest kustoszem watykańskiej kolekcji meteorytów, jednego z największych zbiorów meteorytów na świecie. Jest to prawdopodobnie najtrudniejszy wywiad, jaki kiedykolwiek przeprowadziłem (prawdę mówiąc chyba mój pierwszy). Jak zadawać pytania osobie, którą znam od ponad 30 lat? Po raz pierwszy spotkaliśmy się, gdy Guy kończył studia, a ja byłem doktorantem w Massachusetts Institute of Technology (MIT). Nawet moja żona i współredaktor, Nancy, zna go niemal równie długo. Zacząłem więc wywiad nie wiedząc nawet, o co zapytać. Moje pierwsze pytanie do Guya brzmiało: o co powinienem Ciebie zapytać? Jego odpowiedź była doskonała: „Oto sześć pytań, których nikt mi jeszcze nie zadał."

LAL: Guy, od czego zacząłeś i jak dotarłeś tam, gdzie jesteś teraz?

GJC: Myślę, że jest to pytanie numer jeden, którego nikt nie zadaje. Jest trochę meteorytyków, którzy zaczynali od dziennikarstwa. Większość osób nie wie, że zaczynałem od dziennikarstwa. Jest nas niemało. Tim Swindle, który jest profesorem University of Arizona, studiował dziennikarstwo, geologię wziął jako przedmiot dodatkowy i zakochał się w niej. Myślę, że Clark Chapman [Southwest Research Institute] zaczął najpierw od dziennikarstwa.

LAL: Zgadza się.

GJC: W moim przypadku studiowałem historię w Boston College chcąc być dziennikarzem i nie lubiłem BC głównie dlatego, że nie było zabawnie, ja chciałem się uczyć, a ich interesowało tylko życie towarzyskie. Jednak mój najlepszy przyjaciel poszedł do MIT, więc przeniosłem się i podczas rozmowy kwalifikacyjnej powiedziałem, że zamierzam zajmować się dziennikarstwem naukowym. Rzeczywiście zamierzałem to robić nawet gdy byłem

na ostatnim roku, nawet gdy prowadziłem badania z Johnem Lewisem [obecnie na University of Arizona]. Ostatecznie zamierzałem być naukowym dziennikarzem. To, co odkryłem, to fakt, że paradoksalnie łatwiej jest prowadzić badania naukowe niż pisać o nich. Wiesz o tym, bo robisz jedno i drugie. Większość ludzi, którzy tego nie robią, nie zdaje sobie sprawy, jak trudno jest przekazać informacje o badaniach, które prowadzimy, ludziom, którzy z nauka nie mają do czynienia. Bardzo ładnie ujął to Tim Swindle. Powiedział, „Celem artykułu w gazecie czy czasopiśmie jest przekazanie jak najwięcej informacji, jak największej liczbie osób, najdokładniej jak tylko się da. Publikacja naukowa jest tak skonstruowana, aby zagwarantować jak najmniejszą ilość błędnych informacji, nawet jeśli to powoduje, że w pierwszej chwili trudno ją zrozumieć."

LAL: Święta prawda!

GJC: To dlatego prace naukowe wydają się tak hermetyczne, trudne do przeniknięcia. Lepiej jednak nie dostać niczego, niż zyskać błędne pojęcie.

LAL: A czasem osobie piszącej pracę wydaje się, że im bardziej hermetycznym językiem jest ona pisana i im mniej ludzi może ją zrozumieć, tym bardziej jest prestiżowa. [śmiejemy się obaj] O, mówią mi coś, czego nie wiem, albo nie rozumiem, więc to musi być dobre.

GJC: To prowadzi do drugiego rodzaju ważnych pytań, których nikt nie zadaje, to znaczy: „Dlaczego zajmujesz się nauką?" Większość ludzi opowie na to w sposób dość górnolotny: „Chcę badać tajemnice wszechświata." Ale to nie jest to, co stawia cię rankiem na nogi. To był problem, który stanął przede mną, gdy po doktoracie pracowałem u Ala Camerona.

LAL: Gdzie pracowałeś po doktoracie?

GJC: W Harvard Smithsonian Center for Astrophysics. Po uzyskaniu licencjatu i magisterium w MIT, spędziłem trzy lata w University of Arizona, gdzie uzyskałem najszybszy doktorat na świecie; nie lubię klimatu Arizony.

LAL: Wszyscy to dobrze wiemy [Guy się śmieje]. To się nie zmieniło.

GJC: To się nie zmieniło! Wróciłem do Bostonu, który zawsze lubiłem. Miałem doktorat i nagle miałem pracę, której zawsze chciałem, w miejscu, którego chciałem, pracując dla cudownego i błyskotliwego człowieka. a jednak miałem trudności o siódmej, czy ósmej czy dziewiątej czy dziesiątej rano, by znaleźć powód, dla którego powinienem wstać z łóżka, ponieważ moja motywacja znikła. Ciekawe byłoby spytać innych naukowców, co skłania ich do podejmowania codziennych obowiązków. w szerszej perspektywie trafiliśmy do tej dziedziny z różnych powodów, ale to jest praca i to ciężka praca, a czasem niewdzięczna praca i masz do czynienia z rzeczami, których robić nie chcesz.

Kiedyś, gdy przygotowywałem pracę magisterską na MIT, pracowałem także społecznie w sąsiedztwie, jako ktoś w rodzaju starszego brata. Był tam dziewięcioletni dzieciak, Jay Chandler, a ja próbowałem nakłonić go do czytania. Przynoszę książki i mówię, „Czy możesz przeczytać mi rozdział pierwszy?", a on mówi, „Nie!" a ja mówię, „Dlaczego nie?" a on na to, „bo nie chcę," a ja mówię, „No dobrze, tylko przeczytaj…" a on mówi, „Ty nie rozumiesz. Ja nie chcę!" Wiesz, to był sobotni ranek i on chciał się bawić. Potem wracam do mojego pokoju w MIT, patrzę na moją pracę magisterską i te wszystkie programy, które trzeba poprawić, i mówię sobie, „Ale ja nie chcę!" [śmieje się] Wiesz, wszyscy jesteśmy dziećmi. Wszyscy mamy te same odczucia. Różnica jest taka, że gdy jesteś studentem, albo gdy jesteś dorosłym, to robisz rzeczy, których nie chcesz robić.

LAL: To pojawiło się we wczorajszej rozmowie na temat projektu, w którym uczestniczę. Co naprawdę sprawiło, że zająłeś się tym, co robisz? Prawdopodobnie nie było to dokładnie to, co robisz teraz. Jest coś, co zainteresowałoby ciebie, gdybyś był małym dzieckiem. Parę tygodni temu widziałem film *The Adventures of Rocky and Bullwinkle*. Agentka FBI czy CIA, mniejsza o to, miała w sobie małą dziewczynkę i to było to, co ją ekscytowało. Myślę, że to jest to, co przydarza się nam wszystkim.

GJC: Większość z nas spędza życie spełniając marzenia z dzieciństwa, albo uciekając przed nimi. Stwierdzam to teraz, gdy rozmawiam z ludźmi, którzy w dzieciństwie lubili te same książki, a w zabawny sposób zetknąłem się z tym na tym spotkaniu [konferencja nauki o Księżycu i planetach] gdy spotkałem paru studentów, ludzi dwudziestoparoletnich, którzy powiedzieli, „O, czytałem pana książkę, *Turn Left at Orion,* gdy byłem dzieckiem i to mnie skłoniło do zainteresowania się astronomią." Część mego ja jest zachwycona, bo po to tę książkę pisałem, a część mego ja jest przerażona, ponieważ teraz są absolwentami i zdają sobie sprawę, że podstępnie wciągnąłem ich w to nędzne i trudne życie, ponieważ bycie absolwentem może nie być łatwe. Tak więc to codzienne, „Dlaczego to robisz?" zgubiłem, gdy zbliżałem się do trzydziestki.

Miałem wspaniałego profesora, którego znasz dobrze, ponieważ także dla niego pracowałeś, Johna Lewisa, który mnie inspirował. Pod pewnym względem nie było to dobre, ponieważ powodem, który skłaniał mnie do dobrej pracy, była chęć uzyskania pochwały od profesora, którego uwiel-

Fot. 1. Watykańskie obserwatorium w Castel Gandolfo. Biblioteka Obserwatorium zawiera ponad 22000 tomów i posiada cenną kolekcję starodruków, w tym dzieła Kopernika, Galileusza, Newtona, Keplera, Brahego, Claviusa i Secchiego. **Udostępniło: Arizona U./Vatican Observatory.** ***Podpisy do zdjęć z NASA,*** **Astrobiology Magazine:** ***www.astrobio.net (2004).***

białem. Zdaję sobie sprawę, że to już nie działa. Nie działa, gdy masz już trzydziestkę na karku. To nie wystarczy, by skłonić cię rano do wstawania. Dla niektórych ludzi to jest praca, którą muszą wykonać. Są klasy, które trzeba uczyć. Są prace, które trzeba napisać. Jeśli tego nie zrobią, nie będą mieli co jeść i nie będą mogli wyżywić rodziny. Ale dla nich przekształciło się to w harówkę, w zwykłą pracę. Sporo czasu zabrało mi odzyskanie w końcu sensu tego, „Jestem tak pochłonięty szukaniem, jakie może być rozwiązanie problemu, nad którym pracuję, że obudzę się w środku nocy mówiąc, 'O, mogę zrobić wykres zależności tej zmiennej od tej. Ciekawe, czy mi to coś da.'" Być rzeczywiście zakochanym w samej materii. Być zakochanym w meteorytach samych w sobie.

GJC: Tak więc trzecie pytanie, którego nikt nie zadaje, jest: „Ze wszystkich rzeczy w nauce o planetach, dlaczego meteoryty?" Jest to ciekawe pytanie dla czytelników kwartalnika *Meteorite*, ale także dla mnie. Zyskałem taką możliwość, gdy zacząłem pracować w Watykańskim Obserwatorium. Kiedyś muszę opowiedzieć o tym po kolei, bo nie była to prosta droga.

LAL: Właśnie chciałem powiedzieć, że nie zajmowałeś się meteorytami, gdy się poznaliśmy.

GJC: Zgadza się. Dlaczego by nie zacząć tej opowieści teraz? Najpierw był Boston College, gdzie studiowałem historię w 1970 r., potem MIT, gdzie studiowałem nauki o Ziemi i planetach w 1971 r. Byłem tam na drugim roku. Wybrałem naukę o planetach, ponieważ myślałem, że to astronomia — nie wiedziałem, że planety, to co innego, nie wiedziałem, że to geologia. ***Nigdy nie zostałbym geologiem*** gdybym wiedział, że to jest to, w co się pakuję, ponieważ uważałem, że skały są nudne. Skończyłem studia w 1974 r., uzyskałem magisterium w 1975 r., pojechałem do Arizony, uzyskałem doktorat w 1978 r., po doktoracie pojechałem do Harvard Smithsonian Center for Astrophysics. Spędziłem tam dwa lata i w 1980 r. pojechałem do MIT, pracowałem tam trzy lata z Seanem Solomonem i Nafi Taksözem, i tak nadszedł rok 1983, kiedy porzuciłem naukę i wstąpiłem do Korpusu Pokoju, ponieważ właśnie wtedy miałem ten kryzys dotyczący tego, co robię ze swym życiem. Dlaczego to robię?

Fot. 2. Watykański Teleskop Zaawansowanej Technologii (VATT) **Udostępniło: VATT/Arizona.**

LAL: A Nancy wówczas utrzymywała z Tobą kontakt listowny!

GJC: Muszę podkreślić, że Nancy była bardzo zaangażowana w moja pracę doktorską. Pisała ją na maszynie! Wtedy jeszcze nie było edytorów tekstu.

LAL: W ten sposób zwykle zarabiała na wakacje, zanim się pobraliśmy. Jaki był temat Twojej pracy?

GJC: Pisałem na temat elektromagnetyzmu w mgławicy słonecznej.

LAL: Tak, uwielbiała pisać równania z indeksami dolnymi i górnymi na maszynie elektrycznej IBM.

GJC: To były piękne dni! Tak więc dotarliśmy do roku 1983 i byłem w Korpusie Pokoju. Porzuciłem naukę, ponieważ nie mogłem zrozumieć, dlaczego ludzie zajmują się nauką, gdy na świecie panuje głód. Wyruszyłem więc do Afryki, gdzie ludzie przymierają głodem, a oni poprosili mnie, by zająć się nauką. Poprosili mnie, bym uczył astronomii na uniwersytecie.

LAL: Pamiętam to.

GJC: I mieli rację. Pokazali mi, że Afrykanie, tak jak każdy inny człowiek, mają tę sama ludzką ciekawość wszechświata i pragną ją zaspokoić; łakną czegoś więcej niż tylko żywności. w 1985 roku zakończyłem pracę dla Korpusu Pokoju i uzyskałem posadę wykładowcy w Lafayette College.

LAL: Jeśli dobrze pamiętam, miałeś możliwość zostania na dłużej.

GJC: Mogłem zostać jeszcze rok, ale zrezygnowałem z tego. Okres kontraktu w Korpusie Pokoju jest inny niż rok akademicki, wiec albo musiałem odejść kilka miesięcy wcześniej, albo zostać przez dodatkowe sześć miesięcy. Odszedłem parę miesięcy wcześniej, ponieważ praca była w tym momencie zakończona i kontrakt zrealizowany. Przez cztery lata pracowałem więc w Lafayette College, co lubiłem. w gruncie rzeczy lubię uczyć. Czułem jednak, że brakuje mi jednej rzeczy, którą miałem w Korpusie Pokoju: reprezentowania więcej niż tylko siebie. w Korpusie Pokoju byłem i nauczycielem i przedstawicielem Stanów Zjednoczonych. Przy wszystkich jego problemach lubię ten kraj i lubię go reprezentować. Lubię reprezentować coś większego niż ja sam.

Z paru powodów zakon Jezuitów był dla mnie atrakcyjny. Całe życie byłem katolikiem i zawsze chodziłem do kościoła. Po prostu nigdy o tym nie mówiłem. Nie jest to coś, czym wypada się chwalić; nie jest to przyjęte, ani zrozumiałe w tym towarzystwie. Ale to było zawsze coś, co mnie interesowało. Nie wyglądało to, jakbym przeżył jakieś wielkie nawrócenie. Zrobiłem jednak jedno ważne obliczenie matematyczne. w tamtym momencie dobiegałem czterdziestki i właśnie rozstałem się z kimś, z kim spotykałem się przez chyba pięć lat. Pomyślałem, że nawet jeśli spotkam panią Cudowną, to zanim założymy rodzinę, będę już czterdziestolatkiem. Oznacza to, że gdy dzieci będą nastolatkami, będę miał już sześćdziesiąt pięć lat. Weź to teraz dodaj, dodaj dziesięć lat do 40 i spróbuj uzyskać 60, a zobaczysz, że omyliłem się o dziesięć lat! Nie potrafię dodawać. No proszę, mam dwa tytuły z MIT i doktorat i nie potrafię dodać piętnaście do 40 i dostać 55 zamiast 65.

LAL: Rząd wielkości.

meteorytomania FORUM
Internetowe forum dyskusyjne http://meteorytomania.info

GJC: Tak więc z powodu tej matematycznej głupoty zdecydowałem, że pora zastanowić się nad planem B, poszukać życia, gdzie mógłbym uczyć, ale reprezentując coś większego, niż ja sam, a Jezuici są zakonem nauczającym. Wstąpiłem do Jezuitów jako brat. Dlaczego, to jest zupełnie inna kwestia, ale czułem, że to jest moje powołanie i myślałem, że będę uczył w jakimś niedużym college'u. Na przykład w Fordham, a może w Georgetown albo Boston College. Zamiast tego, po czterech latach w zakonie Jezuitów, otrzymałem z Rzymu list kierujący mnie do Watykańskiego Obserwatorium, gdzie miałem zostać pełnoetatowym badaczem. Jedynym poleceniem, jakie otrzymałem, było „rób dobre prace naukowe."

LAL: Ciekawe.

GJC: Wtedy nie chciałem tego robić. Chciałem uczyć. Ale ślubowałem posłuszeństwo, ubóstwo i czystość, więc kiedy kazano mi jechać do Rzymu, musiałem zająć się zbiorem tysiąca meteorytów, musiałem patrzeć na całą tę „nudną scenerię," i jeść to „okropne włoskie jedzenie". Cóż mogłem zrobić innego, jak być posłuszny? W rzeczywistości okazało się to wspaniałe, jak możesz sobie wyobrazić.

LAL: Tak. Kiedyś muszę tam się wybrać.

GJC: To prowadzi do tego trzeciego pytania (w końcu!), czyli: „Dlaczego meteoryty?" Przybywam do Castel Gandolfo, mam doświadczenie naukowe obejmujące geofizyczne modele lodowych księżyców, modele komputerowe, modele mgławicy słonecznej, które są modelami analitycznymi, więc mogę posługiwać się równaniami, umiem obchodzić się z komputerami. Robiłem mnóstwo różnych rzeczy. Zajmowałem się skałami księżycowymi. Robiłem geochemiczne modele skał księżycowych. W tym momencie, to jest w latach dziewięćdziesiątych XX wieku, nagle znów ożywa program kosmiczny, mamy dane napływające z nowych wypraw, mógłbym zainteresować się Marsem. Czy powinienem wrócić do badania pól magnetycznych w plazmie? Pól magnetycznych wokół układów pierścieni? Skał księżycowych? Modeli lodowych księżyców? Sonda Galileo miała zaraz przysłać wspaniałe obrazy. Z tego wszystkiego jeden temat, którym się zajmowałem jako magistrant, przez krótki czas, to były chemiczne modele eukrytów. Inna rzecz, jaką pamiętam, to, gdy studiowałem w MIT, wykładami, które sprawiały, że budziłem się rano pełen zapału, były wykłady Johna Lewisa o meteorytach. Budziłem się we wtorek rano i myślałem, „dziś jest wtorek, idę na meteoryty!" Coś w nich już wtedy było tak pasjonującego, że dosłownie wyganiało mnie z łóżka.

Innym zdarzeniem było to, że pojechałem na konferencję Meteoritical Society w Pradze, w 1994 roku, po prostu sprawdzając wszystkie możliwe miejsca, i odkryłem społeczność meteorytową. Stwierdziłem, że nie tylko dziedzina mnie pasjonuje, ale i ci ludzie mi się podobają. Nie mówię, że w innych dziedzinach ludzie są niesympatyczni, chociaż w niektórych są. Mam przyjaciół także w tych innych dziedzinach. Ale cała atmosfera meteorytowego środowiska; jest ono małe, jest przyjazne, bez sztywnych reguł. Jeśli nie robisz dobrej roboty, ludzie powiedzą ci o tym, ale potem pójdą z tobą na drinka. Nie ma poczucia rywalizacji. Nie ma poczucia, że zaangażowane są wielkie pieniądze, tak jak w niektórych innych dziedzinach. Fakt, że nie mamy związanych z tym wypraw sond kosmicznych, jest pod pewnymi względami korzystny.

LAL: Dla mnie prawie to samo jest, jeśli chodzi o geologów i astronomów. Jako magistrant byłem na wydziale astronomii, ale miałem także szansę pracować nad misją Marinera z Bruce Murrayem. Była to najlepsza rzecz, jaka mi się kiedykolwiek przytrafiła, ponieważ to byli bardzo różni ludzie. Byli tam ludzie, którzy badali kosmos z daleka, co ja też robię, i ludzie, którzy lubią mieć rzecz w ręku i naprawdę analizować mały kamień, który mają w rękach. To jest duża różnica.

GJC: To jest duża różnica i myślę, że to jest część tego „dlaczego" pasjonuje mnie badanie meteorytów. To jest kosmos, którego możesz dotknąć. To jest daleki kosmos, który stał się realny. To jest fizyczny dowód, że to niebieskie tam w górze, co nazywamy niebem, to nie jest nieprzenikalna tarcza odgradzająca nas od wszechświata, ale że wszechświat może zejść na dół i dotknąć nas, a my możemy dotknąć jego. Samo to poczucie namacalności jest dla mnie bardzo emocjonujące. Także fakt, że mam do czynienia z ludźmi, którzy mogą dotknąć takich rzeczy. w głębi duszy wciąż jestem teoretykiem, nawet jeśli teraz robię doświadczalne prace dotyczące meteorytów i obserwuję przez teleskop niektóre obszary źródłowe meteorytów. Wciąż jestem przede wszystkim teoretykiem. To jest to, czego się nauczyłem i co lubię. a jednak lubię zajmować się meteorytami, ponieważ mając teorię, mam kamień, by ją przetestować! Mam namacalną prawdę, do której mogę się odwołać.

LAL: Jesteś jedną z niewielu osób, które rzeczywiście robią to, co według mnie jest bardzo ważne, to znaczy powiązanie punktu światła tam w górze, który wędruje po niebie i potrzebny jest teleskop, by spojrzeć na niego, z tą rzeczą, która jest na ziemi. Jest takie powiązanie.

GJC: Znalazłem pokrewną duszę, gdy w latach dziewięćdziesiątych byłem w Arizonie. Watykańskie Obserwatorium ma dwie filie, jedna w Castel Gandolfo, którą lubię, a drugą znowu w Tucson, skąd starałem się wydostać najszybciej, jak to możliwe. Znów tu jestem. Ale spotkałem w latach dziewięćdziesiątych pokrewną duszę, Dana Britta, który jest podobnie geologiem, który mówi, że jego lornetka przypadkiem stała się teleskopem. Od razu mieliśmy znakomity kontakt, ponieważ myślę, że się wzajemnie uzupełniamy. Ja mam pomysł, jakiego rodzaju pomiary chciałbym zrobić, a on od razu wie, jak zrobić te pomiary i gdzie dostać wyposażenie. Potrafi pomysły zamieniać w czyn.

LAL: Jeszcze jedna osoba, która zaczęła od zupełnie innej dziedziny, sprzedaży samolotów.

GJC: Myślę, że to jest jedna z zalet meteorytyki; niewiele jest osób, które zajmują się meteorytami od momentu, gdy pojawiły się na świecie. Ty podchodzisz do meteorytów z innego punktu widzenia i każdy podchodzi do nich z innego punktu widzenia. Oznacza to, że mamy sobie do przekazania trochę

opowieści, których nie słyszeliśmy już miliony razy. To byłoby więc pytanie numer trzy, „dlaczego meteoryty?"

LAL: Czym więc się zajmujesz? Myślę, że mógłbyś wspomnieć trochę o tym, co robisz jako naukowiec.

GJC: Wyobraź sobie, że jest to pytanie numer cztery, które ludzie rzadko zadają.

LAL: Doprawdy?

GJC: Och, mówią, jest pan naukowcem, a większości reporterów zbytnio to nie interesuje. Nie robią oni wywiadu dla czasopisma *Meteorite*, którego czytelnicy są zainteresowani nauką.

LAL: A czy pytają o twoją religię?

GJC: Tak, zostawimy to, jako pytanie numer pięć. Przybyłem do Watykanu i odkryłem, że jest tam zbiór ponad 1000 meteorytów. Myślę, że zajmuje 22 miejsce na świece pod względem liczby okazów, reprezentujących około 500 różnych spadków. Moim pierwszym zadaniem było po prostu uporządkowanie go. Wszystkie były wrzucone do tuzinów, tuzinów szufladek. Uporządkowano je w latach osiemdziesiątych, ale ten porządek już zniknął zgodnie z prawem entropii. Porządkując je musiałem je wziąć do ręki i zobaczyć całkiem z bliska, jak rzeczywiście wyglądają meteoryty. Myślę, że więcej astronomów powinno to zrobić.

LAL: Myślę, że to jest coś, co potrzebuję zrobić. To znaczy zrobiłem trochę jako student. Znam ich nazwy i wiem mniej więcej, jak wyglądają. Czy jednak wiem, jak rzeczywiście wyglądają? Co bym zrobił, gdyby ktoś przyniósł mi meteoryt? Czy rzeczywiście wiedziałbym, co to jest?

GJC: Przede wszystkim pewne rzeczy, które byłyby oczywiste dla kogoś, kto miał meteoryty w ręku, były zupełnie zaskakujące dla kogoś takiego jak ja, który był uczony teorii. Wiem wszystko na temat widm, ale wiesz, wszystkie meteoryty są szare, chyba że są zwietrzałe. Jeśli zamierzasz spróbować odróżnić typy meteorytów używając światła widzialnego, to różnice są bardzo delikatne. Ale te różnice są. Musisz uświadomić sobie, w jakiej skali możesz je zobaczyć. Poza tym jednak uświadomiłem sobie, że mam ten zbiór. Była to bardzo osobliwa kolekcja, ponieważ był to zbiór kolekcjonerski, co oznacza, że nie mieliśmy dużych ilości jakiegoś szczególnego meteorytu i nie mieliśmy sprzętu do ich badania.

Miałem więc zbiór, czyli odpowiedź, szukając pytania. Wróciłem do mojej starej teorii i powiedziałem, gdy interesowałem się meteorytami, jakie były rodzaje problemów, jakie podstawowe dane na ich temat zawsze chciałem mieć? Robiłem modele geofizyczne, a w takich modelach jednym z kluczowych parametrów jest gęstość materii. Wtedy, kiedy robiłem te modele, byłem zdumiony, jak trudno było znaleźć dobre dane na temat gęstości. Wspomniałem o tym Danowi Brittowi i we dwójkę zmontowaliśmy sprzęt potrzebny do pomiaru gęstości, zarówno gęstości ziaren, czyli rzeczywistej gęstości skały bez wliczania wszystkich pustych miejsc wewnątrz niej, jak i średniej gęstości, z uwzględnieniem zewnętrznej objętości. Zastosowaliśmy po raz pierwszy nowy sposób mierzenia całkowitej objętości, który zupełnie nie jest destrukcyjny i jest stosunkowo prosty, ale działa i to działa zadziwiająco dobrze. Mając te dwie liczby uzyskujemy nie tylko gęstość, która wchodzi do modeli fizycznych, ale także porowatość; jak wiele jest pustej przestrzeni.

Wówczas, wiedząc z teorii, że meteoryty powstały w Mgławicy Słonecznej z obłoku gazu i pyłu, założyłem, że przyczyną pustej przestrzeni jest fakt, że skały nie zostały całkowicie ściśnięte. Zaczęliśmy oglądać niektóre z nich w płytkach cienkich pod mikroskopem elektronowym, by sprawdzić, czy rzeczywiście można zobaczyć te puste miejsca, i stwierdziliśmy, że nie są one niecałkowicie ściśnięte. Są one bardzo dobrze ściśnięte. Większa część porowatości, a w niektórych skałach całość, jest spowodowana tylko przez spękania biegnące przez skałę. Rozmawiałem z innymi ludźmi zajmującymi się tą tematyką i stwierdziłem, że te mikroszczeliny są skutkiem przechodzenia fal uderzeniowych, ponieważ te meteoryty uczestniczyły w zderzeniach. Jest to zupełnie inna koncepcja porowatości, niż wyobrażano sobie dotychczas, ponieważ w końcu mieliśmy dane i obrazy.

Prowadzi to do pytania, co ściskało meteoryty, co powodowało lityfikację skały? Jest ładna, poglądowa koncepcja, którą Hap McSween zaprezentował w jednej ze swych popularnonaukowych książek, że skały w pasie planetoid są kosmicznymi skałami osadowymi, że meteoryty są kosmicznymi skałami osadowymi. To dobra koncepcja. Okazuje się, że to tylko pół prawdy, ponieważ skały osadowe na Ziemi są zlepiane w całość przez działanie wody, ciepła lub wysokiego ciśnienia, a wiemy, że w pasie planetoid nie występują te trzy czynniki: woda, ciepło czy wysokie ciśnienie.

LAL: Dobrze, ale woda jest na planetoidach.

GJC: Ale nie woda, która może cementować kamienie. Nie ma wysokiego ciśnienia w postaci ciśnienia litostatycznego. Są jednak zderzenia. To dzięki zderzeniom skały są cementowane w całość. Tak się złożyło, że gdy kończyliśmy pomiary, pojawiły się pierwsze naprawdę dobre pomiary gęstości planetoid zrobione przez statki kosmiczne. Odkryliśmy, że planetoidy mają znacznie mniejszą gęstość niż meteoryty, o których myślimy, że pochodzą z planetoid. Zmieniło to całkowicie nasze pojmowanie, jak planetoidy są składane w całość i to jest tak, że im więcej się w tym grzebiesz, im więcej masz informacji, tym bardziej widzisz, że planetoidy musiały zostać rozbite i scementowane ponownie. Co jednak się dzieje, gdy łączą się one ponownie? Jakie kształty mają? Dlaczego wszystkie są wydłużone? Dlaczego wszystkie wyglądają jak ziemniaki? Dlaczego wiele z nich wygląda jak ziemniaki z załamaniem? Myślę, że mogę zrozumieć kształt ziemniaka, ale nie jestem pewien, czy rozumiem jeszcze to załamanie.

LAL: Cóż, to załamanie mogło się pojawić, gdy dwie bryły spotkały się pod pewnym kątem.

GJC: Ale czy jest to zawsze ten sam kąt, czy występuje tu jakaś prawidłowość, czy też jest on przypadkowy? Jeszcze nie wiemy. i to właśnie polowanie na dalsze odkrycia jest istotą mojej pracy naukowej.

Dr Guy J. Consolmagno

Od Grootfontein do Windhoek: Meteoryty Namibii

Robert D. McGown

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 13 No. 1. Copyright © 2007 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Po zakończeniu mojej sześciotygodniowej pracy jako astronom w Pustynnym Obserwatorium w Namibia na górze Sossusvlei, razem z kolegą, Darethem Murrayem, podróżowałem po Afryce Południowej i Namibii polując na światowej klasy meteoryty, muzea i obserwatoria na płaskowyżu Karoo. w trakcie tej podróży pojechaliśmy na północ do Grootfontein, do Hotelu Meteorowego i odwiedziliśmy meteoryt Hoba.

Kierowanie się dużą tablicą obok drogi o tej porze roku było dużym błędem. Jadąc do Grootfontein dotarliśmy do meteorytu Hoba od zachodu, co okazało się złym wyborem. Od kilku dni padał deszcz i było wiele wezbranych, rwących strumieni. Czasem musieliśmy przejeżdżać przez nie naszym wypożyczonym Nissanem z Zambii, z prędkością 40 mil na godzinę, mając nadzieję, że bryzgi wody nie zaleją silnika. Jak przekonaliśmy się na własnej skórze, zbyt wolna jazda po żwirowych i błotnistych drogach nie jest dobrym pomysłem, bo można ugrzęznąć. w samochodach terenowych dobrym sposobem na uniknięcie zalania silnika było umieszczenie wlotów powietrza na dachu. Jadąc z góry Sossusvlei do Grootfontein szybko przekonaliśmy się, że odwiedzając meteoryt Hoba, trzeba dojeżdżać do niego od wschodu, z Grootfontein.

Fot. 1. To był przejazd przez rzekę w Namibii po styczniowych ulewach. Zwykle jest to droga!

Fot. 2. Bob McGown stoi w wodzie po ostatniej ulewie na dnie amfiteatru Hoba.

Gdy po raz pierwszy zobaczyliśmy meteoryt Hoba spoczywający w amfiteatrze, oczywiste było duchowe znaczenie tego miejsca dla mieszkańców Afryki. Hoba jest największym znanym meteorytem znalezionym na Ziemi, a także największą bryła rodzimego żelaza na naszej planecie. Nazwany został od farmy Hoba West koło Grootfontein, a znalazł go w 1920 r. Jacobus Hermanus Brits, gdy orał pole wołami. Nagle usłyszał metaliczny dźwięk, gdy pług zaczepił o meteoryt. Bryła znajdowała się w niewielkim zagłębieniu przypominającym krater i była osadzona w wapieniu. Początkowo tylko niewielka część wystawała ponad skałę (Luyten, 1929). Wkrótce potem meteoryt został odkopany.

Meteoryt Hoba nigdy nie był przemieszczany i ocenia się, że gdy spadł, ważył około 66 ton. Jego wiek ziemski wynosi około 80 000 lat. Wymiary meteorytu są 2,95 m na 2,84 m, a jego grubość waha się od 122 cm do 75 cm. Meteoryt ma 82,4% żelaza, 16,4% niklu i 0,76% kobaltu, ale zawiera także śladowe ilości węgla, siarki, chromu, miedzi, cynku, galu, germanu i irydu (Golden, i in., 1995). Pod mikroskopem materia meteorytu Hoba prezentuje typową, zwartą strukturę ataksytu z delikatnymi liniami, klinami i łatkami. Na powierzchni meteorytu nie widać figur Widmanstättena (Bauer, 1963; Buchwald, 1966). Głównymi minerałami są kamacyt (żelazo zawierające 5–7% niklu) i taenit (żelazo zawierające do 65% niklu). Przy dużych powiększeniach widoczne są przerosty igiełek kamacytu i taenitu. Meteoryt zawiera także bardziej rzadkie minerały: schre-

ibersyt {$(FeNi)_3P$}, troilit (FeS), and daubreelit ($FeCr_2S_4$) (Bauer, 1963; Buchwald, 1966; Buddhue, 1957; and Gordon, 1933)

Meteoryt Hoba znajduje się na skraju równiny Kalahari, na płaskowyżu Karoo, o podłożu z białego kalcytu z warstwy Kalahan obejmującym cała dolinę. Kalcyt spoczywa na starych granitach, włącznie z dolomitami i wapieniami z grupy Otavi. Podobnie wygląda geologia okolicznych wzgórz. Nie ma krateru ani stożków uderzeniowych. Zagłębienie pozostawione przez meteoryt zostało w końcu wypełnione przez wapień (Fernie, 1967; Smales, et al., 1967).

Erozja, pobieranie próbek do badań i wandalizm, zmniejszyły oceniana wagę meteorytu do 60 ton. Przed spotkaniem z Ziemią meteoryt mógł ważyć nawet 100 ton. Początkową utratę masy przypisuje się złuszczaniu zewnętrznej warstwy podczas przelotu przez atmosferę. Przeprowadzono badania powłoki tlenków żelaza pozostałej na meteorycie po spadku. Powłoka jest magnetyczna o ciężarze właściwym 4,021. (Buddhue, 1957; Luyten, 1929; and Marvin, 2000).

W 1955 roku rząd Namibii (wówczas Afryki Południowo-Zachodniej) uznał meteoryt Hoba za narodowy pomnik przyrody, aby chronić go przed dalszym odcinaniem fragmentów. w 1985 roku Roessing Uranium Company dało fundusze na pomniki przyrody, by walczyć z wandalizmem. We współpracy z Roessing zbudowano ośrodek dla zwiedzających, a rada rozpoczęła realizację projektu ochrony meteorytu i zagospodarowania jego otoczenia w sposób bardziej atrakcyjny dla zwiedzających. Pan J. Angelbrecht, właściciel tej ziemi od 1987 roku, podarował część gruntów na realizacje tego projektu. Następnie powstało centrum informacyjne w celach edukacyjnych. Obiekty zostały oficjalnie otwarte 31 lipca 1987 roku. Obecny opiekun mieszka na terenie posiadłości wraz z rodziną (Gordon, 1933).

Przybyliśmy do meteorytu Hoba o 6:00 po południu, po ulewnym deszczu. z daleka meteoryt wyglądał pięknie siedząc w kamiennym amfiteatrze. Jednak gdy zbliżyliśmy się do meteorytu, zobaczyłem wyraźnie ślady cięcia wyglądające na świeże. Trudno było powiedzieć, jak dawno zostały zrobione. Bryła meteorytu była matowa

Fot. 3. Krawędzie meteorytu Hoba z widocznymi śladami odpiłowania na regmagliptach. Kluczyki samochodu pokazują skalę.

Fot. 4. To uszkodzenie jest bardzo stare i mogło być zrobione, gdy po raz pierwszy odnaleziono meteoryt Hoba.

Fot. 6. Dareth stoi obok meteorytowej "fontanny" in Windhoek. Na postumencie z lewej widać brak meteorytu.

Fot. 5. Jedno z nielicznych miejsc, gdzie mogą zatrzymać się turyści w Tsumeg, miejscowości położonej najbliżej meteorytu Hoba.

i miejsca, gdzie odcięto małe kawałki, były lśniące i wyglądały na świeże. z zaskoczeniem ujrzeliśmy meteoryt w małym basenie. Najniższy poziom amfiteatru był wypełniony wodą — około stopy głębokości. Może, aby chronić meteoryt, należało zrobić studnię do odprowadzania wody. Gdy brodziłem po wodzie, by obejrzeć z bliska uszkodzenia meteorytu, jakiś insekt dotkliwie ugryzł mnie w stopę. W tym momencie byłem zadowolony, że zabezpieczyłem się przed malarią.

Na większości ostrokrawędzistych regmagliptów były widoczne cięcia o długości do dwóch cali; było ich chyba ze sto! Wyglądały świeżo, jak odcięte ręczną piłką. Niektóre wyżłobienia na brzegu były zrobione przed laty przez kolekcjonera, który użył palnika acetylenowego (Buddhue, 1957). Było także na brzegu cięcie metrowej długości, które wyglądało, jakby było zrobione piłą taśmową. Niektóre cięcia były stare i zmatowiałe; jednak dziesiątki cięć wyglądały lśniąco i świeżo. Od spodu usunięto duży fragment poprzez wywiercenie szeregu otworów około 15 × 24 cm. Aby odciąć ten kawałek trzeba było wykopać dół, aby uzyskać dostęp do dolnej krawędzi. Sądząc po silnym zardzewieniu i metodzie użytej do odcinania, było to bardzo stare cięcie. Sfotografowałem nowe i stare uszkodzenia meteorytu wykorzystując kluczyki do mego wypożyczonego samochodu jako wskaźnik skali. Mam nadzieję, że te zdjęcia staną się materiałem porównawczym, by chronić przed dalszą dewastacją.

Meteorytowy wandalizm

Po powrocie z meteorytowej wycieczki do południowej Afryki rozmawiałem o uszkodzeniach meteorytu Hoba z kilkoma miłośnikami meteorytów i naukowcami. Każdy był przerażony tym, co wyglądało na niedawny wandalizm. Prawdopodobnie cięcia zrobili miejscowi, by uzyskać fragmenty na sprzedaż. Z powodu dużej zawartości niklu skorupa z tlenków może tworzyć się znacznie wolniej niż na pozostawionych na dworze meteorytach o niższej zawartości niklu. w Afryce pH wody deszczowej może być wyższe (mniej kwaśna), niż w miejscach takich jak Stany Zjednoczone, gdzie robiono doświadczenia z rdzewieniem (University of Namibia, prywatna informacja, 2006).

Miejscowe pozyskiwanie fragmentów meteorytu i wandalizm bierze się z obecnych wysokich cen okazów meteorytów (University of Namibia, informacja prywatna, 2006). Niedawne gruntowne poszukiwania w internecie ujawniły podobno oferowane na sprzedaż różnej wielkości fragmenty meteorytu Hoba od kilku gramów wzwyż. Meteoryt Hoba należy do ludu Afryki, a nie do każdego kolekcjonera, który uważa, że powinien mieć kawałek tej skały z kosmosu. Fragmenty meteorytu Hoba oferowano od $10 za kilkugramowy kawałek. Moim zdaniem, aby zapobiec dalszemu wandalizmowi, kolekcjonerzy nie powinni kupować fragmentów Hoby.

Innym przykładem meteorytowego wandalizmu jest zniknięcie kilku okazów Gibeona w Windhoek, w Namibii. Według dr Gabi Schneider, wiceprezesa National Monuments Council, grabież i nielegalna sprzedaż meteorytów wzrosły tak bardzo od 1993 roku, że nie pozostał już prawie żaden meteoryt (Zahringer, 1964).

Deszcz meteorytów Gibeon był najbardziej rozległym deszczem meteorytów na Ziemi (Buchwald, 1966). Największy okaz waży 650 kg i znajduje się w Muzeum Afryki Południowej w Cape Town. Naliczyłem 24 meteoryty wystawione w Windhoek na Alei Pocztowej, wbudowane w „Fontannę Meteorytu Gibeon" ważące od 195 kg do 555 kg. Są to oktaedryty, pospolity typ meteorytu żelaznego. Nie udało mi się znaleźć wieku ziemskiego meteorytów Gibeon. Na kilku słupach meteorytowej fontanny nie ma meteorytów. Meteorytowa fontanna nie jest prawdziwą fontanną; jest to coś w rodzaju rzeźby ze słupów z nierdzewnej stali z meteorytami na nich. z relacji, które czytałem, wynika że pierwotnie były na niej 31 albo 33 meteoryty.

Na niedawnych targach minerałów w USA meteoryty Gibeon były wystawione na sprzedaż. Sprzedawcami byli handlarze z Afryki Południowej, którzy przypuszczalnie przeszmuglowali meteoryty ze swego kraju. Mówi dr Schneider, „To oznacza, że okazy meteorytów na międzynarodowym rynku będą się pojawiać i podobnie kradzieże meteorytów z muzeów i publicznych miejsc." Trzy meteoryty już ukradziono z muzeum w Windhoek, a pewien mieszkaniec Windhoek został niedawno aresztowany za nielegalne nabycie meteorytu, który został usunięty z piedestału w Alei Pocztowej. Okazy meteorytów znajdują się w różnych miejscach Namibii i są chronione prawem jako część narodowego dziedzictwa. Kara za kradzież meteorytu sięga 5000 namibijskich dolarów lub 12 miesięcy więzienia. (Travel News Namibia, 2002; Museum Security Mailinglist Reports, 2002).

Dwa meteoryty Gibeon skradziono z Geological Survey Museum w Windhoek pod koniec roku 2005, a jeszcze jeden zniknął rok wcześniej. Przedtem jeden został skradziony z rady pomników. Gdy zagraniczni dealerzy meteorytów żądają, i z reguły dostają, astronomiczne ceny za meteoryty Gibeon, lokalne społeczności przeważnie zarabiają nędzne pieniądze ze sprzedaży dealerom i pośrednikom. Dr Schneider mówi, „Jest pocieszające, że niektóre kraje afrykańskie współdziałają z naukowcami starając się położyć kres rozpowszechnionemu wandalizmowi nie tylko jeśli chodzi o meteoryty, ale także w przypadku skamieniałości i skarbów historycznych" (Travel News Namibia, 2002). W 1999 roku rząd Republiki Południowej Afryki przyjął ustawę o zasobach dziedzictwa narodowego. Jej celem było „wspieranie właściwego zarządzania majątkiem narodowym i stworzenie możliwości i zachęcenie lokalnych społeczności do doceniania i chronienia ich spuścizny, tak, aby mogła być zachowana dla przyszłych pokoleń. Nasze dziedzictwo jest unikalne, cenne i nie jest odnawialne. Pomaga nam określać naszą kulturową tożsamość i dlatego jest istotą naszego duchowego dobrobytu i ma moc budowania naszego narodu. Ma potencjał afirmacji naszych różnorodnych kultur i w ten sposób kształtowania naszej tożsamości narodowej." (National Heritage Act 25, 1999). Jest nadzieja, że rząd Namibii pójdzie za dobrym przykładem Afryki

Południowej i przyjmie ustawę chroniącą jeden z najcenniejszych zasobów, meteoryty.

Do czytelników tego artykułu: proszę zastanowić się nad własną rolą w odpowiedzialnym kolekcjonowaniu i upewniać się, że kupowane meteoryty nie są skradzione lub otrzymane nielegalnie.

Email: bobmcgown@comcast.net

Literatura:

Bauer,C.A. 1963 The Helium Content of Metallic meteorites

Journal of Geophysicial Research 68:6043–6057

Buchwald, 1966, The Iron Nickle Phosphorous System and the structure of Iron Meteorites*, Acta Polytechnica Scandinavica*, Number 51, 46 pages.

Buddhue, J.D. 1957, *The oxidation and weathering of meteorites*, University of New Mexico, Albuquerque, 161 pages.

Fernie, J.D. 1967 Journey via Otjiwarongo, a trip to the Hoba meteorite, *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 61:127–40.

Golden, D.C. D. W. Ming, and M. E. Zolensky. 1995. Chemistry and mineralogy of oxidation products on the surface of the Hoba nickel-iron meteorite. *Meteoritics* 30:418.

Gordon S.G. 1933. The Grootfontein, South West Africa, Meteoritic Iron (Hoba) *Proceedings of the Academe of Natural science, Philadelphia*, 83:251–225.

Luyten, W.J. 1929. The Grootfontein (Hoba*) South African Journal of Science* 26:19–20.

Marvin, U. B. 2000 Historical Notes on Three Exceptional Iron Meteorites of Southern Africa: The Cape of Good Hope, Gibeon and Hoba, *Workshop on Extraterrestrial Materials from Cold and Hot Deserts.* AA (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics).

Museum Security Mailinglist Reports. 2002. http://www.museum-security.org/02/099.html#6

Smales A.A, D. Mapper, and K. F. Fouche. 1967, The Distributation of some trace elements in Iron Meteorites as, As determined by Neutron activation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31:673–720.

National Heritage Act 25 of 1999. 1999. http://www.dac.gov.za/acts/act25_99.doc

Travel News Namibia, vol.10 no.3, May/June 2002. Reported by Werner Hillebrecht — National Archives of Namibia on the Museum Security Mailinglist Reports website: http://www.museum-security.org/02/067.html

University of Namibia, Windhoek, geology department. 2006. Personal communication.

Zahringer, J. 1964. Isotope Chronology of Meteorites, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. 2:121–148.

Robert McGown jest miłośnikiem astronomii od 25 lat i współautorem Galaxy Groups & Clusters i The Local Group & the Galactic Neighborhood. Studiuje geofizykę w Portland State University. Robert jest właścicielem i szefem Ace Electric Company i jest mistrzem elektrotechnikiem. Całe życie interesuje się meteorytami i posiada trochę ładnych okazów.

Międzygwiazdowa materia organiczna w chondrytach węglistych

Gregory T. Shanos

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 13 No. 1. Copyright © 2007 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Chondryty węgliste znów trafiły na pierwsze strony czasopism naukowych. „Bombowe izotopy znalezione w meteorytach" — nie, to nie znaczy, że drażniące lub niebezpieczne. Jednak ostatni artykuł opublikowany w *Science* (Buseman H., i in. 2006) obwieścił odkrycie w materii organicznej chondrytów węglistych zwiększonej ilości izotopów deuteru ^{2}H (D) i ^{15}N. Izotop, jak wiadomo, jest pierwiastkiem o tej samej liczbie protonów, ale o innej liczbie neutronów w jądrze. To odkrycie wzbogaconego deuteru i ^{15}N w meteorytach było zaskoczeniem, ponieważ ich ilość przekraczała wartości spotykane w cząsteczkach pyłu międzyplanetarnego (IDP). Znaczenie składu izotopowego polega na tym, że wskazuje on miejsce pochodzenia — międzygwiazdowe, albo z Układu Słonecznego.

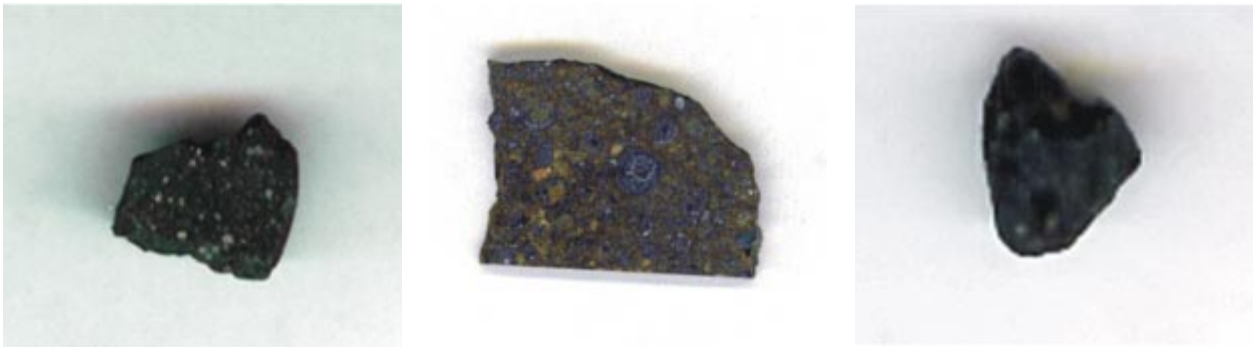
Wiadomo, że meteoryty pochodzą z pasa planetoid między orbitami Marsa i Jowisza. z drugiej strony cząstki pyłu międzyplanetarnego (IDP) są mikrometrowej wielkości cząstkami zawierającymi materię z przestrzeni międzygwiazdowej, zebranymi wysoko w stratosferze przez NASA (fot. 1). Cząstki te mogą pochodzić z komet i z pasa Kuipera. Uważa się, że cząstki pyłu międzyplanetarnego są najbardziej pierwotną materią Układu Słonecznego, ponieważ mają największe różnice zawartości izotopów deuteru i azotu. Jednak obecne odkrycia Busemanna i in. sugerują dużą skalę mieszania obu

Fot. 1. Mikrofotografia cząstki pyłu międzyplanetarnego (IDP). Fot. NASA.

izotopów i w chondrytach węglistych i w IDP na początku istnienia Układu Słonecznego.

Badacze analizowali kilka meteorytów, w tym chondryty węgliste CR1, CR2, CM2 i niezgrupowany C2 (fot. 2). Próbki każdego meteorytu rozpuszczono w stężonych kwasach, które rozpuściły wszystko z wyjątkiem nierozpuszczalnej materii organicznej (IOM). Pozostała materia, to były małe kawałki ciemnej, drobnoziarnistej masy chondrytu.

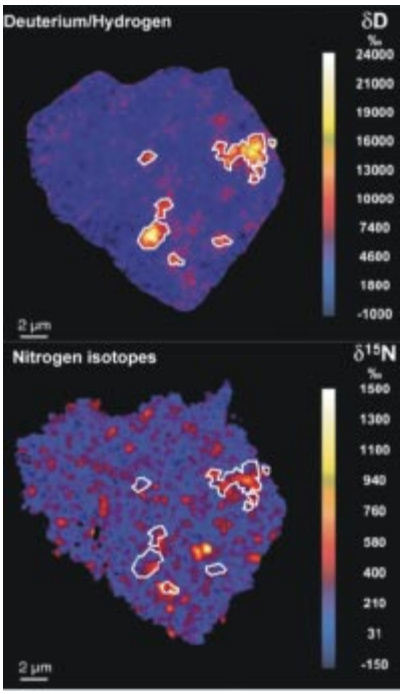
Izotopowe anomalie w nierozpuszczalnej materii organicznej analizowano przy pomocy mikrosondy jonowej. Ten przyrząd nosi nazwę spektrometru masowego wtórnych jonów (SIMS). SIMS kieruje wiązkę wysokoenergetycznych jonów na próbkę tak małą, jak mikrometrowej wielkości ziarno minerału. Jony w zasadzie robią dziurę w próbce powodując emisję wtórnych jonów. Te wtórne jony są przyspieszane i kierowane do spektrometru maso-



Fot. 2. Chondryty węgliste z prywatnej kolekcji autora. z lewej chondryt CR3 SAH 182 ważący 0,85 g, o wymiarach 15×13×1 mm. w środku Murchison CM2 ważący 2,1 g, o wymiarach 14×14×5 mm. z prawej jest Tagish Lake, niezgrupowany C2, ważacy 0,28 g, o wymiarach 10×8×5 mm.

wego, gdzie są sortowane i analizowane. w ten sposób ujawnia się zawartość pierwiastków i izotopów w próbce.

Buseman i in. badali stosunek deuteru do wodoru (D/H) i w próbkach meteorytów i w cząstkach pyłu międzyplanetarnego. Wyniki były szokujące. Wartości D/H były wyższe w chondrytach węglistych niż w IDP. Stosunek D/H jest przedstawiony jako delta D (δD), miara deuteru w D/H w porównaniu z ziemskim standardem. Najwyższe wartości znaleziono w wyseparowanej nierozpuszczalnej materii organicznej (IOM). Drobne plamy w dwóch wydzieleniach IOM oznaczają najwyższe wartości kiedykolwiek zmierzone w materii meteorytowej (fot. 3). Izotopowe anomalie azotu są w innych miejscach w IOM niż deuter. Te różnice izotopowe sugerują, że formowały się one w różnych środowiskach w przestrzeni międzygwiazdowej lub może na peryferiach Układu Słonecznego.



Fot. 3. Mapy dD (miara odchylenia stosunku D/H od ziemskich wartości) i d^{15}N (odchylenie stosunku azotu-15 do azotu-14 od ziemskich wartości). Obie skale są w promilach. Gorące plamy, obwiedzione na biało, dla dD nie odpowiadają tym dla azotu. Mapy wykonano dla próbki nierozpuszczalnej materii organicznej wydobytej z chondrytu CR2, EET 92042. (Science, Buzeman H. et al., 2006).

Te anomalie izotopowe sugerują, że nierozpuszczalna materia organiczna w meteorytach jest prawdopodobnie materią międzygwiazdową, która przetrwała formowanie się Układu Słonecznego i została włączona w skład planetozymali. IOM nie podlegała żadnemu procesowi na planetoidach, takiemu jak reakcje pod wpływem wody. Ponadto cząsteczki organiczne, jeśli są zbyt mocno podgrzane, ulegają rozkładowi. Tak więc planetoidy, z których pochodzą chondryty węgliste, albo formowały się w chłodniejszych rejonach dysku protoplanetarnego, albo w miejscach, gdzie temperatura była dostatecznie niska, by umożliwić przetrwanie cząsteczek organicznych.

Wysunięto tez inną propozycję, że IOM może zawierać materię, która tworzyła się w zimnych obłokach międzygwiazdowych, a potem była transportowana z daleka do pasa planetoid (fot. 4). w obu scenariuszach środowisko jest bardzo zimne, około 10 K, i dlatego reakcje na zmrożonych powierzchniach ziaren mogą powodować frakcjonowanie izotopowe.

Busemann i jego koledzy faworyzują międzygwiazdowe pochodzenie deuteru, ponieważ widma nierozpuszczalnej materii organicznej w podczerwieni i w ultrafiolecie są podobne do widm ośrodka międzygwiazdowego. Powstawanie anomalii azotu pozostaje tajemnicą. Obecnym teoriom naukowym nie udaje się wyjaśnić wysokich wartości dN w jakimkolwiek środowisku astrofizycznym.

Odkrycie wysokich koncentracji deuteru i ^{15}N w chondrytach węglistych było dla naukowców zupełnym zaskoczeniem. Bombowe izotopy znalezione w meteorytach? Nie ma mowy. Bardziej realistyczny nagłówek powinien brzmieć: Izotopy wskazujące miejsce narodzin meteorytów.

Fot. 4. Obłoki materii międzygwiazdowej, takie jak IC 1396, mogą być miejscem narodzin anomalnej izotopowo materii organicznej w pierwotnych chondrytach węglistych. Nasz Układ Słoneczny mógł formować się w takim środowisku. (Fot. kanadyjsko-francusko-hawajski teleskop/J.-C. Cuillandre/Coelum.)

E-mail: *gshanos@aol.com*

Gregory T. Shanos uzyskał tytuł doktora farmacji w 1999 roku. Jest obecnie farmakologiem konsultantem w kilku specjalistycznych klinikach na Florydzie. Dr. Shanos zaczął kolekcjonować meteoryty w 1985 r. Interesuje się głównie cząsteczkami organicznymi odkrytymi w chondrytach węglistych, a także pozaziemska przyczyną masowego wyginięcia na granicy permu i triasu. Jest zapalonym miłośnikiem astronomii, zbieraczem skamieniałości i łowcą zaćmień. Jest także członkiem Programu Ambasadorów NASA.

Wygasłe izotopy promieniotwórcze i chronologia Układu Słonecznego

Emmanuel Jacquet

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 13 No. 1. Copyright © 2007 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Meteorytycy są często zainteresowani ustaleniem dokładnej chronologii zdarzeń w mgławicy słonecznej 4,57 Ga (miliardów lat) temu, takich jak początkowy kolaps, formowanie się różnych składników chondrytów, metamorfizm w ciele macierzystym, dyferencjacja, itd. Teoretyczne modele planetarnej ewolucji sugerują, że aby rozwiązać te kwestie, potrzebna jest rozdzielczość czasowa 1 Ma (milion lat), co do niedawna było nieosiągalne przy wykorzystaniu dostępnych metod datowania bezwzględnego. Na szczęście odkrycie wygasłych izotopów promieniotwórczych, które są tematem tego artykułu, pozwoliło na taką dokładność.

Izotopy i promieniotwórczość

Atomy danego pierwiastka chemicznego, które mają określoną liczbę protonów w jądrze nazywaną liczbą atomową (Z) pierwiastka, mogą różnić się liczbą neutronów, N, a więc i liczbą masową, a = z + N. Mówi się wtedy, że pierwiastek ma różne izotopy. Skład izotopowy meteorytów można mierzyć spektrometrem masowym, gdzie zjonizowane izotopy przyspieszane przez pole elektryczne, są odchylane przez magnes zależnie od ich stosunku ładunku do masy. Na przykład tlen (Z = 8, symbol O) składa się w 99,76 % z tlenu-16 (^{16}O, indeks górny podaje liczbę masową A), w 0,04 % z tlenu-17 (^{17}O) i w 0,2 % z tlenu-18 (^{18}O). Nie każda kombinacja neutronów i protonów daje stabilne jądro: w rzeczywistości na wykresie zależności N od z dolina stabilności jest dość wąska, a izotop, który wychodzi poza nią, jest promieniotwórczy (jest nazywany radionuklidem) i rozpada się w końcu przechodząc w inny („radiogeniczny") izotop. Prawo rozpadu jest wykładnicze: początkowa ilość N_0 radionuklidu zmniejszy się o połowę po określonym czasie, T, nazywanym czasem połowicznego rozpadu radionuklidu; po dwóch okresach połowicznego rozpadu pozostanie tylko ćwiartka początkowej ilości radionuklidu itd. Tak więc ilość N(t) radionuklidu w funkcji czasu jest:

$$N(t) = N(0)/2^{t/T} = N(0)\, e^{-\lambda t} \quad (1)$$

gdzie e jest w przybliżeniu 2,718 a $\lambda = \ln 2/T$ nazywa się stałą rozpadu (ln2, około 0,693, spełnia równanie $e^{\ln 2} = 2$). Stosunek N/N_0 pozwala na obliczenie t tak długo, jak długo radionuklid przetrwa w mierzalnej ilości; ale po, powiedzmy, 10 okresach połowicznego rozpadu stosunek $N(t)/N_0$ jest równy około 0,001 a więc radionuklid można uważać za wygasły. Ta absolutna metoda nie może być już stosowana.

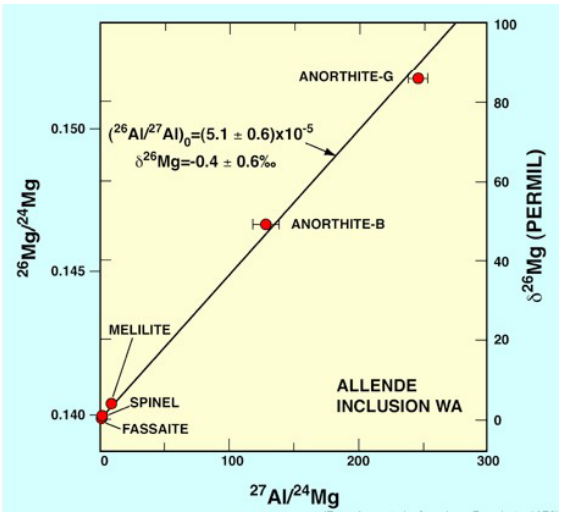


Fig. 1. Wykres $^{26}Mg/^{24}Mg$ w zależności od $^{27}Al/^{24}Mg$ (z $\delta^{26}Mg$ zdefiniowanym jako odchylenie $^{26}Mg/^{24}Mg$ w stosunku do ziemskiej standardowej wartości [około 0,1395] w częściach na tysiąc [promilach]) dla różnych minerałów wysokotemperaturowych inkluzji w chondrycie węglistym Allende CV3.2 ze zmieniającym się stosunkiem Al/Mg od ubogiego w Al fassaitu (glinowo-tytanowa odmiana diopsydu [$MgCaSi_2O_6$]) do bogatego w glin anortytu ($CaAl_2Si_2O_8$). Punkty danych tworzą linię prostą zwaną izochroną o nachyleniu $(5,1\pm0,6)\times10^{-5}$ co oznacza stosunek $^{26}Al/^{27}Al$ w momencie krystalizacji, a przecięcie z osią y wskazuje wartość $\delta^{26}Mg$ (–0,4‰) w owym czasie w całej inkluzji (której ujednorodnianie izotopowe od tego momentu się zatrzymało), zanim rozpad* in situ *glinu-26 podwyższył ją zgodnie ze stosunkiem Al/Mg w każdym minerale. Ilustracja z Lee* et al., *1976 (Geophysical Research Letters), przedrukowana za zgodą American Geophysical Union (copyright 1976).

Nadwyżki radiogenicznych izotopów a pierwotne stosunki izotopów

Dopiero w połowie XX wieku, gdy Merrill zidentyfikował w widmach gwiazd niestabilny pierwiastek technet, uświadomiono sobie definitywnie, że produkcja pierwiastków (nukleosynteza) nie jest procesem ograniczonym do Wielkiego Wybuchu (13,7 Ga temu) i że wytworzone naturalnie krótko żyjące izotopy wciąż mogą istnieć. Meteorytycy poszukują dowodów istnienia krótko żyjących izotopów w początkach istnienia Układu Słonecznego w postaci nadwyżek ich pochodnych nuklidów (zamiast samych izotopów macierzystych, ponieważ ich czas połowicznego rozpadu [zwykle kilka Ma] jest zbyt krótki w porównaniu z wiekiem Układu Słonecznego).

Jeden ważny (chociaż nie pierwszy) przykład, który wykorzystam dla zilustrowania, to wykrycie nadwyżki magnezu-26 (^{26}Mg) w skaleniu w inkluzjach wapniowo-glinowych (CAI) skorelowanej ze stosunkiem glinu do magnezu: interpretuje się ją jako produkt rozpadu glinu-26 (^{26}Al), który ma czas połowicznego rozpadu 0,73 Ma (wobec liczącego 4,6 Ga wieku Układu Słonecznego, i który istniał w momencie krystalizacji minerału. Czy ^{26}Al był wytworzony przez pobliską supernową (której fala uderzeniowa mogła zainicjować kolaps mgławicy przedsłonecznej) i wstrzyknięty do mgławicy, czy też wytworzył się na miejscu, jako rezultat bombardowania wysokoenergetycznymi cząstkami, jest wciąż przedmiotem dyskusji. Jednak jego wykrycie dowodzi, że ciała macierzyste meteorytów formowały się wkrótce po powstaniu Układu Słonecznego. Przypuszcza się, że ciepło generowane przez rozpad ^{26}Al, oraz rozpad żelaza-

60 (T = 1,5 Ma, nuklid pochodny: nikiel-60), mogło się przyczynić do metamorfizmu i dyferencjacji.

To co nas teraz interesuje, to otrzymanie początkowego stosunku (^{26}Al/^{27}Al), gdzie ^{27}Al jest stabilnym izotopem glinu. Rzeczywiście jeśli założymy, że glin-26 był rozmieszczony równomiernie w Układzie Słonecznym, to ten stosunek musi być zgodny ze wspomnianym wyżej prawem rozpadu. Nie może tu działać żadne frakcjonowanie chemiczne, ponieważ rozważamy tylko glin. Porównanie stosunków uzyskanych dla różnych meteorytów daje przedziały czasu między ich uformowaniem się z błędem mniejszym niż czas połowicznego rozpadu. Problem do pokonania jest taki, że dzisiejszy magnez-26 składa się z magnezu-26, który już był w czasie formowania się, i magnezu-26 wytworzonego przez późniejszy rozpad glinu-26, to znaczy:

$$^{26}\mathrm{Mg} = {}^{26}\mathrm{Mg}_{\text{początkowy}} + {}^{26}\mathrm{Al}_{\text{początkowy}} \quad (2)$$

Albo, w postaci stosunków izotopów (po podzieleniu przez ilość magnezu-24, który jest stabilny, i wprowadzeniu glinu-27, także stabilnego izotopu):

$$^{26}\mathrm{Mg}/^{24}\mathrm{Mg} = (^{26}\mathrm{Mg}/^{24}\mathrm{Mg})_{\text{początkowy}} + +(^{26}\mathrm{Al}/^{27}\mathrm{Al})_{\text{początkowy}}(^{27}\mathrm{Al}/^{24}\mathrm{Mg}) \quad (3)$$

Wobec tego jeśli zanalizujemy różne ziarna (o różnych stosunkach Al/Mg), o których zakładamy, że są „współgenetyczne" (to znaczy utworzone przez to samo zdarzenie), i zrobimy wykres zależności ^{26}Mg/^{24}Mg od ^{27}Al/^{24}Mg, to powinniśmy uzyskać linię prostą (ponieważ równanie ma postać y = p + mx) zwaną „izochroną", której nachylenie daje $(^{26}\mathrm{Al}/^{27}\mathrm{Al})_{\text{początkowy}}$.

Aby to uzyskać, zrobiliśmy dwa założenia:

(i) Magnez był początkowo izotopowo jednorodny (ten sam początkowy ^{26}Mg/^{24}Mg) w całej skale.

(ii) Od momentu uformowania się, żadne ziarno nie wymieniało z otoczeniem Al ani Mg, i pozostawało zamkniętym „pudełkiem." Jedyną przyczyną zmiany jego wewnętrznego składu izotopowego był rozpad promieniotwórczy glinu-26.

Rzeczywiście, te założenia *definiują* jakie zdarzenie rejestruje w rzeczywistości zegar izotopowy Al-Mg (zamknięcie systemu Al-Mg), a właściwości tych dwóch pierwiastków i zawierającego je minerału wyznaczają odpowiadającą im temperaturę, która nie musi być taką samą, jak np. w przypadku chronometru manganowo-chromowego (mangan-53 [^{53}Mn] rozpada się na chrom-53 [^{53}Cr] z czasem połowicznego rozpadu 3,7 Ma). Ale jeśli stygnięcie było dostatecznie szybkie, te zamknięcia można uważać za jednoczesne, ponieważ dostępna dokładność nie pozwala na ich rozróżnienie.

To, co mamy teraz, to jest metoda datowania *względnego*. Wiek absolutny można wyznaczyć, jeśli przeprowadzi się absolutne datowanie próbki porównawczej, dla której został wyznaczony początkowy stosunek ^{26}Al/^{27}Al. Powszechnie używaną próbką jest CAI uformowane 4567,2 Ma temu z „kanonicznym") stosunkiem $(5{,}0 \pm 0{,}1)\times10^{-5}$.

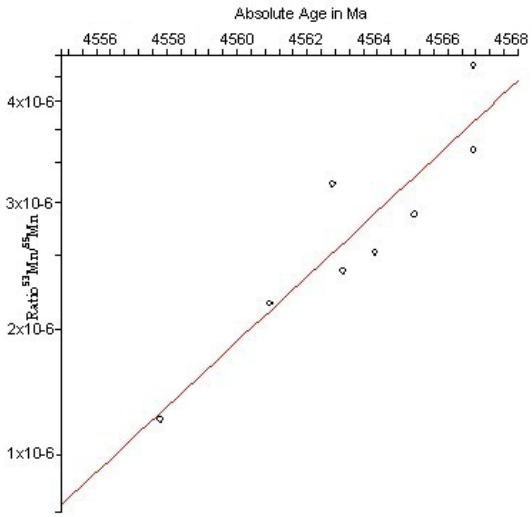


Fig. 2. Amatorska próba przetestowania chronometru Mn-Cr. Początkowe stosunki ^{53}Mn/^{55}Mn (na skali logarytmicznej) naniesiono na wykres w zależności od wieku Pb-Pb (dlatego starsze są po prawej stronie) dla następujących meteorytów lub ich grup: angryty LEW 86010 i D'Orbigny, eukryt Asuka 881394, ureility, chondryty CV, chondryty H4 Sainte-Marguerite i Forest Vale, chondryt LL3.0 Semarkona. Liniowa korelacja na tym wykresie (chociaż rozrzut punktów danych jest dość duży) jest równoważna wykładniczemu zmniejszaniu się ^{53}Mn/^{55}Mn z czasem, a pochylenie nakreślonej linii odpowiada wynoszącemu 3,7 Ma czasowi połowicznego rozpadu manganu-53.

Skala czasowa w mgławicy słonecznej

Jaki uzyskujemy chronologiczny obraz początków Układu Słonecznego? Chronometry Al-Mg i Mn-Cr zgodnie datują formowanie się chondr na 2 Ma po uformowaniu się CAI uważanych za pierwsze stałe składniki mgławicy słonecznej. Różnice wieku między chondrami w tym samym meteorycie wskazują na powtarzające się procesy formowania w przedziale 1 Ma, a występowanie chondr zespolonych (zob. artykuł O.R. Nortona z marca 2006) ilustruje istnienie wielu pokoleń. Achondryty pojawiają się kilka Ma później, po niezrównoważonych i zrównoważonych chondrytach, co pokazuje, że dyferencjacja miała miejsce dość wcześnie. Jak możemy datować ten proces, powiedzmy, w ciele macierzystym HED (za które uważa się planetoidę 4 Vesta) skoro wiek wyznaczony z poszczególnych achondrytów określa jedynie moment ich własnej krystalizacji, co musiało nastąpić później?

Musimy zastosować ten sam rodzaj rozumowania jak wyżej, ale tym razem „pudełkami" w naszym systemie nie są ziarna minerałów, ale całe meteoryty, a systemem jest całe ciało macierzyste. Zamknięcie systemu izotopowego jest więc określone przez ostatnie globalne ujednorodnienie pochodnego pierwiastka, co prawdopodobnie było podczas oddzielenia się jądra. Potem te duże „pudełka" nie mogą wymieniać izotopów między sobą, ale wewnątrz każdego z nich wciąż może występować dyfuzja aż do momentu krystalizacji. G. W. Lugmair i A. Shokolyukov otrzymali początkowy stosunek ^{53}Mn/^{55}Mn $(4{,}7\pm0{,}5)\times10^{-6}$ który, w porównaniu z wartością $1{,}25\times10^{-6}$ dla próbki porównawczej angrytu Lewis Cliff 86010 liczącego 4558 Ma, przekłada się na wiek dyferencjacji Westy około 4565 Ma.

Jednorodność manganu-53 w młodym Układzie Słonecznym jest sprzeczna z odkryciem przez Shukolyukova i Lugmaira zmienności współczesnego ^{53}Cr/^{52}Cr z odległością od Słońca, a wysoka początkowa wartość ^{53}Mn/^{55}Mn w CAI $(1{,}4\times10^{-5})$ nie może być jednoznacznie przypisana do wieku 4571 Ma (4 Ma więcej niż powszechnie akceptowano). Niemniej ogólnie wydaje się, że niejednorodność izotopowa odgrywa podrzędną rolę, tak że można wyliczyć zgodne chronologie. Co więcej, wspomniana wcześniej korelacja ^{53}Cr/^{52}Cr z odległością od Słońca może nam pomóc wyznaczyć wiek Układu Słonecznego! Przypomnijmy sobie, że problemem w drugiej części była początkowa

ilość radiogenicznego izotopu, tym razem stosunku chromu-53/chromu-52. Jeśli ekstrapolujemy tę korelację do Słońca i założymy, że jest ona niezależna od manganu-53, to otrzymamy ocenę tej wartości w Układzie Słonecznym przed wstrzyknięciem lub wytworzeniem manganu-53. Modelowanie wzrostu tej wartości do tej w czasie dyferencjacji Westy daje odstęp czasu między tymi zdarzeniami 6 Ma czyli wiek Układu Słonecznego 4571 Ma.

Wieki Ziemi

Od kiedy C. Patterson po raz pierwszy obliczył prawidłowy wiek Ziemi (4,55 Ga) wykorzystując metodę Pb-Pb w 1956 roku, znaczenie tego wieku stawało się coraz bardziej niejasne, ponieważ formowanie się Ziemi nie było wydarzeniem natychmiastowym, a raczej szeregiem procesów: akrecji, powstaniem Księżyca, dyferencjacji, odgazowania atmosfery, oddzielenia skorupy itd. Weźmy najpierw dyferencjację i zobaczmy, co nam powiedzą na ten temat wygasłe izotopy promieniotwórcze.

Hafn-182 rozpada się na wolfram-182 z czasem połowicznego rozpadu 13 Ma. Ponieważ wolfram jest pierwiastkiem syderofilnym, to podczas oddzielania się jądra podąża za żelazem, podczas gdy hafn jest pierwiastkiem litofilnym i pozostaje w płaszczu. Dlatego nadwyżka wolframu-182 w płaszczu pokazuje, że hafn-182 jeszcze wtedy istniał. Wykorzystując równanie (3) (przekształcone do postaci $[^{182}W/^{184}W]_{płaszcz} = [^{182}W/^{184}W]_{dyferencjacja} + [^{182}Hf/^{180}Hf]_{dyferencjacja}[^{180}Hf/^{184}W]_{płaszcz}$) i zakładając, że stosunek $^{182}W/^{184}W$ podążał za ewolucją chondrytową zanim zaczęła się dyferencjacja, wylicza się wiek 4,52 Ga (podobny do Marsa), w przeciwieństwie do młodszego wieku 4,42 Ga age uzyskanego metodą Pb-Pb dla oddzielenia jądra. Możliwy do przyjęcia scenariusz jest taki, że pierwszy wiek odnosi się do dyferencjacji poszczególnych planetozymali, a drugi do zlepionej w całość planety.

Na koniec odgazowanie ziemskiej atmosfery można datować przy pomocy chronometru jod-129 — ksenon-129 (czas połowicznego rozpadu: 16 Ma). Jeśli założymy, że atmosferyczny $^{129}Xe/^{130}Xe$ reprezentuje wartość w płaszczu w momencie odgazowania, przed dalszym rozpadem jodu-129 zwiększającym go do współczesnych wartości w bazalcie, to z równania (3) zmodyfikowanego do $(^{129}Xe/^{130}Xe)_{bazalt} = (^{129}Xe/^{130}Xe)_{atmosferyczny} + (^{129}I/^{127}I)_{odgazowanie} (^{127}I/^{130}Xe)_{płaszcz}$) możemy otrzymać wiek 4,4 Ga, nieodróżnialny od wieku jądra.

Podsumowując, wygasłe izotopy promieniotwórcze są interesujące nie tylko same w sobie, czyli jeśli chodzi o astrofizyczne procesy, które je wytworzyły, ale także jako nieocenione narzędzie do określania momentów zdarzeń w początkach historii Układu Słonecznego z bezprecedensową dokładnością.

E-mail: emmanuel.p.jacquet@wanadoo.fr

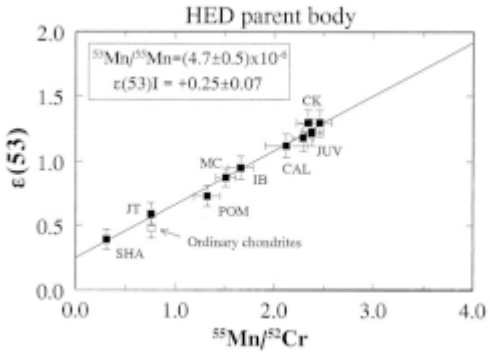


***Fig. 3. Naniesiono tu stosunki izotopów całych meteorytów (*bulk *rocks) z grupy Howardyty-Eukryty-Diogenity (dla porównania pokazano średnie wartości dla chondrytów zwyczajnych). ε(53) jest zdefiniowany jako odchylenie $^{53}Cr/^{52}Cr$ w stosunku do ziemskiej wartości standardowej (około 0,1134) w częściach na 10 000. Punkty danych definiują izochronę o nachyleniu $(4,7 \pm 0,5)\times10^{-6}$, która oznacza stosunek $^{53}Mn/^{55}Mn$ w momencie dyferencjacji planetoidy 4 Westa, która od tego czasu zachowywała się w skali globalnej jak system zamknięty. Ilustracja z Lugmair and Shukolyukov, 2001, za zgodą* Meteoritics and Planetary Sciences.**

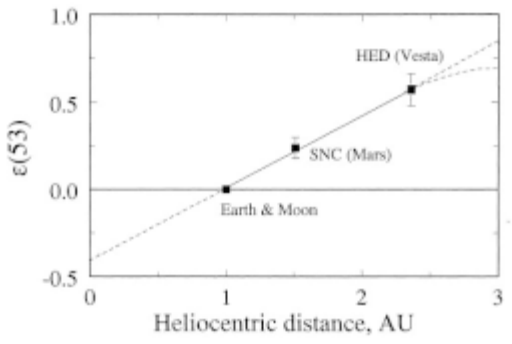


***Fig. 4. Radialny gradient ε(53) (t.j., $^{53}Cr/^{52}Cr$, zob. podpis do fig. 3) i jego możliwa ekstrapolacja (linia kropkowana) do Słońca i poza główny pas planetoid. Dlatego przypuszcza się, że początkowe rozmieszczenie manganu-53 jest przestrzennie różnorodne i czysto chronologiczna interpretacja różniących się początkowych stosunków $^{53}Mn/^{55}Mn$ w meteorytach z różnych zbiorników izotopowych staje się niezupełnie widoczna. Ilustracja z Lugmair and Shukolyukov, 2001, za zgodą* Meteoritics and Planetary Sciences.**

Literatura

Allčgre, C. J. 2005. *Géologie isotopique*, Belin.

Birck, J.-L. 2005. *An overview of isotopic anomalies in extraterrestrial materials and their nucleosynthetic heritage*, Reviews in Mineralogy & Geochemistry, Vol. 55, 2004.

Gounelle M. and Russell, S. S. 2004. *Spatial heterogeneity of short-lived isotopes in the solar accretion disk and early solar system chronology,* Chondrites and the protoplanetary disk ASP Conferences Series, Vol. 341.

Jacquet, E. 2006. *Anomalies isotopiques dans le systčme solaire; les grains présolaires*, Travail d'Initiative Personnelle Encadré (prezentacja).

Lee, T., Panastassiou, D. A., Wasserburg, G. J. 1976. *Demonstration of ^{26}Mg excess in Allende and evidence for ^{26}Al*, Geophysical Research Letters, Vol. 3, issue 2, p 109-112.

Lugmair, G. W. and Shukolyukov, A. 2001 *Early solar system events and timescales,* Meteoritics and planetary science, Vol. 36.

Kita, N. T., Huss, G. r., Tachibana, S., Amelin, Y., Nyquist, L. E., Hutcheon, I. D. 2005. *Constraints on the origin of chondrules and CAIs from short-lived and long-lived radionuclides,* Chondrites and the protoplanetary disk ASP Conference Series, Vol. 341.

W tej pracy wykorzystano NASA's Astrophysics Data System.

Emmanuel Jacquet jest na trzecim roku „licence de physique" (studia licencjackie fizyki)

Ecole Normale Supérieure de Paris. Ten artykuł dedykuje swoim dziadkom: Robert Joly, Alice Saničres, and Pierre Jacquet.

Odkrycie kalifornijskiego obszaru rozrzutu

Ruben Garcia

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 13 No. 1. Copyright © 2007 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Część I

Na tym terenie były dosłownie setki meteorytów. We czwartek wieczorem, 16 listopada 2006 roku, otrzymałem emailem zaproszenie od Roba Matsona, znakomitego poszukiwacza meteorytów. Rob pytał, czy chciałbym towarzyszyć mu w poszukiwaniach na kilku wyschniętych jeziorach kalifornijskich. Bardzo się ucieszyłem, bo chociaż wiedziałem o niektórych zdumiewających znaleziskach Roba, nigdy nie miałem okazji szukać razem z nim. Rob jest bardzo doświadczonym poszukiwaczem, który każdego może czegoś nauczyć, jeśli chodzi o znajdowanie meteorytów. Niezwłocznie wysłałem odpowiedź, ponieważ jak najszybciej chciałem poznać szczegóły, aby spróbować dopasować mój rozkład zajęć tak by móc dołączyć do niego. Ponieważ to było tydzień przez Świętem Dziękczynienia, mogłem być pewien, że będzie to mój ostatni wolny weekend na dłuższy czas. Naprawdę zamierzałem postarać się tam być. Niestety, gdy Rob odpisał, okazało się, że teren, który zamierzał przeszukiwać, był dość daleko, około sześciu lub siedmiu godzin jazdy. Humor mi się popsuł, ponieważ nie wiem jak bym się starał, czułem, że po prostu nie da się tego zrobić.

Podziękowałem Robowi za zaproszenie, grzecznie odmówiłem i zacząłem myśleć, dokąd mógłbym wybrać się w ten weekend na poszukiwanie meteorytów. Teren musiałby być dość blisko, ale dawać realną możliwość znalezienia meteorytów. Słyszałem od paru osób, że meteoryty znajdowano koło kalifornijskiej granicy. Próbowałem nawet wybrać się tam raz czy dwa, ale z takich czy innych powodów nigdy mi się to nie udało.

„Kalifornio nadchodzimy" powiedział mój syn zaspanym głosem, gdy tylko obudziłem go o 4:45 rano w sobotni ranek. Ruben Jr. zawsze mnie zadziwia. Będzie bronił się rękami i nogami przed wstawaniem wcześnie do szkoły, ale z radością wstanie na długo przed świtem na weekendową wyprawę na poszukiwanie meteorytów. „Znajdziemy coś dzisiaj?" spytał, gdy wjechaliśmy na drogę prowadzącą do autostrady.

„Prawdopodobnie nie", odpowiedziałem, „ale będzie fajnie, jak zawsze."

Zacząłem trochę obawiać się o powodzenie naszej weekendowej wycieczki, gdy po zatrzymaniu się na stacji benzynowej około 7:00 rano zauważyłem, że z lewego tylnego koła powoli schodzi powietrze. Sprawdziłem koło zapasowe i stwierdziłem, że jest dziurawe. Nigdy przedtem nie szukałem meteorytów w Kalifornii, więc nie wiedziałem, jakiego rodzaju terenu się spodziewać. Ale wiedziałem, że to kiepski pomysł jechać tak daleko na pustkowie z dziurką w jednym kole i bez koła zapasowego.

Fot. 1. Na tym terenie były dosłownie setki meteorytów.

Po krótkiej dyskusji z synem postanowiliśmy zaryzykować i jechać dalej. Ostrożnie skręciłem na gruntową drogę, która miała doprowadzić nas do celu. Nie była to najgorsza droga jaką widziałem, ale jednak się obawiałem. Tylko jeden ostry kamień, który znalazłby słabe miejsce w jednym z naszych kół, mógłby zostawić nas na mieliźnie, a co gorsza mój zazwyczaj niezawodny telefon komórkowy pokazywał, że „szuka sieci".

„Dlaczego tak się zawsze zdarza?" pytałem retorycznie. „Dlaczego meteoryty nie mogą być znajdowane bez problemów?"

„Zbliża się jeszcze jedna bruzda w drodze", informował mnie syn, jak tylko poczuliśmy podskok na poprzedniej bruździe.

Nie pamiętam jak daleko zajechaliśmy, gdy powiedziałem, „Musimy zaparkować i wziąć quada, jeśli nie chcemy tu utknąć."

Zanim wyładowaliśmy quada i zaczęliśmy meandrować ku zachodowi, była już 9 rano. Płaciliśmy już cenę za wolną i ostrożną jazdę, ponieważ dojazd, planowany na mniej więcej dwie i pół godziny, zajął prawie cztery godziny. Nie wiedząc, jak daleko jeszcze powinniśmy jechać i stwierdziwszy, że teren, gdzie jesteśmy, wygląda niezbyt obiecująco, zacząłem wątpić w sens naszej wycieczki. „Bazalt, bazalt, tu nie ma nic, tylko bazalt," narzekałem.

Odkąd zaparkowaliśmy i zaczęliśmy jeździć quadem, minęło ledwie piętnaście minut, ale wydawało się, że dużo więcej. „Nie wydaje mi się, że trafiliśmy na właściwe miejsce," zacząłem mówić, gdy coś po prawej przyciągnęło mój wzrok. „Czekaj, co to jest?" Powiedziałem z prawdziwym entuzjazmem.

„Co widzisz?" Spytał Ruben Jr. „Jest coś?" Bez słowa skręciłem w kierunku setek kamieni, i dużych i małych, które wyglądały zbyt pięknie, by mogły być prawdziwe.

Ostrożnie zniżając moją meteorytową laskę do ziemi powoli zbliżyłem

ją do jednego z tych bardzo zwietrzałych kamieni, który miał rozmiary średniej wielkości ziemniaka. „„Nie mogę w to uwierzyć!" krzyknąłem, gdy podskoczył do mojego magnesu. Podniosłem go powoli na kolana i odczepiłem od magnesu oceniając jednocześnie wzrokiem okolicę. „To nie może być. To wszystko są meteoryty!" Powiedziałem z niedowierzaniem powoli odjeżdżając.

Ruben Jr., nie wiedząc, co się dzieje, pytał, „Tato, co powiedziałeś? Tato? Tato?"

„Synu, każdy z tych kamieni jest meteorytem!" Powiedziałem podniesionym głosem, by było mnie słychać przez delikatne mruczenie quada.

„Co?" spytał. „To dlaczego odjeżdżamy? Pozbierajmy je!"

„Pozbieramy je jak tylko się z nich wydostaniemy. Są wszędzie!" krzyczałem.

Stanie przed setkami meteorytów, które leżą na pustynnym piasku tylko czekając na pozbieranie, to nieprawdopodobny widok. Ani mój syn, ani ja, nie mogliśmy w to uwierzyć i musieliśmy stać z otwartymi ustami chwilę lub dwie. Potem, jak byśmy właśnie wygrali na loterii, Ruben Jr. podniósł ręce do góry i wrzasnął, „To jest najlepszy dzień w życiu!" Przybijaliśmy ciągle „piątki", to lewą, to prawą. Potem nagle zatrzymał się i spytał bardzo poważnie, „Ty nie oszukujesz, prawda?" Zapewniłem go, że nie i znów powróciliśmy do tańca „znalazłem obszar rozrzutu meteorytów".

Po chwili uspokoiliśmy się i zabraliśmy się do bardzo żmudnej roboty określania współrzędnych i robienia

Fot. 2. Razem z synem zebrałem w sumie 425 całkowitych okazów i fragmentów.

zdjęć okazów w miejscu znalezienia. Chociaż jest to trudna praca, jest to ulubione zajęcie poszukiwacza meteorytów i oczy nam się śmiały. Do tej soboty Ruben Jr. znalazł tylko jeden meteoryt, ale pod koniec dnia zebrał ponad setkę fragmentów i całkowitych okazów.

Parokrotnie ogłaszaliśmy z Rubenem juniorem, że zebraliśmy wszystkie meteoryty, aby chwilę później obrócić się i znaleźć inną kieszeń meteorytowych okruchów tylko kilka stóp dalej. W pewnym momencie nawet spakowaliśmy nasze manatki i odjechaliśmy, a potem szybko zawróciliśmy, bo wypatrzyliśmy kilka fragmentów, które schowały się akurat pod naszym quadem. Nasz końcowy wynik tego dnia, gdy policzyliśmy wszystkie okazy duże i małe, wyniósł 425. Długość i szerokość obszaru rozrzutu była około sześćdziesiąt na sześćdziesiąt stóp, przy czym większość okazów była skoncentrowana w środku. Wyglądało na dość oczywiste, że wraz z wieloma mniejszymi, nienaruszonymi, całkowitymi okazami duży meteoryt rozpadł się wskutek wietrzenia na setki fragmentów. Przeszukaliśmy pokrótce teren wokół tego obszaru i nie znaleźliśmy żadnego więcej meteorytu. Po tym wszystkim założę się, że wrócimy i rozejrzymy się przynajmniej jeszcze raz.

Fot. 3. Znaleźliśmy ten obszar rozrzutu około 9:15 rano, zaledwie po kilku minutach poszukiwań.

Część II

Jak dziecko wyczekujące Bożego Narodzenia nie mogłem się doczekać nadejścia Święta Dziękczynienia, ale nie tylko z tradycyjnych powodów. Chociaż bardzo lubię spędzać czas z rodziną w Święto Dziękczynienia, tym razem było nieco inaczej. Właśnie odkryłem mały obszar rozrzutu i następnego dnia po święcie zamierzałem tam wrócić i przeszukać ten teren. Rzeczywiście wierzyłem, że moje odkrycie w poprzednim tygodniu może prowadzić do bardzo dużego obszaru rozrzutu z meteorytami.

Wyruszyłem w piątek wczesnym rankiem spodziewając się wspaniałego dnia. Zaprosiłem do towarzystwa trzech przyjaciół, doświadczonych poszukiwaczy meteorytów. Jeśli było na tym terenie więcej meteorytów, to byli oni odpowiednimi ludźmi, by je znaleźć, więc uważałem, ze mamy duże szanse. Przez całą drogę do tego miejsca zajmowałem się dwiema rzeczami: marzeniami o możliwościach wielkiego obszaru rozrzutu i telefonowaniem do każdego, by upewnić się, że przyjedzie na czas.

Przybyłem na teren poszukiwań pierwszy, ale tylko o sekundy wyprzedziłem jednego z moich zaprawionych w poszukiwaniach meteorytów przyjaciół. Wybrałem miejsce do zaparkowania i po krótkim przywitaniu zaczęliśmy wyładowywać rzeczy. Jak potwierdzi każdy, kto kiedykolwiek ze mną szukał, jestem trochę niecierpliwy, wiec nie było niespodzianką, że byłem gotów pierwszy. Wyładowałem mojego czterokołowca, bagaże i resztę sprzętu, zanim mój partner zdążył wyładować samego quada.

Próbowałem siedzieć spokojnie na quadzie i gdy rozmawialiśmy, on bardzo starannie sprawdzał cały sprzęt. Rozmawialiśmy o szansach. Znacie takie rozmowy; wyglądają mniej więcej tak. Musi to być duży obszar rozrzutu, ponieważ prawdopodobieństwo takiego znaleziska, jak moje tylko przez przypadek, jest bardzo małe. To co miało się zaraz zdarzyć, przekonało nas, przynajmniej na chwilę, że mieliśmy rację.

Mój partner zaczął ledwie odwiązywać swego quada, gdy ja uruchomiłem mojego i delikatne mruczenie mego czterokołowca sprawiło, że chciałem zacząć poszukiwania. Zamiast poczekać na niego postanowiłem powoli jeździć dokoła i sprawdzać podejrzanie wyglądające kamienie. Jeździłem wokół tylko około pięciu minut i byłem około stu stóp od samochodów, gdy znów to się zdarzyło. Był on tam, absolutnie piękny meteoryt, spoczywający niepewnie na zboczu małego pagórka.

Wyglądający jak jakiś rodzaj „znaku z góry" był on znacznie większy i ładniejszy, niż jakiekolwiek z meteorytowych znalezisk zeszłego tygodnia. Leżąc na powierzchni ten okaz był zwarty, zupełnie nietknięty i po prostu czekał, by go znaleźć. „Znalazłem jednego!" wrzasnąłem akurat, gdy mój partner skończył wyładowywać swego quada.

Fot. 4. Do południa nasze torby wypełniły się tymi bardzo zwietrzałymi chondrytami.

„Nie, niemożliwe", odpowiedział nerwowym tonem. „Naprawdę?"

„No, właśnie tu!" odparłem. „Chodź zobacz, jeszcze go nawet nie dotknąłem."

Przyszedł najszybciej jak mógł, potwierdził, że to meteoryt, a potem bez namysłu zaczął sprawdzać sąsiednie kamienie. „Muszą być wszędzie!" zawołał. Zgodziłem się z nim i po bardzo krótkich gratulacjach kontynuowaliśmy poszukiwania jeszcze jednego meteorytu.

Sprawdzaliśmy wizualnie kamienie w okolicy tylko przez około pół godziny, gdy przybyła reszta ekipy. Szybko przekazaliśmy im nowiny i wszyscy zgodziliśmy się, że musi tu być więcej meteorytów. Po umówieniu się, że spotkamy się znów po pewnym czasie, nasza czwórka rozdzieliła się i zaczęła poszukiwania. Trzech z nas szukało wizualnie siedząc na quadach, a czwarty, Jim Kriegh, szukał z wykrywaczem metalu.

Wyobraźcie sobie nasze rozczarowanie, gdy po paru godzinach trzech z nas się spotkało i nikt nie znalazł nawet najmniejszego fragmentu meteorytu. „Co jest?" powiedziałem. „Myślałem, że ktoś już coś znalazł do tej pory." Nie chcąc przyznać się do porażki już po kilku godzinach szukania, znów wyruszyliśmy na poszukiwania.

Szukaliśmy cały dzień, ale gdy słońce zaszło, żaden meteoryt nie został znaleziony. Siedzieliśmy wszyscy tej nocy przy ognisku i znów rozmawialiśmy o prawdopodobieństwie. Czy mogłem mieć takie szczęście, że znalazłem jedyny meteoryt w okolicy już po kilku minutach szukania? Byliśmy ciekawi, co to wszystko znaczy i poszliśmy spać wcześnie z nadzieją, że następny dzień będzie lepszy.

Nadszedł ranek przynosząc nową energię i optymizm. Życzyliśmy sobie nawzajem powodzenia, rozdzieliliśmy się i znów zaczęliśmy poszukiwania. Niestety pozytywny nastrój, z którym zaczęliśmy dzień, nie trwał długo. Po paru godzinach, gdy znów się spotkaliśmy, każdy z nas był już coraz większym pesymistą, jeśli chodzi o znalezienie dalszych okazów.

Dzień się skończył i z wyjątkiem

Fot. 5. Ja i ważący 732 g okaz znaleziony już po kilku minutach szukania.

Fot. 6. Mój 732 g meteoryt w miejscu znalezienia.

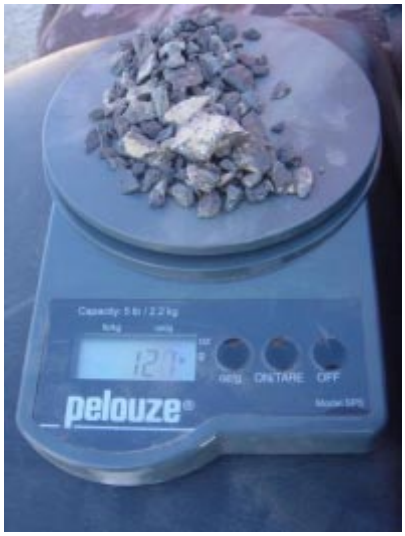
Jima Kriegha nikt nie znalazł ani jednego meteorytu więcej. Jim, mądrzejszy i bardziej cierpliwy niż pozostali, znalazł sobie miejsce, z którego był zadowolony. To było to samo miejsce, gdzie wraz z synem zebraliśmy przed tygodniem ponad czterysta fragmentów meteorytu. Cierpliwie przeszukał ten teren wykrywaczem metalu i magnetycznymi grabkami i znalazł trochę bardzo ładnych, małych meteorytów. Największym znaleziskiem Jima był ładny, całkowity okaz, który ważył ciut ponad 10 gramów. Wszystkie jego znaleziska ważyły łącznie 127 gramów.

Pakując rzeczy i szykując się do powrotu do domu rozmawialiśmy. Każdy mówił, że widział wiele wyraźnych śladów, że na tym terenie był inny poszukiwacz czy poszukiwacze. Byliśmy ciekawi, czy „mój obszar rozrzutu" w ogóle nie był mój, i został w rzeczywistości już odkryty przez kogoś innego. Po znaleziskach ostatniego tygodnia pogrzebałem trochę w literaturze i stwierdziłem, że przed laty był na tym terenie znaleziony i sklasyfikowany meteoryt. Może ktoś bez rozgłosu przeszukiwał od lat ten teren i przez nieuwagę zostawił dwa nietknięte obszary, na które przypadkiem natrafiłem.

Może nigdy nie dowiemy się dokładnie, co się stało, ale jedno wiem na pewno. Wiem, że naprawdę miałem ogromne szczęście, że znalazłem ten meteoryt w piątkowy ranek i mały obszar rozrzutu tydzień wcześniej. Mogłem łatwo wrócić do domu z pustymi rękami, co poszukiwaczowi meteorytów zdarza się znacznie częściej. To doświadczenie pokazało mi, że nawet jeśli nikt nie daje ci żadnych szans, wciąż jest możliwe, że wrócisz do domu jako zwycięzca.

Fot. 7. Jim słucha uważnie swego wykrywacza, a potem przy pomocy swych magnetycznych grabek podnosi okaz.

E-mail: *meteoritemall@yahoo.com*



Urodziłem się w Durango, w Colorado, w kwietniu 1964 r., a dorastałem w północnej części Nowego Meksyku. Jesienią 1986 r. przeniosłem się do Phoenix w Arizonie. w 1998 r. zobaczyłem przypadkiem na Discovery Channel Boba Haaga mówiącego o meteorytach i od razu zainteresowałem się tymi zdumiewającymi, pozaziemskimi kamieniami. Zaraz następnego dnia poszedłem do biblioteki i przeczytałem, ile tylko mogłem na ten temat. Jednym z pierwszych ludzi, jakich spotkałem, był Jim Kriegh. Bezinteresownie uczył mnie sztuki szukania meteorytów. Powiedział mi, jaki rodzaj wykrywacza metalu kupić, a także zaprosił na obszar rozrzutu Gold Basin, gdzie w końcu znalazłem mój pierwszy meteoryt. Obecnie lubię szukać meteorytów, jak tylko znajdę czas, ponieważ uwielbiam te chwile, gdy jestem na odludziu i znajduję meteoryt. Dla mnie meteoryt jest czymś więcej niż tylko kamieniem z kosmosu; jest jedynym pozaziemskim obiektem, który można mieć na własność.

O znalezieniu meteorytu żelaznego Sejmczan

W. I. Cwietkow

(Notatka z czasopisma ÌÅÒÅÎÐÈÒÈÊÀ, nr 29 z 1969 r.)

Meteoryt Sejmczan został znaleziony 18 czerwca 1967 r, przez technika-geologa, F. A. Miednikowa, z Północno-wschodniego Urzędu Geologicznego, podczas jednej z wypraw poszukiwawczych. Meteoryt leżał w korycie jednego ze strumieni z basenu rzeki Jasacznej (mapa), lewego dopływu Kołymy (obwód Magadański).

Opis swego znaleziska Miednikow wysłał do Komitetu meteorytowego; następnie udało mu się wysłać tamże malutki fragment odłupany od głównej masy. Analiza tego fragmentu, zrobiona w Komitecie, pozwoliła ostatecznie stwierdzić meteorytowy charakter znaleziska.

W sierpniu i wrześniu 1967 r, w Przymorskim kraju pracowała sichote-alińska ekspedycja meteorytowa wysłana przez Komitet meteorytowy. Kierujący ekspedycją E. Ł. Krinow, po otrzymaniu z Moskwy wiadomości o magadańskim znalezisku, wydelegował dwóch uczestników ekspedycji (I. N. Markowa i autora) w celu zbadania miejsca znalezienia i zorganizowania wywozu meteorytu.

Położone najbliżej miejsca znalezienia lotnisko znajduje się we wsi Sejmczan, obwodu magadańskiego. Dotarliśmy tam najszybciej, jak to było możliwe, ponieważ był to już początek października, spadł śnieg, a supkanński oddział polowy, w którym pracował Miednikow, oczekiwał na ewakuację z rejonu prac. Oddział ten wchodził w skład Centralnej, kompleksowej, tematycznej ekspedycji Północno-wschodniego Urzędu Geologicznego.

Specjalny lot śmigłowca prowadzącego ewakuację supkanińskiego oddziału przerzucił nas i czterech pracowników oddziału do ujścia strumienia, w korycie którego leżał meteoryt. Bezpośrednio przy meteorycie śmigłowiec nie mógł wylądować; strumień był na to zbyt wąski.

Obejrzeliśmy meteoryt. Kształtem przypomina on graniastosłup o trójkątnej podstawie, z podstawami nachylonymi do jednej z krawędzi. Szerokość ścianek mniej więcej jednakowa (40––45 cm), najdłuższy wymiar 60 cm. Nachylenie postaw stwarza wrażenie kształtu z grubsza orientowanego; na ściankach przylegających do krótkiej krawędzi widoczne są regmaglipty. Jedna z krawędzi ma poszarpane brzegi wskazujące widocznie na oderwanie się jakichś fragmentów. Jest nieduży fragment równej, błyszczącej powierzchni oszlifowanej wodą, piaskiem i żwirem. Tu i ówdzie widać linie podobne do figur trawienia. Waga meteorytu około 300 kg.

I.N. Markow przy pomocy wykrywacza zbadał koryto strumienia na 15 m w górę i na 100 m w dół od znaleziska, a także niektóre fragmenty zboczy. Udało mu się 20 m w dół od pierwszego znaleziska odnaleźć drugi meteoryt ważący 51 kg. Miał on kształt czworościanu, a na powierzchni regmaglipty takiej samej wielkości, jak na dużym okazie. Próby dopasowania do siebie obu meteorytów jakąkolwiek powierzchnią nie zakończyły się powodzeniem.

Pomysł poszukiwania okazów z deszczu meteorytów przy pomocy wykrywacza min należy do E. Ł. Krinowa; był on wynikiem udanego zastosowania wykrywacza do poszukiwań okazów z deszczu meteorytów Sikhote-Alin.

Z dużym trudem, wlokąc je po ziemi, udało nam się przetransportować meteoryty do śmigłowca, który dostarczył je do Sejmczanu. Stamtąd samolotem poleciały do Magadanu. Mniejszy meteoryt przekazano do zbiorów muzeum geologicznego Północno-wschodniego Urzędu Geologicznego, a większy wysłano do Moskwy, do Komitetu meteorytowego.

Wyrażamy szczerą wdzięczność kierownikowi supkanińskiego oddziału, B.W. Preobrażeńskiemu, F. A. Miednikowowi, pracownikom transportującym meteoryt, za ich ofiarną, bezinteresowną pomoc.

Fragment książki Ewgenija Krinowa „Żelazny deszcz"

Z Izmajlichy dostarczono mi telegram z Komitetu meteorytowego. Informował on o znalezieniu nowego meteorytu żelaznego. Było w nim napisane, że szczegóły zawarte są w liście wysłanym do Dalniereczenska.

Rano było około 7 stopni mrozu i ujemna temperatura utrzymywała się przez cały dzień.

2 października okazało się, że ciężarówek do przewiezienia ładunku ekspedycji i jej uczestników do Dalniereczenska tego dnia nie będzie, ponieważ wszystkie samochody zajęte są różnymi pilnymi przewozami dla lespromchozu. Wobec tego ośmiu uczestników ekspedycji, włącznie z autorem, odjechało do Dalniereczenska zwykłym, rozkładowym autobusem. Pięciu ludzi zostało nadzorować przewóz ładunku.

O 6 wieczorem autobus przybył do Dalniereczenska i wszyscy rozlokowaliśmy się w hotelu. W Dalniereczensku otrzymałem szczegółową informację z Komitetu meteorytowego o znalezieniu nowego meteorytu żelaznego. Okazało się, że ten meteoryt, ważący około 300 kilogramów, znalazła grupa geologów w rejonie rzeki Jasacznoj, koło wioski Sejmczan w kraju Chabarowskim. Informowano, że meteoryt pozostawiono w miejscu znalezienia. Postanowiłem wydelegować do zbadania sprawy meteorytu W. I. Cwietkowa z I. Markowem. We dwójkę, wziąwszy z sobą półprzewodnikowy wykrywacz, odjechali pociągiem do Chabarowska, a stamtąd samolotem mieli dostać się do ekipy geologów. Ten wyjazd Cwietkowa okazał się owocny, bo nie tylko wywiózł on i wysłał do Komitetu meteorytowego znaleziony meteoryt, ale przy pomocy wykrywacza odnalazł w jego pobliżu jeszcze jeden meteoryt żelazny ważący 57 kg.

Szok i groza

O. Richard Norton

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 13 No. 1. Copyright © 2007 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Zakrawa to na cud, że meteoryty przeżyły tak długi czas w pasie planetoid. Ich macierzyste planetoidy były wielokrotnie rozbijane przez zderzenia z sąsiednimi ciałami. W większości chondrytów zwyczajnych widać ślady zderzeń przy małych i dużych prędkościach. Występowały one w trakcie i po okresie akrecji planet wewnętrznych. Zderzenia te powodowały zmiany pierwotnych cech chondrytów. Zmiany, które miały miejsce, były wynikiem metamorfizmu szokowego.

Najbardziej oczywiste właściwości będące skutkiem szoku są widoczne gołym okiem w strukturze chondrytów w postaci żyłek i zbrekcjowania (fot. 1). W zbrekcjowanych chondrytach o umiarkowanym stopniu szokowym S3 widać ciemne, szkliste żyłki o składzie chondrytowym biegnące przez wnętrza. Często żyłki wyglądają jak włókienka odgałęziające się od większych żył. Tworzą się one w wyniku lokalnego stopienia skały wskutek uderzenia i wstrzyknięcia stopu w istniejące wcześniej szczeliny. Szokowe żyłki metalicznego żelaza spotyka się powszechnie w chondrytach, szczególnie tych o dużej zawartości metalu. Żyłki metalu często biegną przez cały meteoryt kończąc się w gniazdach metalu. Te żyłki wymagają ciśnienia przy zderzeniu przekraczającego 25 GPa (paskal [Pa] jest standardem dla pomiaru ciśnienia związanego z szokiem zderzeniowym. Jego wartość jest niewielka w porównaniu z ciśnieniem atmosferycznym [1 bar]) (fot. 2).

Głównym minerałem wykorzystywanym do klasyfikacji szokowej jest oliwin. Wykorzystuje się go w przypadku każdego meteorytu zawierającego oliwin, włącznie ze wszystkimi chondrytami C i kilkoma szczególnymi achondrytami takimi jak ureility. System klasyfikacji szokowej opracowali po raz pierwszy D. Stöffler, K. Keil i E. R. D. Scott w 1991 roku wykorzystując oliwin jako główny minerał do określenia stopnia metamorfizmu szokowego. Nie obejmował on tych meteorytów, które mają mało oliwinu, takich jak chondryty E. System ten zmodyfikowali w 1997 roku A. E. Rubin i E. R. D. Scott by włączyć te meteoryty, które zawierają ortopirokseny (enstatyt) razem z oliwinami. System klasyfikacji szokowej dzieli się na sześć stopni w kolejności rosnącej od S1 do S6 i wykorzystuje efekty szokowe obserwowane w oliwinach i czasem w plagioklazie. W przypadku chondrytów plagioklaz pojawia się dopiero gdy chondryt jest w równowadze chemicznej typu 5 lub 6. W tym artykule wykorzystujemy petrograficzny mikroskop polaryzacyjny by pokazać efekty metamorfizmu szokowego w oliwinie i plagioklazie. Na szczęście do identyfikacji cech szokowych potrzebne jest tylko przygotowanie płytki cienkiej i obejrzenie jej w mikroskopie petrograficznym. Poniżej podane jest zestawienie kryteriów stosowanych do klasyfikowania intensywności metamorfizmu szokowego.

System klasyfikacji szokowej Stöfflera-Keila-Scotta

S1 — brak zmian szokowych

Przy obracaniu płytki cienkiej obserwuje się ostre wygaszanie światła w oliwinie i plagioklazie. Mogą być widoczne nieregularne spękania, które zwykle obserwuje się w oliwinie i plagioklazie w skałach ziemskich i w chondrytach bez zmian szokowych.

Ciśnienie: < 5 GPa.

S2 — bardzo słabe zmiany szokowe

I w oliwinie i w plagioklazie widać wygaszanie faliste (tj.wygaszanie nie jest jednorodne, ale pojawia się w minerale jako fala ściemnienia). Wygaszanie faliste spotyka się powszechnie w poddanych ciśnieniu ziarnach kwarcu w ziemskich skałach magmowych i metamorficznych, ale jest ono raczej skutkiem ciśnienia statycznego, a nie szoku uderzeniowego.

Ciśnienie: 5 — 10 GPa.

S3 — słabe zmiany szokowe

W oliwinie widać serie planarnych spękań zwanych *lamelkami szokowymi*, w których są przynajmniej trzy równoległe spękania w serii lub przynajmniej dwie serie równoległych spękań przecinających się wzajemnie (fot. 3). Widoczne są one jako bliskie siebie spękania, odmienne od płaszczyzn łupliwości, ale zorientowane równolegle do pewnych płaszczyzn w sieci krystalicznej. Lamelki szokowe są najważniejszym wskaźnikiem tego stopnia szokowego. W oliwinie wciąż jest widoczne wygaszanie faliste. W skaleniu nie widać planarnych spękań, ale nadal widać wygaszanie faliste. Zaczynają pojawiać się nieprzezroczyste żyłki i kieszenie stopionej materii.

Ciśnienie: 15 — 20 GPa

S4 — umiarkowane zmiany szokowe

Planarne spękania nadal występują w tym stopniu szokowym i w kryształach oliwinu tworzy się niewyraźna tekstura mozaikowa (fot. 4). Jest to najważniejsze kryterium stopnia szokowego S4. W plagioklazie widoczne jest faliste wygaszanie i pojawiają się planarne struktury deformacji, które w świetle spolaryzowanym są częściowo izotropowe. Jest to początek przemiany fazowej skalenia (oligoklazu) w maskelynit (fot. 5), ale bez upłynnienia (szkliwo diaplektyczne). Szkliwo diaplektyczne jest pseudomorfozą po oryginalnym krysztale i nie wykazuje oznak płynięcia. Kieszenie stopu z łączącymi je żyłkami stają się liczniejsze.

Ciśnienie: 30 — 35 GPa.

S5 — silne zmiany szokowe

W oliwinie widoczna jest bardzo wyraźnie mozaikowa tekstura wraz z planarnymi spękaniami i planarnymi oznakami deformacji. Skaleń jest całkowicie przekształcony w maskelynit. Jest to cecha rozpoznawcza stopnia S5. Kieszenie stopu i łączące je żyłki rozsiane są po całym meteorycie. Nieprzezroczyste żyłki szokowe tworzy mieszanina krystalicznej materii wytworzona przez stopienie i wzajemne przerosty różnych minerałów krzemianowych, troilitu i metalu. Rosną one ze wzrostem stopnia szokowego

i często powiększają się do postaci kieszeni stopu.

Ciśnienie: 45 — 55 GPa.

S6 — bardzo silne zmiany szokowe

Następuje rekrystalizacja oliwinu i piroksenu w stanie stałym. Występuje topienie oliwinu i piroksenu na krawędziach kryształów przylegających do kieszeni stopu. Część oliwinu przekształca się w ringwoodyt, minerał o tym samym składzie chemicznym, co oliwin, ale o innej strukturze krystalicznej. Maskelynit w kieszeniach stopu topi się i przekształca w normalne szkliwo.

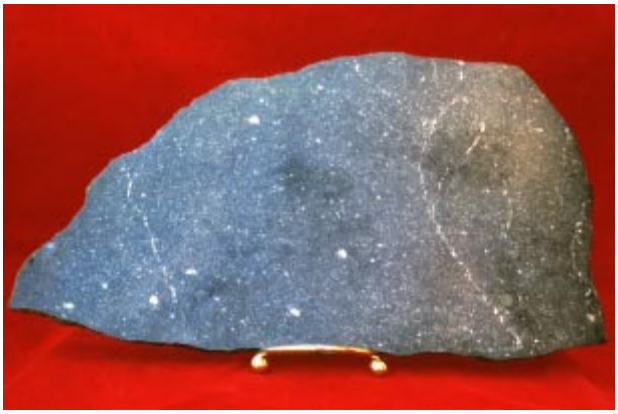
Ciśnienie: 75 — 90 GPa.

Ciśnienie szokowe wyższe niż S6 powoduje stopienie meteorytu. Ponadto chondryty podlegające dużym ciśnieniom szokowym są prawie zawsze zbrekcjowane. Przyjrzeliśmy się pokrótce efektom szoku uderzeniowego. Następnym razem popatrzymy na efekty uderzeniowego zbrekcjowania chondrytów.

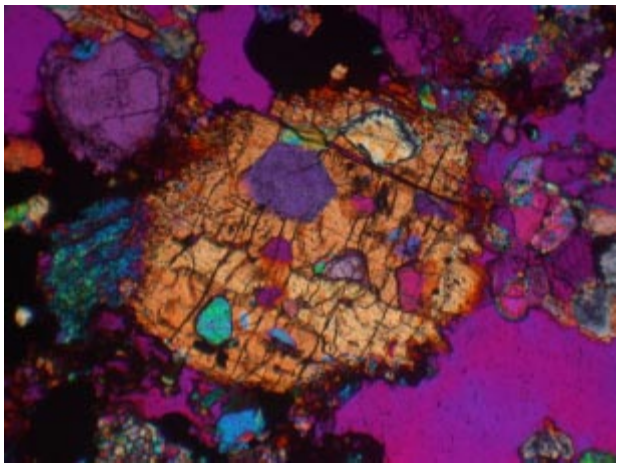
E-mail:
sciencegraphics@empnet.com

Tłumaczenie tego artykułu sprawdzili i poprawili pod względem merytorycznym prof. dr hab. Ryszard Kryza i dr hab. Tadeusz Przylibski, za co tłumacz jest wdzięczny w imieniu swoim i czytelników. Korekta nie objęła potknięć autora, bo do ich poprawiania tłumacz nie jest upoważniony.

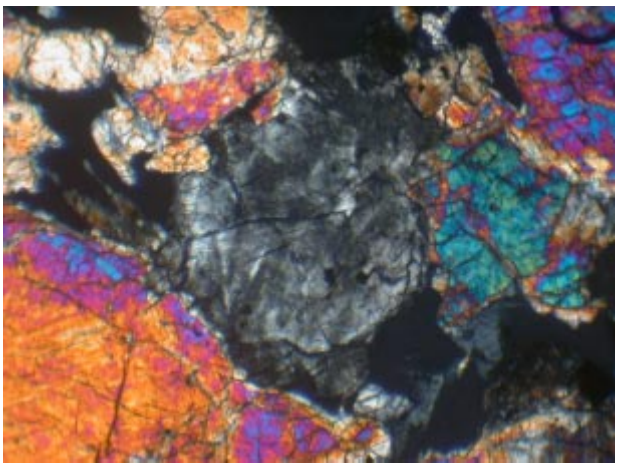
Fot. 1. Wnętrze chondrytu L6 St. Michel z Mikkeli w Finlandii. W białym wnętrzu widać okruchy o tym samym składzie, zgrzane razem w monomiktyczną brekcję. Łączy je w całość ciemna, szklista, stopiona szokowo materia matrix.



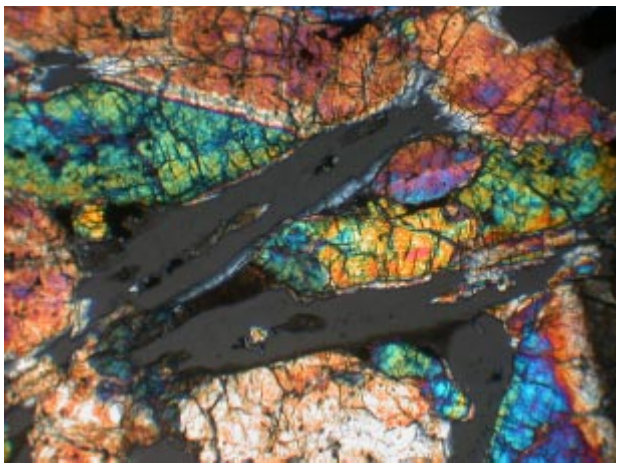
Fot. 2. Liczne żyłki szokowe przecinają płytkę chondrytu zwyczajnego L5 Etter z Teksasu. Duże ziarna metalu rozsiane wzdłuż żyłek szokowych to metal wypełniający kieszenie stopu.



Fot. 3. To zdjęcie ukazuje serie planarnych, równoległych spękań zwanych „lamelkami szokowymi". Zwykle lamelki występują w seriach przynajmniej trzech równoległych spękań przecinających kryształ oliwinu lub skalenia.



Fot. 4. To zdjęcie przedstawia kryształ piroksenu z shergottytu Zagami częściowo wygaszony optycznie. Ten plamisty, szary obraz ukazuje mozaikowość kryształu.



Fot. 5. Ten skaleń z Zagami doznał silnych zmian szokowych. Ciemnoszara, wydłużona materia widoczna przy skrzyżowanych polaroidach, to maskelynit — szkliwo o składzie plagioklazu.