BIULETYN MIŁOŚNIKÓW METEORYTÓW

METEORYT

Nr 2 (86) Czerwiec 2013

W numerze:

- Chondryty CM
- Wspólne źródło eukrytów i mezosyderytów?
- Dzieci Westy
- Późnodewońskie impakty
- Relacja z Ensisheim

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 2013 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. kom. 696 805 247

aspmet@wp.pl

Redakcja techniczna i skład komputerowy: Jacek Drążkowski

Druk: Drukarnia *Jan*, Lidzbark W.

METEORITE

THE INTERNATIONAL QUARTERLY OF METEORITES AND METEORITE SCIENCE

Arkansas Center for Space and Planetary Sciences
FELD 202
University of Arkansas
Fayetteville, AR 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.

Od redaktora:

W artykule o czelabińskich meteorytach, który udostępnił nam Svend Buhl w poprzednim numerze, pominięty został wskutek nieporozumienia autor zdjęć na okładce (to większe) i na stronach 3, 4 (górne) i 7 (dolne). Jest to P. Muromow. Przepraszam i autora zdjęć i autora artykułu.

Redakcja „Meteorite" oferuje ostatnio numery tematyczne. Pierwszy tegoroczny numer poświęcono meteorytom z Westy, a drugi meteorytom z Czelabińska. Oferta nie przypadła mi do gustu, wobec czego w „Meteorycie" tematyka pozostaje zróżnicowana, ale w efekcie artykuły w tym numerze pochodzą z różnych numerów „Meteorite". Dzięki opóźnieniu tego numeru udało się nawet zmieścić artykuł z letniego numeru „Meteorite". Od nowego roku „Meteorite" ukazuje się w tych samych miesiącach, co „Meteoryt", ale o ile poprzedni numer był marcowy, to drugi numer nie jest czerwcowy, lecz letni. Pomysł, by kwartalnik nie wiązać z miesiącem, lecz z porą roku, zaczyna mi się podobać. Czy szanowni Czytelnicy są również tego zdania?

Cieszy mnie, że polscy dealerzy i miłośnicy meteorytów są coraz bardziej widoczni na targach w Ensisheim i z przyjemnością zamieszczam relację z tegorocznych targów. Z równą przyjemnością zwracam uwagę, że Marcin Cimała znów zaprasza na nasz, skromny w porównaniu z Ensisheim, ale własny piknik meteorytowy. Cieszy mnie również, że polscy badacze meteorytów uczestniczyli w dorocznej konferencji Meteoritical Society, tym razem w Edmonton, w Kanadzie. Mam nadzieję na relację w następnym numerze. Przyszłoroczna konferencja będzie bliżej, bo w Casablance, więc myślę, że polskich uczestników będzie więcej.

Zaraz po ukazaniu się poprzedniego numeru pojawiły się dwie książki o Morasku. Zbiorowe opracowanie: „Morasko. Największy deszcz meteorytów żelaznych w Europie środkowej" oraz, autorstwa Wiesława Czajki, „Bolid wielkopolski. Okoliczności spadku meteorytu Morasko". Zamierzałem o nich napisać, ale muszę ten zamiar odłożyć do następnego numeru. Gdyby ktoś zechciał mnie w tym wyręczyć, byłbym bardzo wdzięczny.

W polskiej meteorytyce sporo się dzieje, ale aby miłośnicy meteorytów o tym wiedzieli, ktoś musi o tym napisać. Serdecznie dziękuję autorom, którzy zechcieli zrelacjonować omawiane w tym numerze wydarzenia i zachęcam innych do pójścia w ich ślady.

Andrzej S. Pilski

Zdjęcia na okładce:
Łukasz Smuła ze wspaniałą kopią ćwierćtonowego Moraska, a wyżej NWA 7325 — domniemany przybysz z Merkurego. Fot. Kazimierz Mazurek.

Marcin Cimała zaprasza do Dzięgielowa na kolejny Piknik Meteorytowy w sobotę, 17 sierpnia, od godziny 10.

Sutter's Mill
— co jest takiego szczególnego w chondrytach CM?

Robert Beauford

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 18, No. 4. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2012

Chondryty CM – zwykła niezwykłość

Znów zarzucono mi nadmierny entuzjazm w stosunku do najmniej interesująco wyglądającego kamienia, jaki tylko można znaleźć. Często się to zdarza, ale w tym przypadku podobnego zdania jest niemal każda, nie będąca naukowcem, osoba, która widzi taki kamień. Gdy ktoś używa określeń „najbardziej" lub „najmniej" w świecie meteorytów, w którym najstarsze, najszybsze, najbardziej odległe i najrzadsze, to norma, to odnoszą się one zwykle do czegoś naprawdę niezwykłego czy zdumiewającego. Te najbardziej prymitywne chondryty węgliste są jednym i drugim. Zwykle też przypominają wyglądem węglowy brykiet.

Grupa chondrytów węglistych CM reprezentuje rodzaj najbardziej szczegółowych kapsuł czasu z początków Układu Słonecznego, jakie obecnie mamy, a także nasze najlepsze dane dotyczące sposobu jego formowania się i warunków poprzedzających to formowanie. Do ciemnej barwy tych chondrytów przyczynia się stosunkowo duża zawartość węgla, ale głównie barwa ta jest wynikiem niezwykle małych rozmiarów ciemno zabarwionych, przypominających pył, ziaren minerałów, z których głównie się składają. Do najbardziej niezwykłych właściwości meteorytów z grupy chondrytów węglistych CM należy posiadanie najbardziej różnorodnego nagromadzenia minerałów i złożonych związków ze wszystkich grup meteorytów, druga najwyższa zawartość wody (po chondrytach CI1), najwyższa zawartość związków organicznych ze wszystkich znanych meteorytów i posiadanie znacznej części ziaren przedsłonecznych, starszych niż sam Układ Słoneczny. Chondryty CM zawierają ślady tego, że w środowisku, w którym się formowały, nie brakowało wody i tlenu, i są jedyną grupą meteorytów, poza chondrytami CI1, zawierającą znaczne ilości uwodnionych minerałów. Zewnętrzna elegancja brykietu węgla skrywa wewnętrzne piękno i złożoność, które mogą fascynować kolekcjonera przez całe życie i dawać zajęcie uczonym całego świata przez wiele, wiele lat.

Chondryty CM zostały nazwane tak od Mighei, ale najbardziej znanym przykładem jest Murchison. Złożyło się na to kilka przyczyn. Po pierwsze, przy łącznej znanej wadze ponad 100 kg stanowi on około 70% masy wszystkich znanych, nieantarktycznych chondrytów CM. Po dodaniu wszystkich licznych, ale dość małych, antarktycznych znalezisk CM Murchison wciąż reprezentuje większość całej materii CM na tej planecie.

Poza wielkością, wyjątkowo korzystne były moment i miejsce spadku Murchisona, który wylądował w zamieszkałej okolicy. Spadł on 28 września 1969 r. tuż przed 11 rano, około 2 km na południe od małego, rolniczego miasteczka Murchison, w stanie Wiktoria, w Australii. Zaciekawieni mieszkańcy zebrali szybko wiele tych kamieni, zachowując dzięki temu próbki stosunkowo wolne od ziemskich zanieczyszczeń. Meteoryty zostały rozrzucone na powierzchni ponad 13 km^2, a ich spadanie zapowiadał duży, rozpadający się bolid,

Wnętrze okazu chondrytu CM2 Murchison ukazuje liczniejsze i większe chondry niż w meteorycie Sutter's Mill. Ten okaz udostępnił dla **Meteorite** *Peter Scherff.*

po którym pojawiła się smuga dymu i słyszalne grzmoty. Jeden fragment przebił dach i wpadł w siano. W całej okolicy zostały rozsiane liczne, małe bryłki. Wiele z nich było całkowicie pokrytych skorupą. W roku 1969 świat entuzjazmował się wiedzą o kosmosie i do dyspozycji były i fundusze i urządzenia analityczne. Odkrycie aminokwasów w nowym spadku Murchison szybko sprawiło, że stał się on jednym z najintensywniej badanych meteorytów w historii.

Chondryty CM są rzadkością nawet gdy uwzględnimy Murchisona. Chociaż w bazie danych Meteoritical Society (6/2012) zapisanych jest 450 meteorytów tego typu, to ich łączna masa nie przekracza 200 kilogramów. Wszystkie typy chondrytów węglistych razem stanowią mniej niż 4,5% spadków meteorytów (liczbowo; znacznie mniej wagowo). Grupa chondrytów CM stanowi znaczną część chondrytów węglistych, około 1,5% wszystkich spadków meteorytów, ale znacznie mniejszy procent znalezisk. Z wyjątkiem Murchisona większość spadków CM cechuje się małą całkowitą znaną masą. Ponieważ z reguły są one kruche, rozkruszają się podczas przechodzenia przez atmosferę, rozpadają w ciągu stosunkowo krótkiego czasu po spadku i, ponieważ wyglądają mało atrakcyjnie w porównaniu z typami meteorytów zawierającymi

Fot. 1. Meteoryt Murchison jest, jak dotąd, najbardziej znanym spadkiem CM. Z całkowitą znaną wagą ponad 100 kg i tysiącami dobrze przebadanych okazów w instytutach całego świata jest to także jeden z najintensywniej badanych meteorytów w historii. Mimo to co roku dostarcza nowych i wyjątkowych informacji. Widoczny okaz udostępnił Meteorite Peter Scherff.

więcej metalu, znaczna część nieantarktycznych chondrytów węglistych pochodzi ze spadków a nie znalezisk. Rozpoznanie zwietrzałego okazu, nawet w idealnych warunkach, wymaga szczęścia graniczącego z cudem.

Meteoryty CM są równie cenne pod względem naukowym, jak rzadkie. Meteoryty z Księżyca i z Marsa mówią nam o historii naszych sąsiadów w kosmosie. Chondryty zwyczajne mówią nam o historii pewnych planetoid, a achondryty i meteoryty żelazne mówią nam o historii niezbyt dużych ciał, które uległy dyferencjacji w obecnym i dawnym Układzie Słonecznym. Co więc odróżnia prymitywną grupę chondrytów CM i ich krewnych CO i CI? Mówią nam one o historii wszystkich planet, wszystkich planetoid, i wszystkich achondrytów i meteorytów żelaznych oraz ich ciał macierzystych. W gruncie rzeczy mówią nam one o historii samego Układu Słonecznego i o galaktycznych warunkach w jakich on powstawał.

Fot. 2. Chociaż w poszukiwaniach uczestniczyły setki, a może i tysiące ludzi, do dziś znaleziono mniej niż 1 kg meteorytu Sutter's Mill. Większość z tego miała postać małych, stosunkowo świeżych, pokrytych skorupą okazów. Bazę danych o tych znaleziskach utworzył i utrzymuje Peter Jenniskens z SETI Institute i można ją znaleźć na http://asima.seti.org/sm/. To zdjęcie przedstawia płytki z ważącego 5,1 g kamienia SM48, znalezionego przez Kelly Heavin. Próbki udostępnili Steve i Qynne Arnold z Arnold Meteorites. Te płytki odciął precyzyjnie Marlin Cilz z Montana Meteorite Laboratory.

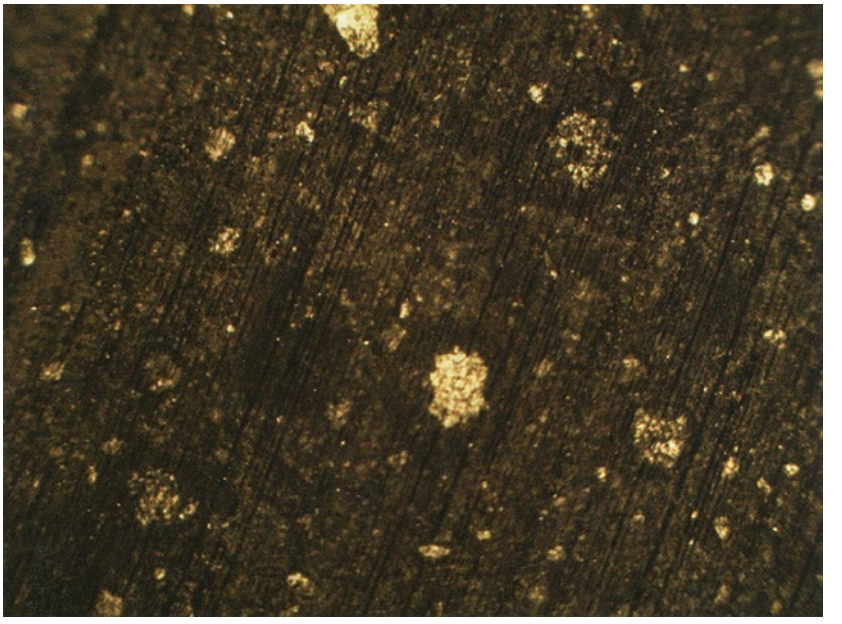
Bliższe spojrzenie na wodę

Chondryty CM zawierają przeciętnie nieco mniej niż 10% wody wagowo. Ta woda jest związana w krzemianach warstwowych jak serpentyny i różne minerały z grupy chlorytu, albo w innych minerałach ilastych. Woda jest bardzo agresywnym czynnikiem chemicznego przeobrażania minerałów, więc przeobrażanie pod wpływem wody jest traktowane, w sensie technicznym, jako forma chemicznego wietrzenia. Przypominające glinę, uwodnione minerały w chondrytach CM powstały jako produkty wietrzenia chemicznego krzemianów takich jak oliwiny czy plagioklazy, będących jednymi z najpospolitszych minerałów w wielu innych meteorytach. Stopień przeobrażenia pod wpływem wody opisuje się stopniem petrologicznym od 3 do 1, gdzie 3 oznacza najmniejsze przeobrażenie a 1 największe.

W chondrytach CM widać dużą zmienność zakresu przeobrażeń pod wpływem wody, a zatem i szczegółów ich składu chemicznego. Typ CM3 jest w zasadzie hipotetyczny i reprezentuje nieprzeobrażonego prekursora grupy CM. Jest znany tylko jeden okaz, który mógłby pasować do tej klasyfikacji. CM1, to grupa chondrytów CM, w której wszystkie minerały krzemianowe zostały zastąpione przez uwodnione krzemiany — podobne do gliny pozostałości ich ewolucji chemicznej. Zidentyfikowano tylko kilka z nich. Wszystkie inne okazy lokują się gdzieś pomiędzy nimi, czego wynikiem jest użyteczne, ale nie w pełni dokładne stwierdzenie, że wszystkie chondryty CM mają stopień petrologiczny 2. Jeden z wcześniejszych systemów klasyfikacji rzeczywiście nazywał chondryty CM chondrytami C2.

Niszczenie minerałów przez wodę powoduje znaczne zmiany wyglądu stopniowo eliminując widoczne chondry, CAI i inne charakterystyczne elementy. Rubin wraz z kolegami [5] przyjrzał się szczegółowo tym zmianom dochodząc do wniosku, że głównie wynikają one z różnego stopnia przeobrażeń pod wpływem wody, ale mogą być przypisane całkowicie różnym historiom życia meteorytów, które powstały w różnych miejscach wnętrza lub na powierzchni jednego ciała macierzystego — bardzo ważna obserwacja. Pokazano, że chondryty CM1 mają inny skład niż chondryty CI1, jedyna inna grupa meteorytów całkowicie przeobrażonych pod działaniem wody. W tej samej pracy zaproponowano dodatkowy podział grupy CM2, by uwzględnić cały zakres zmienności obserwowanej w tej grupie. Typ CM1 miał być zastąpiony przez CM2.0, a dalszym zmianom uwodnienia miały odpowiadać typy od CM2.0 do CM2.6 (z możliwością rozciągnięcia do 3.0 w wypadku znalezienia stosownych okazów). Chociaż może to utrudniać lekturę, ten rodzaj częstych zmian w nazewnictwie może być ważny dla naszej zdolności zauważania znaczących różnic.

Poza minerałami, które formowały się na miejscu, jako bezpośredni wynik oddziaływania wody na szkliwo czy wcześniejsze generacje minerałów, chondryty CM zawierają także minerały utworzone drogą osadzania rozpuszczonych jonów, które były transportowane na bardzo małe odległości, a potem wytrącane tworząc nowe minerały będące unikalną cechą charakterystyczną procesów z udziałem wody. Wiele z nich to bardzo znane minerały skał osadowych na Ziemi, jak węglany takie jak kalcyt, dolomit i aragonit, siarczany takie jak gips i tlenki żelaza, jak magnetyt i hematyt. Węglany, zdominowane przez kalcyt, są powszechne. Pozostałe występują rzadziej.



Fot. 3. Chondry z ciemnymi obwódkami, niezwykłe utwory w chondrytach CM, są wynikiem połączenia impaktowego ściśnięcia materii matriks przylegającej do chondr i następującego potem odmiennego przeobrażenia przez wodę powstałych zagęszczonych obszarów w porównaniu z bardziej porowatymi regionami dalej od powierzchni chondr. [6] Sutter's Mill SM48. Zrobione przez autora zdjęcie próbki, którą udostępnili Meteorite Steve i Qynne Arnold z Arnold Meteorites.

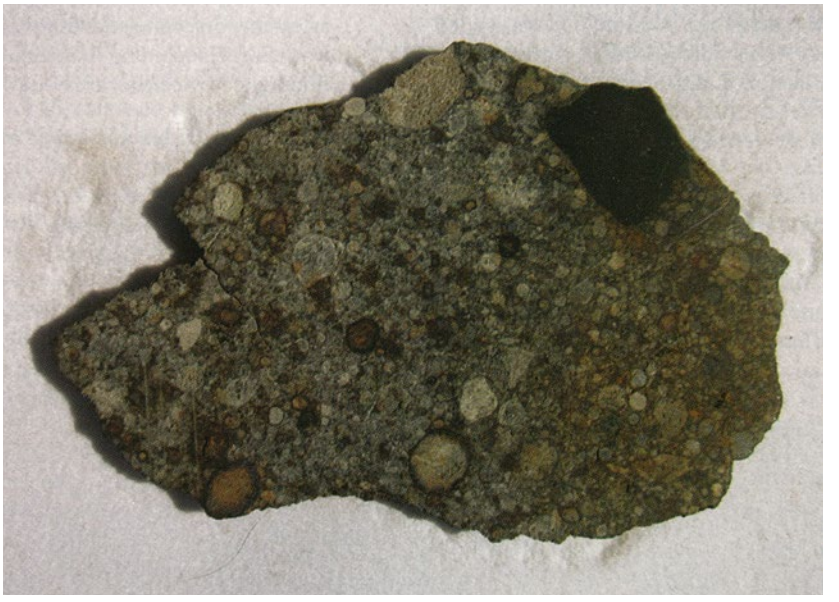
Maleńkie chondry i mnóstwo matriks

Mikroskopowa podróż po powierzchni chondrytu CM ukazuje złożony krajobraz bogaty w miniaturowe wersje wielu obiektów, które widzimy w innych meteorytach, oraz kilka, które występują niemal wyłącznie w grupie CM. Dla nieuzbrojonego oka wnętrze chondrytu CM wygląda jak ciemnoszara lub czarna powierzchnia nakrapiana nielicznymi, malutkimi, białymi chondrami. Efekt przyrównywano do gwiazd na nocnym niebie. W niektórych przypadkach nie widać chondr prawie wcale.

Chondryty CM z reguły składają się w 70% z matriks objętościowo, chociaż w poszczególnych meteorytach ten procent bywa różny. Małe chondry (około 0,1 do 0,3 mm) zajmują około 12% do 20% objętości typowego meteorytu CM. Największe chondry nie przekraczają na ogół 1 mm. Ta wartość znacznie się różni, ale jest drugą najniższą wśród chondrytów, znów po grupie CI. Chondryty CM typowo zawierają mniej niż 0,01% czystego metalu i niewielki procent CAI, z reguły mniej niż 5% objętości [3]. Matriks jest mineralogicznie zdominowana przez krzemiany warstwowe, dobrze znane ze skał ziemskiej, kontynentalnej skorupy, minerały z grupy serpentynu i chloryty [4]. Te minerały są przeobrażonymi przez wodę pozostałościami pyłu mgławicy, rozmaitych agregatów i fragmentów małych chondr. Przeobrażone lub nietknięte, pojedyncze ziarna oliwinu, piroksenu i innych krzemianów w matriks sugerują, że ta drobnoziarnista masa także reprezentuje, w nieokreślonym stopniu, błotniste pozostałości chondr, całkowicie zniszczonych przez działanie wody i zderzenia [4]. Ilość matriks w chondrytach CM jest największa ze wszystkich grup chondrytów po chondrytach CI.

Gdy mówimy o CAI i chondrach w chondrytach grupy CM, to są to często pseudomorfozy po oryginalnych strukturach. Pseudomorfozy są skupieniami minerałów, które zachowują ogólny kształt jakiegoś pierwotnego minerału lub grupy minerałów, ale te minerały zostały zastąpione innymi. Słowo to oznacza „fałszywy kształt". Krzemiany warstwowe, minerały z grupy ilastych, niemal całkowicie zastąpiły szkliste mezostasis chondr,

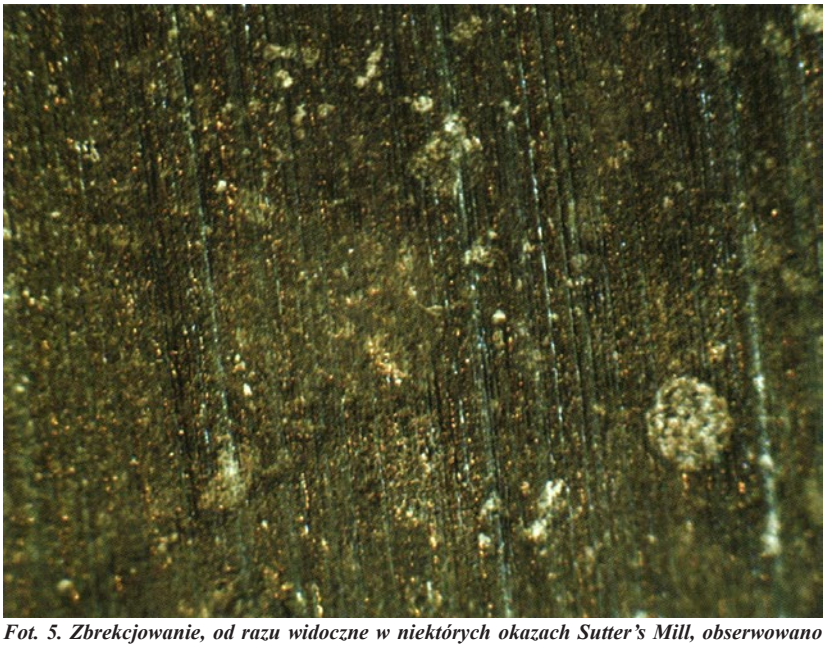
bardzo podatne na działanie wody i przeobrażane w pierwszej kolejności. Mieszanina krzemianów warstwowych lub minerałów z grupy serpentynu częściowo lub całkowicie zastąpiła także w większości chondr oryginalne krzemiany zależnie od podatności poszczególnych minerałów, ale często zachowując z grubsza oryginalne kształty. Określenie „z grubsza" ma tu bardzo luźne znaczenie. To, co bierzemy za chondry, w wielu przypadkach można równie dobrze określić jako inkluzje, skupienia lub jaśniejsze przebarwienie nieokreślonego pochodzenia, jeśli nie ma chemicznych dowodów, że przez przeobrażeniem były to chondry lub nietkniętych resztek bardziej odpornych minerałów. Natura, zasięg i różnorodność tych przeobrażeń przyczynia się do zrozumienia zdarzeń zachodzących we wczesnej, mokrej przeszłości ciała macierzystego.



Fot. 4. Ksenolit podobny do CM. Okruchy bardzo podobne do chondrytów CI i CM występują jako ksenolitowe inkluzje w wielu innych zbrekcjowanych meteorytach, zwłaszcza typu HED i H5. Ich obecność w wielu innych meteorytach sugeruje złożoną historię rozbijania ciała macierzystego CM lub podobnych obiektów w młodym Układzie Słonecznym. Widoczny jest tu typowy okruch z chondrytu L3.15 (S1, W2) NWA 6925 zakupionego od Gary Fujihara z Big Kahuna Meteorites.

W jeszcze mniejszej skali rzeczy stają się naprawdę interesujące. Chondryty CM zawierają niektóre z najbardziej intrygujących składników z całego świata meteorytów. Jest w nich dużo nie biogennych związków organicznych takich jak aminokwasy, oraz dużo ziaren przedsłonecznych. Cząsteczki organiczne nie pochodzą oczywiście z żywych istot, jakie znamy na Ziemi, ale mogą być ważnym kluczem do budowy ich chemicznych poprzedników albo do warunków, w jakich rozwijało się życie na Ziemi. Chondryty CM zawierają około 2 do 3% węgla wagowo [2] (wobec 3 do 4% w chondrytach CI) i rozmaitość znalezionych cząsteczek organicznych jest niezwykle wysoka, potencjalnie sięgająca dziesiątków tysięcy i więcej.

Woda może niszczyć informacje niemal równie skutecznie, jak ciepło. Oznacza to, że chociaż chondryty i grupy CI i CM nigdy nie były ogrzane do temperatur odpowiednich do zniszczenia znacznej różnorodności mineralogicznej, to woda usunęła znaczną część informacji i wiele minerałów z grupy CI. Inaczej mówiąc, chociaż chondryty CI reprezentują najdokładniejszy obraz ogólnego składu chemicznego mgławicy słonecznej, jaki obecnie znamy, to chondryty CM w rzeczywistości lepiej zachowały niektóre informacje. Między innymi zawierają większe ilości ziaren przedsłonecznych. Sprawia to, że są one niezwykle użyteczną grupą do prowadzenia fundamentalnych badań Układu Słonecznego, co powiększa emocje związane ze spadkami chondrytów CM. Trójka sił niszczących informacje w świecie meteorytów, to przeobrażenia termiczne, przeobrażenia pod wpływem wody i wietrzenie ziemskie. Wobec zminimalizowania wszystkich tych trzech procesów świeżo spadły chondryt CM jest niemal idealny, jeśli chodzi o zachowanie kruchych i lotnych cząsteczek, które były obecne w mgławicy przedsłonecznej, na powierzchniach protoplanet czy wokół gwiazd, które poprzedzały wszystko, co znamy.



Fot. 5. Zbrekcjowanie, od razu widoczne w niektórych okazach Sutter's Mill, obserwowano w kilkunastu chondrytach typu CM, jak Murray, Murchison, Nogoya i Cold Bokkeveld, To zdjęcie SM48 ukazuje mieszaninę okruchów CM z widocznymi różnicami w teksturze i liczbie widocznych chondr, reprezentujących prawdopodobnie różne stopnie przeobrażenia przez wodę. Zdjęcie autora, a próbkę udostępnili Meteorite Steve i Qynne Arnold z Arnold Meteorites.

Zderzeniowa przeszłość

Podobnie jak Murray, Murchison, Nogoya, Cold Bokkeveld i inne meteoryty CM, Sutter's Mill jest w widoczny sposób zbrekcjowany, co oznacza, że składa się z pogruchotanych i wymieszanych pozostałości wcześniej istniejących skał. Okazuje

się, że ta brekcja składa się z wielu pokoleń materii doznającej zderzeń, i widać, że okruchy odzwierciedlają różne stopnie przeobrażeń pod wpływem wody. Jest to także znany fakt dotyczący chondrytów CM i sugeruje, że mogą one pochodzić z regolitu, nieustannie bombardowanej zewnętrznej warstwy powierzchni planetoidy. Poza kilkunastoma wcześniejszymi chondrytami CM z widocznymi śladami zderzeniowej przeszłości, okruchy wyglądające na fragmenty chondrytów CM, prawdopodobnie uwolnione przez zderzenia z ciałem macierzystym chondrytów CM lub podobnymi, pierwotnymi, mokrymi lub lodowymi ciałami w młodym Układzie Słonecznym, znajdowano także w wielu innych typach zbrekcjowanych meteorytów. Te ciemne, ksenolitowe okruchy znane są wielu kolekcjonerom i badaczom.

Zawierając zmienne informacje i najbardziej zmienne powierzchnie te meteoryty, które nazywamy brekcjami regolitowymi, chociaż pogmatwane i trudne do interpretowania, mogą zwierać zapisy większego zakresu zdarzeń niż jakikolwiek inny fragment. Ta sytuacja jest mniej więcej równoważna posiadaniu jednego, dobrze zachowanego portretu szczególnego czasu i miejsca z życia dziecka w porównaniu ze sfatygowanym i podniszczonym albumem słabo zachowanych zdjęć. Poobijane zdjęcia w albumie mogą być marnej jakości, ale są one zapisem różnych chwil w wielu różnych miejscach. Może to przyczynić się do wzrostu znaczenia Sutter's Mill. Posiadanie kawałka przeoranej powierzchni, czy warstwy podpowierzchniowej ciała macierzystego CM może być źródłem, poza historią samego Układu Słonecznego, także historii samych meteorytów typu CM.

Przyszłość chondrytu Sutter's Mill

Meteorytem Sutter's Mill zajmuje się obecnie wielu badaczy i wyniki będą pojawiać się falami przez następny rok. W jakim stopniu ten nowy chondryt CM jest podobny czy niepodobny do tego co widzieliśmy wcześniej, dopiero się okaże, ale niezależnie od szczegółów jest to jeden z najlepszych dodatków do nauki, jaki Układ Słoneczny zrzucił nam na kolana przez ostatnie kilkadziesiąt lat. Szybka reakcja i pilne poszukiwania przyniosły wiele niezastąpionych okazów. Ludzie prawdopodobnie będą latami kontynuować poszukiwania i być może znajdą jeszcze trochę znaczących okazów. Każdy upływający miesiąc usuwa nieco (ale tylko trochę) użyteczności z nowych znalezisk. Trudno uznać przechodzenie przez atmosferę i uderzanie w ziemię za delikatne procesy, ale bledną one w porównaniu z długotrwałym atakiem ziemskiej atmosfery na materię meteorytu. Lody, które gdzieindziej w kosmosie były skałami, znikają natychmiast, jeśli w ogóle były obecne. Tlen i woda przystępują niezwłocznie do ataku na minerały. Jeden ulewny deszcz nieodwołalnie zmienia mineralogię zarówno usuwając jak i wprowadzając materię. Kosiarki, słońce, deszcz, grad i obcasy butów dopełnią w końcu dzieła.

Fot. 6. Płytki meteorytów: Murchison (z lewej) i Sutter's Mill (z prawej). W płytce Murchisona widać znacznie więcej chondr i nie ma widocznego zbrekcjowania jak w płytce Sutter's Mill. W obu płytkach największy wymiar jest około 1,7 cm. Płytkę Murchisona udostępnił Meteorite Peter Scherff. Płytkę Sutter's Mill, SM48, dostarczyli Steve i Qynne Arnold i jest ona obecnie w kolekcji Uniwersytetu Arkansas.

Ponieważ informacje zawarte w tych meteorytach są często równie kruche, jak same meteoryty, ci, którzy wciąż szukają, mogą podjąć pewne wyjątkowe środki ostrożności. Narażenie na promieniowanie rentgenowskie, gdy te okazy są przesyłane, lub przewożone, może zmienić czułe zapisy z historii Układu Słonecznego, magnesy używane przez poszukiwaczy i badaczy, kasują słabe pola magnetyczne, a dotykanie gołymi rękami wprowadza tłuszcz i sól. Nawet sam upływ czasu usuwa dane, ponieważ krótko żyjące izotopy rozpadają się, zabierając ze sobą zapis bombardowania promieniami kosmicznymi. Jeśli będziesz miał szczęście znaleźć okaz i szukasz z nadzieją na wniesienie wkładu do nauki, to podnieś go przy pomocy czystego narzędzia, od razu zapakuj w folię aluminiową, unikaj styczności z magnesami i promieniowaniem i przekaż jak najszybciej do instytutu badawczego.

Podziękowania i bibliografia

Na wdzięczność zasłużyli: Steve i Qynne Arnold oraz Peter Scherff za udostępnienie okazów, a także Marlin Cilz za trochę bardzo ładnych cięć.

Wśród źródeł informacji zawartych w tym artykule są między innymi:

[1] Meteorites in Thin Section, Lauretta i Kilgore, 2005. [2] Cambridge Encyclopedia of Meteorites, Norton, 2002. [3] Meteorites in the Early Solar System II (2006), szczególnie Weisberg et a. I Brearly i Pizzarello et al., [4] Reviews in Mineralogy v. 36, Planetary Materials (1998), szczególnie Brearly i Jones. [5] Rubin et al., Geochimica et Cosmochimica Acta 71, 2007, [6] Trigo-Rodriguez et al., Geochimica et Cosmochimica Acta 70, 2006, i [7] baza danych Meteoritical Society.

Robert Beauford jest redaktorem „Meteorite" i doktorantem na Uniwersytecie Arizońskim. Zajmuje się badaniem kraterów Ozark i meteorytu Sutter's Mill. Tworzy także biżuterię, czasem z meteorytami.

Meteoryt Sutter's Mill SM64

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 19, No. 1. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2013

Meteoryt Sutter's Mill pojawiał się w wielu czasopismach, a jego naukowy opis opublikowało *Science*. Przedstawiono wszelkie rodzaje danych naukowych, ale największą uwagę prasy zwracał fakt, że jest to najszybszy meteoryt w naszych zbiorach, dla którego obliczono orbitę i którego okazy udało się odnaleźć. Wleciał on w atmosferę z prędkością 28,6 km/s.

Marc Fries skontaktował nas z Keith'em i Daną Jenkersonami (KD meteorites), którzy udostępnili zdjęcia okazu SM64 z efektownymi naciekami na skorupie. Keith napisał:

Zanim wraz z Daną mogliśmy odszukać ten okaz, właściciel posesji kosił trawnik dwukrotnie kosiarką samojezdną. Kamyk został wgnieciony w ziemię przez koło i umazany błotem i trawą, tak że w ogóle nie wyglądał na świeżo spadły okaz. Moja noga ma własnego nosa i potrąciła kamień wydostając go z wgłębienia, zanim moja głowa zdążyła zauważyć odkrycie zrobione przez nogę. Odnalazłem już tysiące meteorytów, niektóre świeże, niektóre nie. Z wszystkimi wiążą się pasjonujące wspomnienia, ale SM64 jest jednym z najlepszych.

Ten kamień ma niezwykłe, zakrzepłe utwory na skorupie. Moim zdaniem podczas spadania, gdy powierzchnia się topiła, zachowywał on stałą orientację. Wszystkie zakrzepłe strużki, na wszystkich bokach kamienia, biegną w tym samym kierunku. Na czołowej stronie widać ślady silnego ogrzewania, tak jakby pochodnia była skierowana ku środkowi kamienia wytapiając tam wgłębienie i zmuszając stop do rozpływania się ku brzegom, gdzie topienie zatrzymywało się i materia zastygała tworząc wał przy brzegach. Na tylnej stronie kamienia widać normalne zawijanie się spływającej materii, wskazujące, że była to strona zawietrzna. Widziałem osobiście wiele odnalezionych okazów Sutter's Mill i większość miała silnie stopioną skorupę, ale tylko ledwie widoczne, zastygłe strużki z orientacją.

Ten kamień jest całkowitym okazem, z wyjątkiem małego, narożnego fragmentu, 0,3 grama, który odłupał się, gdy koło kosiarki wcisnęło kamień w ziemię.

Keith Jenkerson, najpierw poszukiwacz złota, od roku 1990 szuka meteorytów. W 2007 roku znalazł miłość swego życia, Danę i odtąd razem szukają meteorytów i prowadzą firmę KD METEORITES.

Fot. 1. Nietypowa, czołowa strona orientowanego okazu, gdzie zdmuchiwana materia utworzyła wał na brzegu. Zdjęcie KD meteorites.

Fot 2. Typowa, tylna strona orientowanego okazu, gdzie spływająca z boków materia zawija się na brzegach. Widoczne miejsce odłupania fragmentu. Zdjęcie KD meteorites.

Fot. 3. Boczna strona orientowanego meteorytu SM64. Widoczne zakrzepłe fale spływającej materii. Zdjęcie KD meteorites.

Doniesienia z Wiki

Spadł, opisali i zagubili...

W *Opiekunie Domowym* czytamy:

Nad miasteczkiem Zelmą, w powiecie Wołkowskim, gubernii Grodzieńskiej, dnia 14 z m. O godzinie 8-ej z rana, rozległ się huk grzmotów podobny do odgłosu wystrzałów armatnich, i wkrótce potym na polu pomiędzy miasteczkiem a wsią Zelmą, znaleziony został przez pastucha aerolit, który następnie przywieziony do Grodna, przechowany został w muzeum płodów naturalnych tej guberni. Aerolit z jednej strony jest nadtłuczony, ale wnosząc z ogólnego konturu miał on formę zaokrągloną pryzmatyczną; waży przeszło 2 funty pokryty jest zewnątrz korą burą czarną, nieco pomarszczoną, grubą zaledwie na pół milimetra. Skład tej kory jest bardzo twardy, w odłamie jest ziarnisty, a drobne kawałki chciwie przyciągane są przez magnes. Wewnątrz rdzenny skład aerolitu ma kolor jasny-popielaty, a układ cząstek gruby i ziarnisty; pod szkłem powiększającym cała masa wydaje się nakropiona bardzo drobnemi błyszczącemi punktami, na podobieństwo świecących zwierciadełek, lub powierzchni siarczanego pirrytu. Strzałka magnesowa przy zbliżeniu aerolitu słabe okazuje zboczenia. Nie dokonano jeszcze ścisłej chemicznej analizy tego gościa pozaziemskiego, zdaje się wszakże, iż takowy składa się z żelaza, krzemionki, niklu, niedokwasu magnezu i siarki, podobny jest bowiem bardzo do spadłego w r. 1768 we Francyi w okolicach zamku Chevalerie, a zbadanego naówczas przez akademiją paryską.

Gdyby nie trochę archaiczny język, można by pomyśleć, że jest to opis niedawnego spadku gdzieś na Białorusi. Ale nic z tego, jest to jedyna informacja na jaką udało się natrafić, a dotyczy spadku meteorytu 14 listopada 1873 roku — 140 lat temu! Precyzja opisu znalezionego okazu, jego trafność i wnikliwość jest godna uznania. Rzadko wówczas opisywano tak profesjonalnie okazy w prasie popularnej.

Informacja w *Opiekunie Domowym* z grudnia 1873 roku jest jedynym śladem ewidentnego spadku meteorytu. Okaz trafił do Grodna i tu ślad po nim ginie. W bazie meteorytów Meteoritical Bulletin nie ma nic o tym wydarzeniu (spadku), jak na razie nie udało się również trafić na jakiekolwiek informacje o tym na rosyjskojęzycznych stronach w internecie.

Dalsze losy można śledzić na http://wiki.meteoritica.pl

Jan Woreczko

Czy eukryty i mezosyderyty pochodzą z tego samego ciała macierzystego?

Alan Rubin

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 19, No. 1. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2013

Ponieważ planetoidy nie mają atmosfer, to nawet małe pociski uderzają w ich powierzchnie z prędkościami kosmicznymi. Uderzone skały ulegają spękaniu, skruszeniu, doznają szoku, ulegają częściowemu stopieniu i wymieszaniu z inną materią powierzchniową. Ten proces mieszania, nazywany zderzeniowym przekopywaniem gruntu, w dłuższej skali czasowej prowadzi do umiarkowanego ujednorodnienia powierzchni planetoid. Sproszkowana powierzchnia planetoidy jest nazywana regolitem; kamienie pochodzące z regolitu są brekcjami regolitowymi. Z reguły zawierają one fragmenty różnych rodzajów skał z powierzchni planetoidy oraz nieliczne obce okruchy, pochodzące ze zbłąkanych meteoroidów, które przeżyły zderzenie z powierzchnią. Brekcje regolitowe zawierają dużo rzadkich gazów pochodzących z wiatru słonecznego; zawierają także ziarna minerałów ze śladami oddziaływania wysokoenergetycznych cząsteczek emitowanych przez rozbłyski słoneczne.

Wiele howardytów, to brekcje regolitowe pochodzące z powierzchni macierzystej planetoidy HED. Zawierają one okruchy eukrytów (bazaltów składających się głównie z plagioklazu i piroksenu z wysoką zawartością wapnia) i diogenitów (gruboziarnistych skał składających się głównie z piroksenu z małą zawartością wapnia). Eukrytowe bazalty uformowały się z potoków lawy wypływającej na powierzchnię planetoidy, albo wciskającej się między starsze, już zestalone pokrywy. Diogenity formowały się jako kumulaty na dnie komór magmowych kilka kilometrów pod powierzchnią. Podobne proporcje izotopów tlenu w eukrytach i diogenitach, ich dopełniające się pochodzenie magmowe i ich wspólne występowanie w howardytach wspierają zgodny pogląd, że te dwa typy meteorytów pochodzą z tego samego ciała macie-

rzystego. Większość badaczy uważa, że macierzystą planetoidą HED jest Westa.

Inne typy meteorytów mające takie same proporcje izotopów tlenu jak HED, to pallasyty głównej grupy, meteoryty żelazne IIIAB i mezosyderyty. Czy mogą one także pochodzić z Westy? Wydaje się to nieprawdopodobne. Meteoryty żelazne IIIAB formowały się w jądrze zdyferencjowanej planetoidy, która musiała zostać rozbita, zanim została uwolniona materia z jej jądra. Wiele meteorytów IIIAB ma wiek ekspozycji na promieniowanie kosmiczne około 650 milionów lat; to może oznaczać, jak dawno temu została rozbita ich macierzysta planetoida.

Zdaniem wielu badaczy pallasyty głównej grupy powstały na granicy jądra i płaszcza zdyferencjowanej planetoidy, być może tej samej, która zrodziła meteoryty żelazne IIIAB. Podobnie jak w przypadku meteorytów IIIAB pallasyty uformowały się zbyt głęboko, by mogło je wykopać nawet duże zderzenie; ich macierzysta planetoida musiała zostać rozbita na kawałki zanim pallasyty mogły zostać uwolnione. Tym rozbitym ciałem nie mogła być Westa, która pozostaje w całości.

Tak więc, chociaż HED, pallasyty głównej grupy i meteoryty żelazne IIIAB mają takie same proporcje izotopów tlenu, nie pochodzą wszystkie z tego samego ciała macierzystego. Nie jest to zaskakujący wniosek. Ostatecznie Ziemia, Księżyc, chondryty EH, chondryty EL i aubryty mają te same proporcje izotopów tlenu (Clayton et al. 1984), a reprezentują sześć różnych ciał. (Niezwykłe właściwości teksturalne, mineralogiczne i geochemiczne aubrytu Shallowater wskazują, że pochodzi on z innego ciała niż inne aubryty; np. Keil 1989). Zgodność proporcji izotopów tlenu w tych sześciu ciałach wskazuje prawdopodobnie tylko, że uformowały się one w tej samej okolicy Układu Słonecznego.

Dochodzimy do mezosyderytów. Czy mogły one kiedyś znajdować się w ciele macierzystym HED? Czy mogą być one fragmentami Westy? Poza około 30% objętościowo metalicznego żelaza z niklem (Powell 1971) mezosyderyty zawierają liczne okruchy krzemianów, które pod względem tekstury i składu przypominają eukryty i diogenity. Istnieje więc możliwość, że część regolitu HED połączyła się z metalowym jądrem z rozbitej, zdyferencjowanej planetoidy i stała się mezosyderytami. Aby rozważyć taką możliwość, potrzebujemy zbadać cały zbiór okruchów w mezosyderytach i określić, gdzie te okruchy się uformowały.

Podczas krystalizacji eukrytów niektóre pierwiastki (np. żelazo, magnez, wapń, krzem) łatwo wchodzą w skład krystalizujących minerałów; inne pierwiastki (na przykład pierwiastki ziem rzadkich) zwane niekompatybilnymi, mają skłonność do pozostawania w roztworze. Kumulatowe eukryty uformowały się na dnie komory magmowej w wyniku grawitacyjnego osiadania kryształów; było niewiele roztworu między tymi kryształami, więc mają małą zawartość niekompatybilnych pierwiastków.

Rubin i Mittlefehldt (1992) stwierdzili, że około 40% dużych okruchów krzemianowych w mezosyderytach, to gruboziarniste odpowiedniki zwane gabrami, które są skrajnie zubożone w pierwiastki ziem rzadkich, znacznie bardziej niż kumulatowe eukryty. Radiometryczne datowanie niektórych mezosyderytowych gabro wskazuje, że uformowały się one około 4,47 miliarda lat temu (Steward et al. 1991, 1992). Duża liczba gabrowych okruchów w mezosyderytach sugeruje, że w owym czasie ciało macierzyste mezosyderytów doznało rozległego stopienia skorupy. Ponieważ to było 125 okresów połowicznego rozpadu ^{26}Al po uformowaniu się i stopieniu macierzystej planetoidy, to jedynym możliwym źródłem ciepła dla przetopienia skorupy jest silne zderzenie. Wśród eukrytów skrajnie zubożone w pierwiastki ziem rzadkich gabra nie występują i z badań próbek HED nie wynikało żadne większe przetopienie skorupy.

Mniej więcej w tym samym czasie, gdy następowało rozległe przetopienie skorupy ciała macierzystego mezosyderytów, ciało to doświadczyło także rozległego mieszania metalu z krzemianami. Wówczas do stopu, z którego krystalizowało gabro, został wprowadzony fosfor (wchodzący w skład metalicznego żelaza niklonośnego); spowodował on redukcję tlenku żelaza do metalicznego żelaza. Ponieważ metaliczne żelazo zostało wykluczone z krystalizujących minerałów, powstałe gabra mają niskie stosunki Fe/Mn i Fe/Mg. Zachodzące jednocześnie utlenianie fosforu utworzyło znaczne ilości fosforanu (który występuje w umiarkowanych ilościach w mezosyderytach; Prinz et al. 1980).

Zbieżność w czasie rozległego stopienia skorupy i mieszania metalu z krzemianami w ciele macierzystym mezosyderytów sugeruje, że przetopienie skorupy zostało spowodowane zderzeniem materii jądra (przypuszczalnie z jakąś warstwą płaszcza) ze zdyferencjowanej planetoidy, z powierzchnią większej zdyferencjowanej planetoidy. Wydaje się, że ciało macierzyste eukrytów uniknęło znacznego mieszania metalu z krzemianami; howardyty zawierają około 0,1% objętościowo metalicznego Fe-Ni (Delaney et al. 1984).

Bogard et al. (1990) zmierzył metodą Ar-Ar wiek 14 mezosyderytów i stwierdził, że wszystkie one zostały gruntownie odgazowane przez duże zdarzenie termiczne około 3,9 miliarda lat temu. To zdarzenie interpretuje się jako zderzeniowe rozbicie i grawitacyjne ponowne złożenie się ciała macierzystego mezosyderytów. Po zderzeniowym rozbiciu większość fragmentów planetoidy nie osiągnęła prędkości ucieczki i spadła z powrotem na bezładne rumowisko. W eukrytach nie widać dowodów takiego rozbicia i ponownego scementowania.

Wreszcie mapa rozmieszczenia pierwiastków na Weście, zrobiona przez sondę Dawn, ukazuje niewiele metalicznego Fe (Fig. 1 w Prettyman et al. 2012). Tak więc wydaje się nieprawdopodobne, aby mezosyderyty pochodziły z Westy. Jeśli HED są z Westy, to nie pochodzą one z tego samego ciała macierzystego, co mezosyderyty.

Bibliografia

Bogard D. D., Garrison D. H., Jordan J. L. and Mittlefehldt D. (1990) 39Ar-40Ar dating of mesosiderites: Evidence for major parent body disruption <4 Ga ago. Geochirn. Cosmochim. Acta 54, 2549-2564.

Clayton R. N., Mayeda T. K. and Rubin A. E. (1984) Oxygen isotopic compositions of enstatite chondrites and aubrites. Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 15th, C245-C249.

Delaney J. S., Prinz M. and Takeda H. (1984) The polymict eucrites. Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 15th, C251-C288.

Keil K. (1989) Enstatite meteorites

and their parent bodies. Meteoritics 24, 195-208.

Powell B. N. (1971) Petrology and chemistry of mesosiderites. II. Silicate textures and compositions and metal-silicate relationships. Geochim. Cosmochim. Acta 35, 5-34.

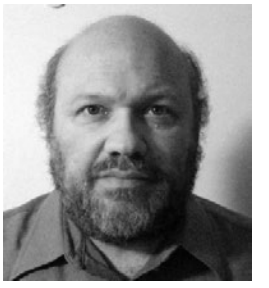
Prettyman T. H. et al. (2012) Elemental mapping by Dawn reveals exogenic H in Vesta's regolith. Science 338, 242-246.

Prinz M., Nehru C. E., Delaney J. S., Harlow G. E. and Bedell R. L. (1980) Modal studies of mesosiderites and related achondrites including the new mesosiderite ALHA77219. Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 11th, 1055-1071.

Rubin A. E. and Mittlefehldt D. W (1992) Classification of mafic silicates from mesosiderites: Implications for endogeneous igneous processes. Geochirn. Cosmochim. Acta 56, 827-840.

Stewart B. W, Cheng Q. C., Papanastassiou D. A. and Wasserburg G. J. (1991) Sm-Nd systematics of mesosiderites (abstract). Lunar Planet. Sci. 22, 1333-1334.

Stewart B. W, Papanastassiou D. A. and Wasserburg G. J. (1992) Sm-Nd chronology and petrochemistry of mesosiderites (abstract). Lunar Planet. Sci. 23, 1365-1366.



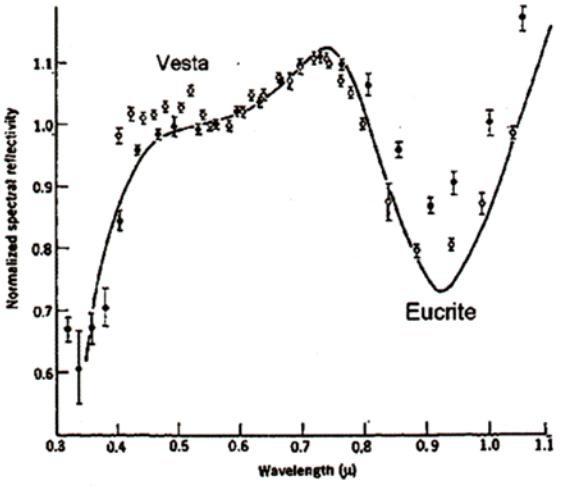
Alan Rubin jest specjalistą od meteorytów w UCLA i członkiem zespołu doradczego czasopisma Meteorite.

Dzieci Westy: howardyty, eukryty i diogenity

Rhiannon Mayne

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 19, No. 1. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2013

Pełniąc funkcję kustosza Kolekcji i Galerii Meteorytów Monniga doszłam do wniosku, że planetoidy nie cieszą się taką sławą, na jaką zasługują. Ostatecznie ponad 99% wszystkich meteorytów pochodzi z pasa planetoid. Planetoidy mają ogromne znaczenie dla nauki, ponieważ reprezentują budulec pozostały po formowaniu się planet ziemskich. Te planety, jako znacznie większe, są w stanie zatrzymać wewnętrzne ciepło dłużej niż planetoidy i w rezultacie pozostają aktywne geologicznie długo po ich uformowaniu się. Wiemy na przykład, że Ziemia ma około 4,56 miliarda lat, ale nawet najstarszej skale na Ziemi brakuje do tego wieku ponad pół miliarda lat. Aktywne powierzchnie i wnętrza niszczą dowody procesów występujących w przeszłości. Planetoidy natomiast pozostały stosunkowo niezmienione od ich wczesnego uformowania się. Dlatego są one dla nas jedynym źródłem informacji o warunkach i procesach zachodzących w pierwszych latach istnienia Układu Słonecznego.



Rys. 1. Porównanie widma odbiciowego Westy z widmem eukrytu. Ilustracja z pracy McCord et al. (1970).

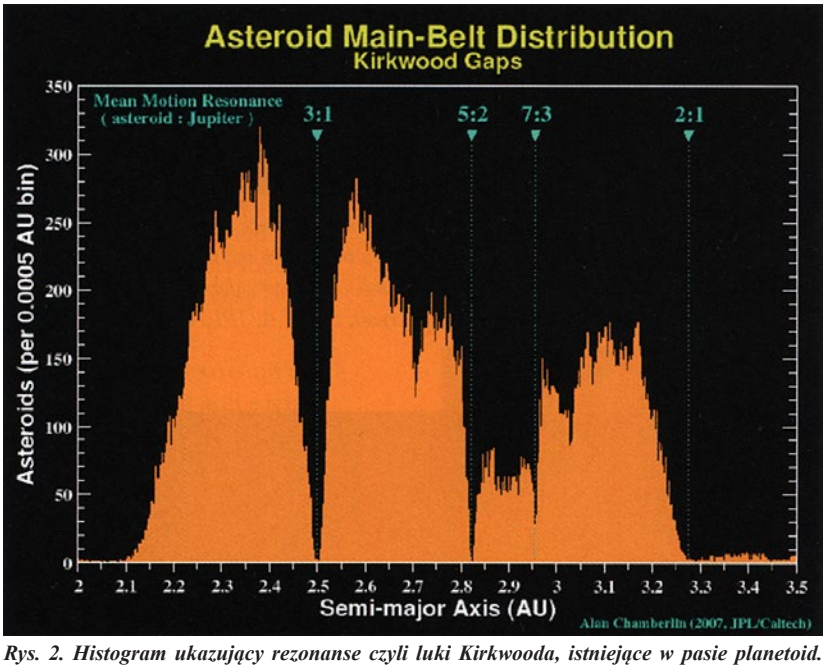
Gdy pytamy wycieczki szkolne odwiedzające Galerię Meteorytów Monniga, skąd pochodzą meteoryty, to zwykle dostajemy jedną z trzech odpowiedzi: cudownie nieokreślony „kosmos", albo bardziej konkretne „Mars" i „Księżyc". Te odpowiedzi wskazują na jeden z największych problemów, jaki pojawia się przy badaniach meteorytów z planetoid: nie wiemy dokładnie, skąd one pochodzą, która dokładnie planetoida je zrodziła. Większość meteorytów, to skały wyrwane z kontekstu. Tu właśnie widać, gdzie howardyty, eukryty i diogenity (nazywane dalej HED) staja się bardzo ważne. Są one unikalne, ponieważ są jedynymi meteorytami z planetoid, które można powiązać z ich przypuszczalnym ciałem macierzystym; z planetoidą o nazwie Westa.

Westa jest drugą największą planetoidą w głównym pasie między Marsem a Jowiszem i jest największą zdyferencjowaną planetoidą, co oznacza, że została stopiona i ma jądro, płaszcz i skorupę tak jak Ziemia. Westa jest także jednym z celów misji Dawn. Powiązanie HED i Westy jest zdumiewającą okazją dla nauki. Możemy obserwować Westę z Ziemi i ze statków kosmicznych, ale także możemy trzymać próbki z Westy w rękach i analizować je przy pomocy najnowocześniejszych przyrządów, jakie mamy do dyspozycji w pracowniach naukowych całego świata. Możemy wykorzystać HED do powiększenia wiedzy o planetoidzie, z której pochodzą. Przed omawianiem samych HED zobaczmy najpierw, w jaki sposób powiązano tę rodzinę meteorytów z ich ciałem macierzystym w pasie planetoid.

Po raz pierwszy powiązał rodzinę HED z Westą w roku 1970 Thomas McCord ze współpracownikami. Użyli oni teleskopy obserwatoriów na Mount Wilson i Cerro Tololo do obserwowania widm planetoid. Westa pokazała charakterystyczny utwór absorpcyjny wskazujący na obecność piroksenu. Gdy widmo Westy porównano z widmami różnych typów meteorytów, zaobserwowano wyraźne podobieństwo do meteorytów HED (rys. 1). To podobieństwo sugerowało, że powierzchnia Westy ma podobną mineralogię jak HED; jednak dopiero siedem lat później rzeczywiście zaproponowano, że meteoryty HED pochodzą z Westy. Consolmagno i Drake zauważyli, że meteoryty HED reprezentują materię wyrzuconą ze skorupy i górnego płaszcza zdyferencjowanego ciała, bez próbek z dolnego płaszcza i jądra, co sugeruje, że ich ciało macierzyste jest nietknięte. Westa jest największą zdyferencjowaną planetoidą w pasie planetoid i wcześniej zaobserwowane podobieństwo widma do HED sprawiło, że wybór jej na możliwe ciało macierzyste był oczywisty. Problem z tą teorią by taki, że Westa znajduje się w takim miejscu pasa planetoid, że dostarczanie fragmentów na Ziemię nie jest dynamicznie prawdopodobne.

Zróbmy teraz przerwę i zobaczmy, w jaki sposób meteoryty są dostarczane z pasa planetoid na Ziemię. Gdy zrobimy wykres rozmieszczenia planetoid w głównym pasie miedzy Marsem a Jowiszem, to zaobserwujemy szereg miejsc, gdzie planetoid nie ma prawie wcale (rys. 2). Te miejsca nazywane są rezonansami albo lukami Kirkwooda (Daniel Kirkwood był pierwszym naukowcem, który je zauważył) i orbity wszystkich obiektów w tych miejscach są niestabilne z powodu grawitacyjnego oddziaływania Jowisza. Niestabilności te występują w miejscach, gdzie okresy obiegu wokół Słońca dwóch ciał, w tym przypadku planetoidy i Jowisza, tworzą proporcję. Na przykład obiekt w rezonansie 3:1 obiega Słońce trzykrotnie na każdy jeden obieg Jowisza. Rezonanse są skutecznymi wyrzutniami dostarczającymi meteoryty. Jowisz może zmienić orbity obiektów w rezonansie na przecinające ziemską. Miłośnicy meteorytów na całej Ziemi mają wobec Jowisza ogromny dług wdzięczności.

Westa nie znajduje się blisko żadnego rezonansu, wiec jest bardzo mało prawdopodobne, aby jakikolwiek kamień opuścił jej powierzchnię i powędrował prosto na Ziemię. Jednak Westa nie przeżyła 4,5 miliarda lat bez zadraśnięcia. Na południowym biegunie Westy znajduje się jeden z największych kraterów w Układzie Słonecznym, Rheasilvia (rys. 3). Ma on 505 kilometrów średnicy, a dno krateru jest około 13 kilometrów poniżej otaczającego terenu. Ocenia się, że w tym zderzeniu Westa utraciła około 1% całkowitej masy. Wyrzucone fragmenty rozproszyły się w pasie planetoid stając się same planetoidami. Te fragmenty, zwane Westoidami, można obserwować przy pomocy naziemnych teleskopów i można je powiązać z Westą dzięki ich podobnemu składowi i ich własnościom dynamicznym. Westoidy tworzą pomost między Westą, a rezonansem 3:1; stanowią pas transmisyjny transportujący HED na Ziemię.



Rys. 2. Histogram ukazujący rezonanse czyli luki Kirkwooda, istniejące w pasie planetoid. Przedstawia liczbę planetoid (na osi y) w danej odległości od Słońca (oś x). Zaznaczono położenie luk; na przykład wspomniany w tekście rezonans 3:1 występuje, gdy obiekt obiega Słońce trzykrotnie na każdy jeden obieg Jowisza. Udostępnili NASA/JPL/Caltech.

Wystarczy o planetoidach, przejdźmy do sedna sprawy, do meteorytów HED. Howardyty, eukryty i diogenity są największą grupą achondrytów. Achondryty, to meteoryty pochodzące ze zdyferencjowanych ciał macierzystych. Ta grupa obejmuje wszystko, od meteorytów żelaznych (pochodzących z jąder całkowicie rozbitych planetoid) do fragmentów skorupy (podobnych do bazaltów, których formowanie się możemy obserwować na Hawajach). Każdy achondryt, jak każdy meteoryt, jest klasyfikowany według swych cech chemicznych i izotopowych. Celem tego jest pogrupowanie meteorytów o podobnych historiach, co pozwala na odnalezienie genetycznych powiązań między różnymi grupami, jak na przykład pochodzenie z jednej planetoidy. Wiemy więc teraz, dlaczego myślimy, że HED są z Westy, ale dlaczego sądzimy, że wszystkie HED pochodzą z tej samej planetoidy?

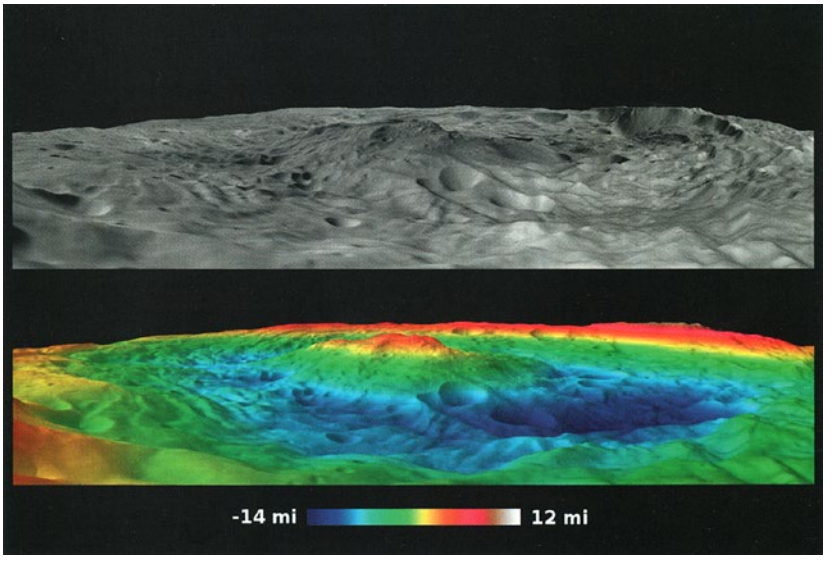
Najbardziej oczywisty sposób powiązania HED to przyjrzenie się ich ogólnej mineralogii i petrologii. Eukryty to albo bazalty albo gabra; uformowały się one w górnej części skorupy ich ciała macierzystego i są bardzo podobne do swych ziemskich odpowiedników. Diogenity są kumulatami, które uformowały się głębiej niż eukryty, prawdopodobnie w dolnej części skorupy albo w najwyższej warstwie płaszcza. Eukryty i diogenity są tym, czego oczekiwalibyśmy po uderzeniu w powierzchnię zdyferencjowanego ciała. Jednak to howardyty pozwalają nam powiązać HED ze sobą wzajemnie. Podobnie jak wiele meteorytów, howardyty są brekcjami. Brekcja, to skała składająca się z fragmentów innych skał. Howardyty składają się z kawałków eukrytów i diogenitów dowodząc ostatecznie związku między tymi trzema typami meteorytów. Uważa się, że howardyty

uformowały się w wyniku impaktowego przekopywania powierzchni ciała macierzystego HED (Westy).

Meteoryty HED maja także jednakowy wiek ekspozycji na promieniowanie kosmiczne, z czego wynika, że zostały wyrzucone w tym samym czasie z tego samego ciała. Wiek ekspozycji na promieniowanie kosmiczne określa czas, przez jaki meteoryt był wystawiony w kosmosie na galaktyczne promienie kosmiczne. Te galaktyczne promienie kosmiczne to wysokoenergetyczne cząstki i gdy zderzają się one z meteoroidem w kosmosie, wytwarzają pierwiastki diagnostyczne dla tego procesu. Ilość tych, skądinąd rzadkich pierwiastków czy izotopów można wykorzystać do obliczenia, jak długo próbka była wystawiona na surowe środowisko kosmosu i dlatego, kiedy została wyrzucona z ciała macierzystego.

Narzędziem często wykorzystywanym do określania, czy różne meteoryty pochodzą z tego samego ciała macierzystego, są izotopy tlenu. Tlen ma trzy stabilne izotopy: O-16 (najliczniejszy i o tym izotopie myśli większość ludzi, gdy wspomina się o tlenie), O-17 i O-18. Wszystkie trzy izotopy są tlenem, ponieważ zawierają tę samą liczbę protonów w jądrze (8), (liczba protonów jest tym, co definiuje pierwiastek), ale zawierają różne liczby neutronów. Ciała planetarne z różną historią formowania się mają zwykle unikalne sygnatury izotopów tlenu; na przykład Mars różni się pod tym względem od Ziemi. Natomiast Księżyc i Ziemia mają te same proporcje izotopów tlenu, co sugeruje jakieś wydarzenie w ich przeszłości, które ujednorodniło izotopy — jeden z szeregu dowodów prowadzących do teorii wielkiego zderzenia. HED mają jednakowe proporcje izotopów tlenu, co dodatkowo popiera teorię, że wszystkie one pochodzą z jednego ciała macierzystego. Należy jednak zauważyć, że niektóre eukryty mają anomalne proporcje izotopów tlenu i uważa się obecnie, że mogą reprezentować próbki skorupy innego, zdyferencjowanego ciała macierzystego. W końcu Westa nie była jedyną zdyferencjowaną planetoidą, jaka uformowała się w młodym Układzie Słonecznym.

Zanim przejdziemy do omawiania mineralogii i petrologii samych HED



Rys. 3. Widok z krawędzi basenu uderzeniowego Rheasilvia, który znajduje się na południowej półkuli Westy. U góry perspektywiczne zdjęcie zrobione przez sondę Dawn. Dolny, barwny obraz przedstawia ten sam widok z nałożoną barwną mapą wysokości. Cieplejsze barwy (czerwone) wskazują wyżej położony teren, a chłodniejsze barwy (niebieskie) oznaczają topograficzne niziny. Udostępnili: NASA/JPL/Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA/PSI

(rys. 4) zróbmy krótkie podsumowanie. Mamy trzy odrębne typy meteorytów, które najprawdopodobniej pochodzą wszystkie z tego samego ciała macierzystego i szereg dowodów wskazujących na to, że tym ciałem macierzystym jest planetoida Westa. Eukryty są skałami skorupy i pierwotnej powierzchni ich macierzystej planetoidy, podczas gdy diogenity uformowały się głębiej wewnątrz skorupy lub najpłytszej części płaszcza. Howardyty będące brekcjami złożonymi z okruchów dwóch pierwszych grup, reprezentują sama powierzchnię Westy, która była kształtowana i przeobrażana przez zderzenia od jej uformowania się 4,56 miliarda lat temu. Teraz przejdziemy dalej i przyjrzymy się szczegółowo każdej z tych grup meteorytów.

Eukryty są skałami magmowymi składającymi się w większości z piroksenu i plagioklazu. Są one często dzielone dalej na eukryty bazaltowe i kumulatowe. Kumulatowe eukryty to gabra; są one maficznymi (bogatymi w żelazo i magnez) skałami głębinowymi. Skały takie formują się z magmy pod powierzchnią planety czy planetoidy. Te skały są bardziej gruboziarniste niż skały wulkaniczne (które formują się na powierzchni, takie jak bazaltowe eukryty), ponieważ ich stygnięcie trwa dłużej, co daje ziarnom więcej czasu na rośnięcie. Bazaltowe eukryty są wulkanicznymi skałami wylewnymi; zostały one wyrzucone na powierzchnię Westy i stygły szybko. W eukrytach bazaltowych jest znacznie większa rozmaitość tekstur niż w kumulatowych, odzwierciedlająca różne tempa stygnięcia w potokach lawy. Górna powierzchnia potoku lawy jest wystawiona na kosmos i jest „gaszona", co znaczy, że minerały nie zawsze mają czas na rośnięcie, podczas gdy głębiej w potoku lawy tempo stygnięcia jest wolniejsze i wynikająca stąd tekstura jest bardziej gruboziarnista i łatwiejsza do odróżnienia.

Diogenity są ortopiroksenitami, co oznacza, że składają się niemal wyłącznie z ortopiroksenu. Jest to piroksen z niewielką zawartością wapnia. W przypadku diogenitów zawiera on także dużo magnezu. Diogenity są kumulatami podobnie jak kumulatowe eukryty. Skały takie tworzą się z kryształów osiadających w komorze magmowej. Gdy magma stygnie kryształy zaczynają się tworzyć, a ponieważ mają gęstość większą niż magma, opadają na dno komory magmowej. W tym środowisku stygnięcie jest powolne, co pozwala na powstanie dość dużych kryształów. Diogenity są bardziej gruboziarniste od kumulatywnych eukrytów, co odzwierciedla fakt, że formowały się głębiej pod powierzchnią Westy.

Niektóre diogenity zawierają także oliwin, minerał rzadko spotykany w HED. Uważa się, że płaszcz Westy składa się ze skały uformowanej wyłącznie z oliwinu, zwanej dunitem. Brak oliwinu w HED tłumaczy się

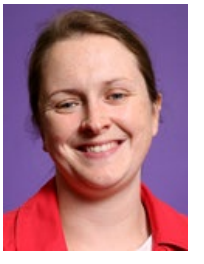
faktem, że ich ciało macierzyste nie zostało rozbite i żadne zderzenie nie wybiło materii z większej głębokości w Weście. Niektórzy badacze sugerują, że oliwin może być obecny w kraterze Rheasilvia, jednak jest trudno wykryć niewielkie ilości oliwinu ze statku kosmicznego. Diogenity zawierające oliwin są nazywane, co nie jest zaskoczeniem, diogenitami oliwinowymi. Są to albo dunity (gdzie oliwin przeważa), albo harzburgity (tak nazywa się skały złożone z ortopiroksenu i oliwinu), albo ortopiroksenity (zdominowane przez ortopiroksen z pewnym dodatkiem oliwinu).

Howardyty, jak wspomniano wcześniej, składają się z fragmentów i eukrytów i diogenitów. Powstały w wyniku zderzeń. Te zderzenia spowodowały zmianę składu powierzchni Westy; na początku jej powierzchnia była eukrytowa, obecnie jej najbardziej zewnętrzna warstwa składa się z howardytów. Niektóre howardyty są klasyfikowane jako brekcje regolitowe. Regolitem nazywa się zwykle warstwę nieskonsolidowanej materii na powierzchni ciała planetarnego pokrywającą skały podłoża. Na Ziemi nazywamy to glebą. Jednak procesy formujące regolit na Ziemi są wyraźnie zupełnie inne niż na innych ciałach, więc jak możemy rozpoznać skałę, która uformowała się na samej powierzchni planetoidy takiej jak Westa? Westa nie ma atmosfery, więc wszystko na jej powierzchni jest wystawione na bezlitosne środowisko kosmosu. Wiatr słoneczny, który składa się z jonów (naładowanych cząsteczek) lekkich pierwiastków (najliczniej występują wodór i hel) jest wyrzucany ze Słońca z ogromną prędkością. Te jony bombardują powierzchnię Westy i wnikają w najwyższą warstwę regolitu. Górne kilka metrów regolitu, mieszane regularnie przez zderzenia, zostaje wzbogaconych o implantowane gazy wiatru słonecznego. Dlatego howardyty, które są klasyfikowane jako brekcje regolitowe, formowały się na, albo bardzo blisko samej powierzchni Westy.

Howardyty ukazują nam prawdziwą różnorodność, jaka istnieje obecnie na i pod powierzchnią Westy. Każdy howardyt jest inny i każdy może zawierać liczne, różne okruchy eukrytów i diogenitów (zdjęcie na stronie tytułowej). Oznacza to, że nie można naprawdę podjąć żadnych badań nad petrologiczną różnorodnością istniejącą w eukrytach i diogenitach, bez przyjrzenia się dokładnie howardytom. Doskonałym przykładem tego są drobnoziarniste eukryty. Krótko po ich uformowaniu się powierzchnia Westy musiała składać się z pokryw eukrytowej lawy, która szybko zastygła. Dlatego oczekiwalibyśmy we współczesnych zbiorach meteorytów obfitości drobnoziarnistych eukrytów (które szybko stygły), ale tak nie jest. W rzeczywistości howardyty zawierają więcej okruchów drobnoziarnistych eukrytów, niż istnieje drobnoziarnistych eukrytów. Każdy howardyt jest mieszaniną wielu litologii; w niektórych dominują eukryty a w innych diogenity. To nam mówi, że powierzchnia Westy, mimo że była kształtowana i przeobrażana przez zderzenia, jest niejednorodna. Potwierdziły to już pierwsze wyniki misji Dawn.

Rys. 4. Trzy płytki cienkie meteorytów: bazaltowy eukryt, kumulatowy eukryt i diogenit. Płytka cienka, to niezwykle cienka płytka skały przyklejona do szklanej płytki. Płytki cienkie meteorytów na tej ilustracji zostały sfotografowane przez mikroskop przy skrzyżowanych polaroidach, co dało piękne barwy. Od lewej: bazaltowy eukryt QUE 97053, kumulatowy eukryt Moore County, diogenit GRA 98108. Bazaltowe i kumulatowe eukryty mają różne tekstury, co odzwierciedla ich formowanie się w różnych miejscach na i pod powierzchnią Westy. Diogenit ma największe ziarna, ponieważ stygł najwolniej. Udostępnili: NASA/University of Tennessee.

HED są moją pierwszą miłością (w meteorytyce) i pisanie tego artykułu przypomniało mi, dlaczego. Naukowym świętym graalem wypraw do innych ciał Układu Słonecznego jest wyprawa, która może przywieźć próbki. Takie wyprawy przekształcą te ciała w pola badań geologicznych, które możemy odwiedzać, fotografować i pobierać próbki do analizy w laboratoriach. Jednak wyprawy w celu przywiezienia próbek są kosztowne i coraz trudniejsze do uzasadnienia przy każdej fali cięć budżetowych. Każdy okaz HED jest sam w sobie wyprawa po próbki. Jest to jedyna grupa meteorytów z planetoid, którą możemy przekonująco powiązać z ciałem macierzystym. Westa jest mini Ziemią, protoplanetą zastygłą w czasie po uformowaniu się 4,56 miliarda lat temu. Zawiera zapis procesów, które przekształciły ją z pierwotnej, chondrytowej (niestopionej) planetoidy w zdyferencjowane ciało przypominające planetę. Ziemia tak skutecznie wymazała początki swej historii, że nigdy nie zrozumiemy jej w pełni oglądając tylko skały, które uformowały się pod naszymi stopami. Zamiast tego powinniśmy przyglądać się przybyłym z kosmosu HED, które moim zdaniem dają nam jedną z największych szans zrozumienia, jak formowała się nasza własna planeta.



Rhianon Mayne jest kustoszem Kolekcji i Galerii Meteorytów Oscara E. Monniga oraz profesorem meteorytyki i planetologii w Texas Christian University.

Późno dewońskie impakty a kryzys fran-famen

Tomasz Brachaniec, Robert Beauford

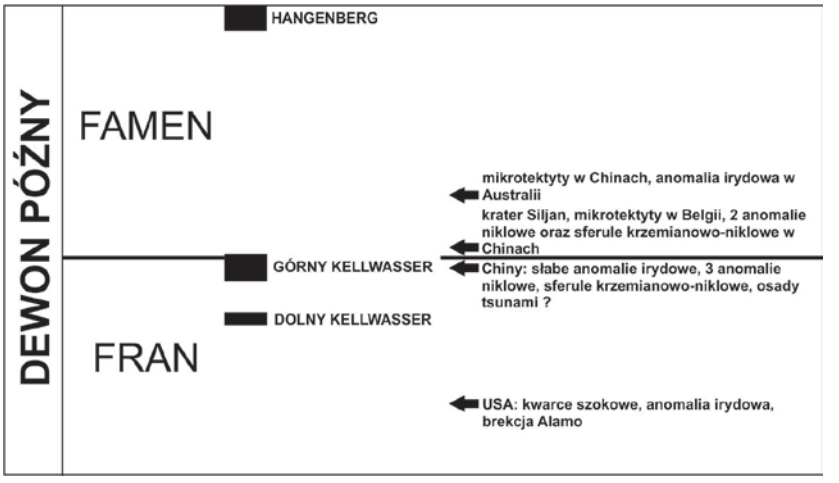
Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 18, No. 3. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2012

W późnym dewonie, na granicy fran-famen (374,5 mln lat temu) miało miejsce jedno z pięciu wielkich wymierań w dziejach Ziemi. W 1970 r. Digby J. McLaren (1919–2004) zasugerował, że dewoński kryzys biotyczny mógł być spowodowany kosmicznym impaktem. Argumenty za i przeciw tej teorii były prezentowane przez następne trzy dekady. Pomimo przesłanek potwierdzających twierdzenie McLarena (niżej w tekście) za główne przyczyny dewońskiego wymierania uznaje się nałożenie się różnych czynników ziemskich: zmiany poziomu morza, ochłodzenie klimatu oraz powstawanie warunków beztlenowych na szelfach oceanicznych. Wymieranie fran-famen było wydarzeniem rozciągniętym w czasie. Wyznacza się je podstawie trzech epizodów: tzn. dolnego i górnego Kellwasseru oraz Hangenberg (rys.). Zdarzenia te zapisały się w profilach litologicznych jako czarne, bitumiczne wapienie, zawierające duże ilości materii organicznej (fot. 1). Osady te odpowiadają epizodom anoksycznym (niedoborem tlenu w oceanach).

Śladami późno dewońskich dużych impaktów w zapisie kopalnym są: anomalie irydowe, liczne kratery oraz mikrotektyty. W osadach tego okresu nie udało się potwierdzić występowania minerałów szokowych. Datowanie izotopowe kraterów obarczone jest sporym błędem, dlatego też nie da się z całą pewnością wskazać tych, powstałych na granicy F-F. Za najbardziej prawdopodobny uznaje się szwedzką strukturę Siljan, datowaną metodą $^{39}Ar - ^{40}Ar$ na 376,8 ± 1,7 mln lat. Jest to zarazem największy krater europejski, mający 52 km średnicy. Do najbardziej znanych dewońskich utworów poimpaktowych zalicza się tzw. brekcję Alamo (Nevada, USA; fot. 2). Mimo, iż stanowi ona niepodważalny dowód na upadek dużego ciała kosmicznego, to jednak wiek impaktytu został określony na wczesny fran czyli ok. 3 miliony lat wcześniej od granicy F-F, co wyklucza ich wzajemne powiązanie.

Szkliste mikrosferule i mikrotektyty w osadach granicy F-F zostały udokumentowane w chińskim profilu osadowym prowincji Hunan oraz dwóch belgijskich poziomach późno dewońskich łupków (Claeys i in. 1992; Claeys i Casier, 1994; Wang 1992). Charakteryzowały się one dużymi rozmiarami, dochodzącymi nawet do ok. 1 mm. Odkrycia te nie stanowią jednak niepodważalnego dowodu na impakt o zasięgu globalnym, ponieważ sferule i mikrotektyty występują lokalnie.

Dewońską anomalie irydową opisano w australijskiej formacji Canning Basin. Playford i in. (1984) udokumentowali występowanie w owych osadach cyjanobakterii Frutexites, które posiadają zdolność koncentracji irydu



Stratygraficzna lokalizacja późno dewońskich kryzysów biotycznych oraz śladów ówczesnych impaktów. Dane z McGhee (1996) oraz Hallam i Wignall (1997).

Fot. 1. Czarne łupki bitumiczne granicy F-F z formacji Chattanooga (USA).

z wody morskiej. Proces ten tłumaczy najprawdopodobniej nagromadzenie tego pierwiastka w dewońskich utworach Australii. Ponadto, wiek warstwy z irydem został oznaczony na dolny famen, a zatem powyżej kryzysowego interwału. Kolejną słabą anomalię irydową opisano w południowych Chinach (Wang i in. 1991). Wynosiła ona 0,23 ppb, co oznacza, że zawartość irydu w badanych osadach była czternastokrotnie większa, niż w osadach leżących poniżej. Bezpośrednio poniżej granicy stwierdzono obecność brekcji wapiennej, ciągnącej się na odległość setek kilometrów. Autorzy przytoczonej wyżej publikacji są zdania, że uzyskane przez nich rezultaty badań wskazują na zapis dużego impaktu na dno oceaniczne w późnym franie w pobliżu południowych Chin.

Claeys i Casier (1994) zasugerowali, że belgijskie sferule mogą pochodzić z krateru Siljan lub kanadyjskiej struktury Charlevoix. Według rekonstrukcji ówczesnej paleogeografii szwedzki impakt znajdował się w sąsiedztwie profili belgijskich. Przypuszczalnym źródłem chińskich sferul miał być siedemdziesięciokilometrowy krater znajdujący się pod jeziorem Taihu (wschodnie Chiny), co jednak nie zostało potwierdzone analizami geologicznymi. Obecnie za późno dewońskie kratery uznaje się 12 struktur (tabela). Ich związku z granicą F-F nie da się jednak potwierdzić, co wiąże się z możliwym błędem datowania. Uważa się, że energia wyzwolona podczas impaktu

Fot. 2 Fragment brekcji Alamo. Pomimo, że średnica krateru źródłowego nie jest znana, uważa się, że oddziaływanie impaktu Alamo miało zasięg regionalny.

Krater	Średnica (km)	Wiek (Ma)
LaMoinerie, Kanada	8	400±50
Brent, Kanada	3,8	396±20
Elbow, Kanada	8	395±25
Kaluga, Rosja	15	380±5
Ilyinets, Ukraina	8,5	378±5
Siljan, Szwecja	52	376,8±1,7
Alamo Brekcja	? (olbrzymi)	~377,5
Woodleigh, Australia	40	364±8
Flynn Creek, USA	3,8	360±20
West Hawk, Kanada	2,44	351±20
Charlevoix, Kanada	54	342±15
Crooked Creek, USA	7	320±80

Zestawienie kraterów meteorytowych mogących mieć powiązanie z wymieraniem późno dewońskim. Nie da się jednak tego ostatecznie potwierdzić, ze względu na możliwy błąd w datowaniu. Dane z Earth Impact Database.

Siljan stanowiła tylko 2% energii impaktu Chicxulub, co tym samym budzi wątpliwości o jego globalnym zasięgu. Przypuszczalnie wszystkie impakty dewońskie miały charakter regionalny, a z uwagi na fakt, że nie występowały w jednym interwale czasowym nie mogły się przyczynić zasadniczo do zainicjowania dewońskich kryzysów biotycznych. Obecność dwóch belgijskich poziomów mikrosferulowych wskazuje z całą pewnością na więcej niż jeden impakt w sąsiedztwie granicy F-F. Jak ma to miejsce w przypadku granicy kreda-paleogen geologiczne mikroślady impaktu inicjującego masowe wymierania występują na całym świecie. W przypadku wymierania F-F nie stwierdzono ich w wielu profilach, m.in. W Niemczech czy Kanadzie, co by tylko potwierdzało mocno ograniczony zasięg oddziaływania dewońskich impaktów. Nie wszyscy jednak się zgadzają z tym twierdzeniem. Jansa (1993) tłumaczy brak anomalii irydowej w większości profili kometarnym charakterem bolidu, który nie był zasobny w pierwiastki typu platynowce. Kolejnym częstym argumentem zwolenników katastrofalnych późno dewońskich impaktów jest odwołanie do kenozoicznych mikrotektytów, których także nie towarzyszy występowanie anomalii geochemicznej.

Poszukiwania geologicznych śladów katastrofalnego późno dewońskiego impaktu(ów) są stosunkowo trudne. Duża liczba kraterów z tamtego okresu sugeruje szereg gwałtownych zmian na Ziemi, co jednak trudno jest zinterpretować, ze względu na niejasne zapisy geochemiczne oraz regionalnemu występowaniu mikrotektytów. Katastrofy kosmiczne są ciągle brane pod uwagę jako możliwe przyczyny wielkich wymierań, chociaż jak dokąd udało się to jedynie potwierdzić na granicy kreda-paleogen.

Literatura

Claeys, P., Casier, J.G., Margolis, S.V. 1992.Microtektites and mass extinctions: Evidence for a Late Devonian asteroid impact. Science, v. 257, s. 1102 — 1104.

Claeys, P., Casier, J.G. 1994. Microtektite-like impact glass associated with the Frasnian-Famennian boundary mass extinction. Earth and Planetary Science Letters, v. 122, s. 303- 315.

Hallam, A., Wignall, P.B. 1997. Mass Extinctions and Their Aftermath. Oxford University Press, s. 62 — 86.

Jansa, L. F. 1993. Cometary impacts into ocean: Their recognition and the threshold constraint for biological extinctions. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 104, s. 271- 286.

McGhee, G.R.1996. The Late Devonian mass extinction: the Frasnian/ Famennian crisis. Columbia University Press, New York, s. 303.

McLaren, D.J. 1970. Time, life and boundaries. J. Paleontol., v. 44, s. 801 — 815.

Playford, P.E., McLaren, D.J., Orth, C.J., Gilmore, J.S., Goodfellow, W.D. 1984. Iridium anomaly in the Upper Devonian of the Canning Basin, Western Australia. Science, v. 226, s. 437 — 439.

Wang, K. 1992. Glassy microspherules (microtektites) from an Upper Devonian limestone. Science, v. 256, s. 1547 — 1550.

Wang, K., Orth, C. J., Attrep, M., Chatterton B. D. E., Hou, H., Geldsetzer, H. H. J. 1991. Geochemical evidences for a catastrophic biotic event at the Frasnian/ Famennian boundary in south China. Geology, v. 19, s. 776-779.

Tomasz Brachaniec jest doktorantem Katedry Geochemii, Mineralogii i Petrografii Wydziału Nauk o Ziemi UŚ. Jest członkiem PTM oraz Meteoritical Society.

Robert Beauford jest redaktorem „Meteorite", bada meteoryty i zderzenia z planetami i mieszka na wzgórzu 200 stóp ponad odsłonięciem granicy F/F.

Niech spadnie niebo

Natalia Artemiewa i Walerij Szuwałow

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 19, No. 2. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2013

Wstęp

Wszystkie ciała poruszające się w ziemskiej atmosferze ogrzewają wokół siebie powietrze. Ilość ciepła jest proporcjonalna do kwadratu prędkości ciała i jest to tylko kilka stopni w przypadku Boeinga 747, ~2000°C w przypadku wahadłowca i aż 25000°C w przypadku meteorytu. W skrajnych przypadkach można rzeczywiście widzieć ogrzane powietrze jako jaskrawe światło. Część tego ciepła wraca do lecącego ciała powodując topienie się i odparowywanie jego powierzchni (proces, który czasem jest nazywany nieprawidłowo „paleniem się"). Dlatego właśnie konstruktorzy statków kosmicznych muszą wkładać wiele wysiłku w osłanianie statków kosmicznych przed ciepłem. Meteoryty nie mają konstruktorów budujących osłony, wiec mogą stracić w atmosferze aż do 99% swej masy.

Temperatura nie kończy tej opowieści. Podczas gdy odrzutowce, i nawet powracający wahadłowiec, mają sporo czasu na podróż w atmosferze, to meteoryt pokonuje taką samą odległość w mgnieniu oka. Ciała poruszające się z prędkością większą od prędkości dźwięku wytwarzają w atmosferze fale uderzeniowe, które ludzie mieszkający w pobliżu lotnisk wojskowych dobrze znają jako gromy dźwiękowe. Natężenie gromu dźwiękowego przy powierzchni w zasadzie zależy od dwóch czynników: prędkości obiektu i jego wysokości. Z tego powodu zabrania się wojskowym odrzutowcom przekraczania bariery dźwięku na małych wysokościach. Ponaddźwiękowy samolot porusza się z prędkością przekraczającą prędkość dźwięku o czynnik dwa do pięciu na wysokości około 20 km nad poziomem morza, podczas gdy meteoryty poruszają się z sześćdziesięciokrotną prędkością dźwięku po opadających trajektoriach.

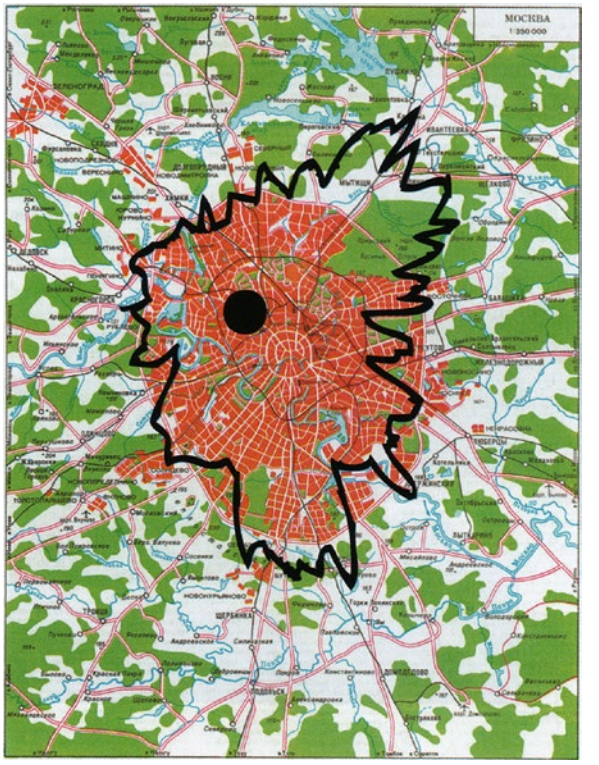
Obniżanie się oznacza także wzrastającą gęstość powietrza — od 10^{-6} g/cm^3 na wysokości 50 km do 4×10^{-4} g/cm^3 na szczycie Mount Everest. Bardziej gęsta atmosfera wydajniej hamuje meteoroidy i może nawet powodować ich fragmentację, co z kolei prowadzi do dodatkowego hamowania. Rozbijanie meteorytu kamiennego młotkiem może sprawić pewną trudność. W wyniku dużej prędkości meteoroidu atmosfera ma pod tym względem dużo większe zdolności. Fragmentacja może być obserwowana jako chwilowe rozbłyski światła powyżej przeciętnego poziomu. Gdy meteoroid zostaje wyhamowany do prędkości poniżej 2—4 km/s, otaczające go powietrze przestaje świecić i ciało już dalej nie topi się ani nie rozpada. Jego resztki nadal spadają coraz wolniej i w końcu osiągają powierzchnię z prędkością kilku metrów na sekundę. W gruncie rzeczy meteoroidy nie eksplodują, bo nie ma materiałów wybuchowych w przestrzeni pozaziemskiej. Wszystkie te rozbłyski, fragmentacja, parowanie, fale uderzeniowe itd. są powodowane przez atmosferę, która chroni nas przed uderzeniami meteoroidów o średnicy poniżej kilku metrów.

Gdy średnica meteoroidu wynosi setki metrów i więcej, to atmosfera niewiele im może zaszkodzić i docierają one do powierzchni z prędkością przedatmosferyczną wytwarzając silne fale uderzeniowe i wybijając kratery na powierzchni.

Najbardziej skomplikowana i wciąż trochę tajemnicza historia zaczyna się, gdy mamy do czynienia z ciałami o pośrednich rozmiarach. Z jednej strony ulegają one w pewnym stopniu hamowaniu i fragmentacji, tak jak mniejsze meteoroidy. Z drugiej strony ich fragmenty mogą dotrzeć do dolnych warstw atmosfery czy nawet do powierzchni. To właśnie wydarzyło się w przypadku Czelabińska, Tunguskiej i deszczu meteorytów żelaznych Sikhote-Alin. W takim przypadku występują lokalne, mechaniczne uszkodzenia i nawet pożary. Każde z tych wydarzeń ma swoją historię i musi być rozważane indywidualnie.

Tunguska

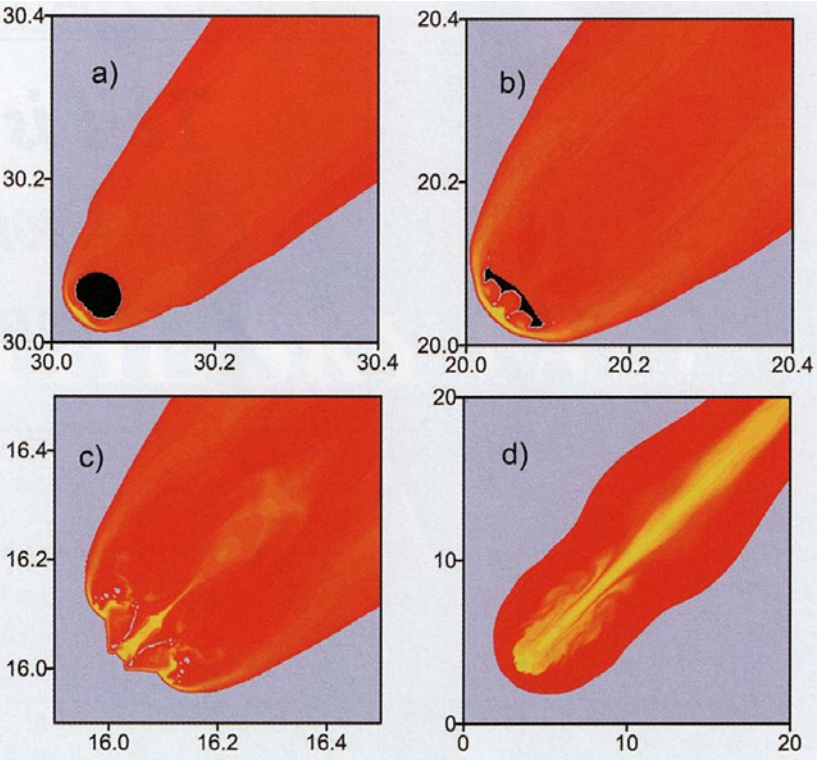
Chociaż od tego czasu minęło już ponad sto lat, wydarzenie tunguskie, które nastąpiło w rosyjskiej Syberii w roku 1908, wciąż jest przedmiotem intensywnych badań naukowych, a nawet dziwacznych rozważań pseudonaukowych. Jednak połączenie trwających 40 lat doświadczeń, analitycznych modeli i niedawnych symulacji numerycznych wyraźnie pokazuje, że wszystkie naukowo obserwowane efekty, jak powalenie lasu w kształ-



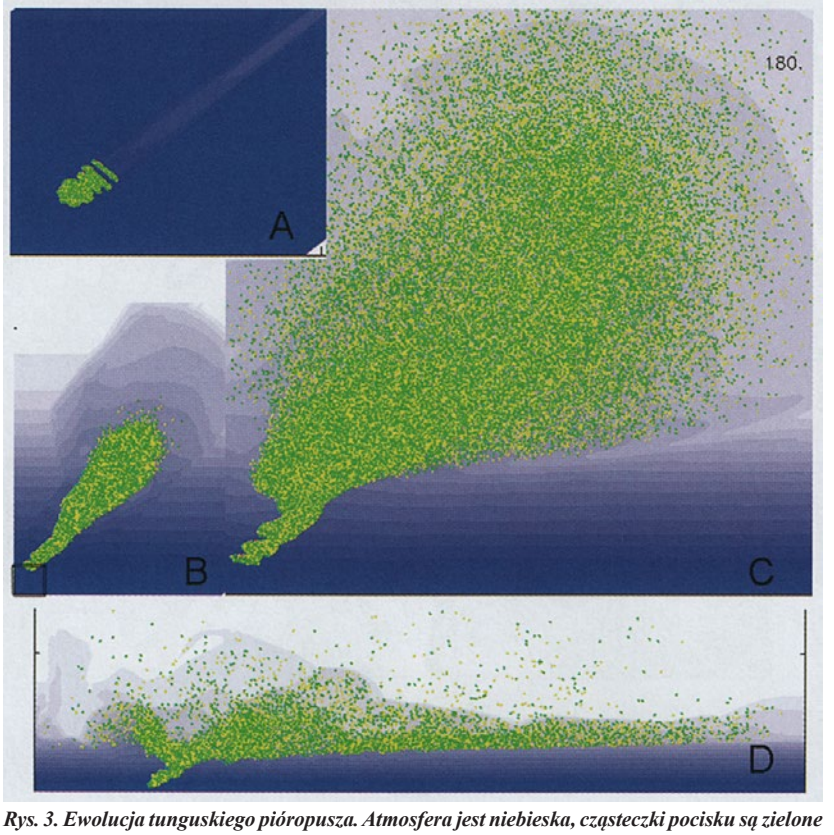
Rys. 1. Słynny, tunguski powalony las nałożony na mapę Moskwy.

cie motyla, białe noce w zachodniej Europie i brak pozaziemskiej materii w pobliżu miejsca uderzenia można wytłumaczyć rozpadem w atmosferze planetoidy czy komety o średnicy kilkudziesięciu metrów. Wynikiem oddziaływania atmosferycznych fal uderzeniowych z powierzchnią jest przyspieszenie ruchu powietrza po tej powierzchni, co jest dość podobne do huraganu. Co ciekawe, nie ma dowodów wiatru w punkcie zero Tunguski. Duże drzewa w epicentrum przetrwały uderzenie doznając jedynie nieznacznego spalenia. Wiatr jest najsilniejszy, 50—60 m/s, w odległości 7—10 km od punktu zero i słabnie do 10 m/s w odległości około 30 km. Osobliwy wzór zniszczeń na powierzchni w kształcie motyla był odtwarzany kilkakrotnie w doświadczeniach i trójwymiarowych modelach fizycznych.

Modele i obserwacje zderzenia komety Shoemaker-Levy 9 z Jowiszem w 1994 r. pomogły naukowcom zrozumieć, co się stało z ciałem tunguskim. Przede wszystkim, gdy weszło ono w atmosferę, zostało zdeformowane, rozkruszone i przeobrażone w maleńkie kropelki. Po drugie te kropelki wytraciły prędkość i pozostały wysoko ponad powierzchnią. Można się spodziewać, że w niezaburzonej atmosferze takie cząsteczki będą powoli opadały na powierzchnię. Jednak nie było tak po tunguskim spadku. Gdy ciało leciało przez atmosferę, pozostawiało za sobą ślad — kanał gorącego, rozrzedzonego powietrza. Działał on jak komin wysyłając liczne cząsteczki wysoko do atmosfery. W ciągu kilku minut uformował się pióropusz o średnicy 400 km, który potem opadł rozsiewając materię pocisku wzdłuż gęstej, dolnej warstwy atmosfery na odległość do kilku tysięcy kilometrów. Podobne pióropusze obserwowano na Jowiszu. Pióropusz powodował także redystrybucję gazów atmosferycznych. Na przykład znaczna ilość pary wodnej została przetransportowana z troposfery w górę do zwykle zimnej i suchej mezosfery. Wynikiem obecności w pióropuszu cząstek pocisku było uformowanie się licznych kryształów lodu. Silne wiatry w górnej warstwie atmosfery mogły przetransportować w ciągu około 20 godzin tę ogromną chmurę aż do północnej Europy wytwarzając niezwykle jasne, biegunowe obłoki mezosferyczne, czego wynikiem były białe noce na nietypowych szerokościach. Według ostatnich obserwacji nawet spaliny wahadłowca, który wydala około 300 ton wody do górnej atmosfery, wytwarzają polarne obłoki mezosferyczne, które błyska-



Rys. 2. Migawki ukazujące oddziaływanie ciała typu tunguskiego z atmosferą: a) na wysokości 30 km zaczyna się fragmentacja; b) na wysokości 20 km ciało jest całkowicie rozbite na kawałki i przybiera kształt naleśnika; c) na wysokości 16 km ciało zostaje przekształcone w strugę cząstek, chociaż prędkość jest tylko nieco niższa od prędkości wejścia; d) najgłębsza penetracja strugi, jej prędkość spada do zera (podziałka jest inna niż w poprzednich migawkach).



Rys. 3. Ewolucja tunguskiego pióropusza. Atmosfera jest niebieska, cząsteczki pocisku są zielone i żółte. A) Całkowite wyhamowanie pocisku, tworzone są cząsteczki, ramka 20 × 20 km (porównaj z D z poprzedniego rysunku); B i C) po 1 i po 3 minutach, mały kwadracik w dolnym, lewym rogu odpowiada ramce A, wielkość tej ramki jest 400 × 400 km; D) po 10 minutach, pióropusz opada, wielkość ramki jest 1500 km × 400 km.

wicznie dryfują z Florydy do obszarów podbiegunowych.

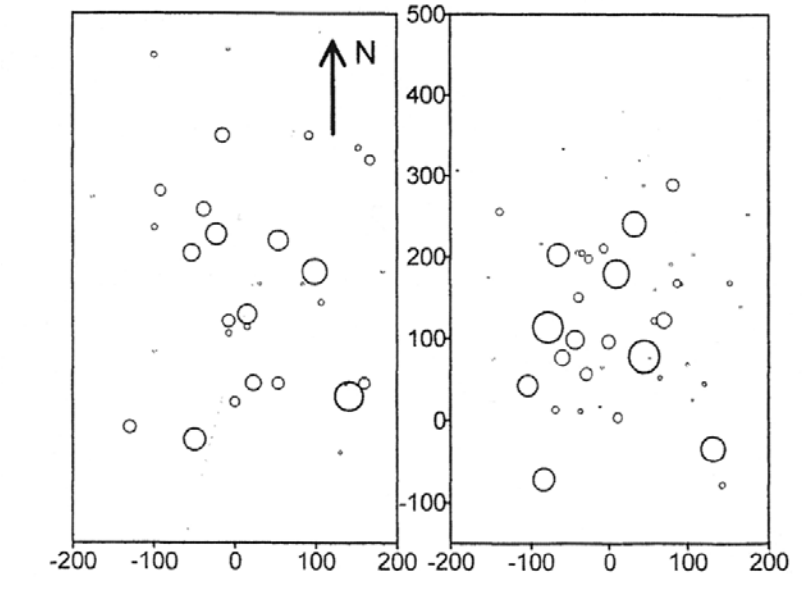
Sikhote-Alin

Deszcz meteorytów żelaznych Sikhote-Alin jest dość dobrze udokumentowanym zdarzeniem, które miało miejsce na rosyjskim dalekim wschodzie 12 lutego 1947 r. Towarzyszyły mu gwałtowne zjawiska optyczne i akustyczne, a meteoryty wytworzyły pole kraterów, z których 23 kratery miały średnicę ponad 9 m. Bezpośrednio po spadku zebrano około 27 ton meteorytów. Nawet 60 lat później można bez trudu natrafić na okazy meteorytu Sikhote-Alin na eBayu. Stosunkowo prosty model „oddzielonych fragmentów" pozwolił na odtworzenie obszaru rozrzutu z dużym stopniem dokładności, przy założeniu, że masa meteoroidu przed wejściem w atmosferę była około 2×10^5 kg (ok. 3,7 m średnicy), a prędkość wejścia w atmosferę 14 km/s. Końcowe prędkości fragmentów wahały się od kilku m/s (prędkości swobodnego spadku) do 4 km/s. Ta najwyższa wystarcza, by zrobić krater, ale wciąż jest zbyt mała, by stopić meteoryt czy też powierzchnię.

Rys. 4. Największy okaz meteorytu Sikhote-Alin ważący 1745 kg. Muzeum Mineralogiczne Fersmana Rosyjskiej Akademii Nauk. Fot. N. Artemieva. Poniżej wydobycie tego okazu w 1947 r.

Czelabiński meteoroid

Wczesnym rankiem 15 lutego 2014 r. tysiące ludzi obserwowały jasny rozbłysk na niebie nad Czelabińskiem, na Uralu w Rosji. Po nim nastąpił potężny grom dźwiękowy, który zniszczył okna na obszarze około 5000 km^2 raniąc ponad 1500 osób, głównie odłamkami szkła. Liczne nagrania video pozwoliły na odtworzenie trajektorii ciała i historii fragmentacji z wysokim stopniem dokładności. Kąt wejścia był wyjątkowo niski, około 17° względem horyzontu; obserwowana długość trajektorii w atmosferze przekroczyła 250 km. Kilka rozbłysków pojawiło się na wysokościach 40—20 km. Całkowitą masę i energię meteoroidu oceniono na podstawie sygnału infradźwiękowego, energii najjaśniejszego rozbłysku i efektów naziemnych. Jego wielkość przed wejściem w atmosferę była prawdopodobnie około 15—20 metrów, a całkowita energia około 300 (100—500) kiloton. Jednak koło Czelabińska odnaleziono tylko niewielki ułamek tej masy — głównie małe kamyki, z których największy ważył 1,8 kg. Meteoryt jest chondrytem zwyczajnym LL5. Podobne zdarzenia mogą występować stosunkowo często, mniej więcej raz na 10—100 lat.



Rys. 5. Modelowany (z lewej) i obserwowany (z prawej) obszar rozrzutu deszczu meteorytów żelaznych Sikhote-Alin.

Pytania na zakończenie

Co powyższe zdarzenia mają ze sobą wspólnego? Fakt oddziaływania pozaziemskiego ciała z ziemską atmosferą. Jaka jest główna różnica?

Wielkość i rodzaj obiektu. Meteoroid tunguski miał przynajmniej trzykrotnie większą średnicę niż czelabiński (co oznacza 27 razy więcej energii), a więc wtargnął głębiej w atmosferę. W rezultacie fale uderzeniowe na powierzchni były silniejsze, a promieniowanie cieplne było dostatecznie silne, by odparować materiał pocisku i spowodować pożar lasu. Sikhote-Alin był jeszcze mniejszy niż Chelyabinsk. Była to jednak bryła żelaza, która ma znacznie większą wytrzymałość. Wytworzyła podobne fale uderzeniowe w atmosferze, uległa intensywnej fragmentacji, a jednak dotarła do powierzchni z prędkością wystarczającą do wytworzenia kilkunastu małych kraterów.

Czy jesteśmy zdolni przewidzieć inwazję stosunkowo małych ciał kosmicznych i ochronić Ziemię? Odpowiedź brzmi: prawdopodobnie NIE (przynajmniej nie w najbliższym czasie), ponieważ takie obiekty są zbyt małe, by mogły zostać wykryte w kosmosie przez współczesne teleskopy. Jedynym przykładem udanej prognozy była planetoida 2008 TC3, którą odkryto przypadkiem jeden dzień przed zderzeniem z Ziemią i której fragmenty odnaleziono później w Sudanie jako meteoryt Almahata Sitta. Nie jest to jednak powód do niepokoju — Ziemię całkiem dobrze chroni jej atmosfera.

Czy możemy ocenić wielkość zagrożonego obszaru i stopień zniszczeń? Odpowiedź brzmi i TAK i NIE. Gdybyśmy w jakiś sposób poznali trajektorię, wielkość i skład (żelazne czy kamienne) ciała, to fizycy mogliby przewidzieć jego zachowanie — czy ulegnie ono fragmentacji i odparowaniu w atmosferze, czy też dotrze do powierzchni z dostatecznie dużą prędkością. Mogliby także ocenić z rozsądną dokładnością wielkość zagrożonego obszaru. Nie ma jednak sposobu, by uzyskać z obserwacji teleskopowych kluczowe dane dotyczące zderzenia, jak wytrzymałość i gęstość ciała.

Wreszcie czy możemy zminimalizować ryzyko związanych ze zderzeniem obrażeń? TAK, możemy. Możemy uczyć kilku podstawowych informacji o meteorytach i ich oddziaływaniu z atmosferą. Ludzie żyjący na terenach aktywnych sejsmicznie znają proste zasady, które pomagają im przetrwać trzęsienie ziemi. W przeciwieństwie do trzęsienia ziemi uderzenie meteoroidu może nastąpić w dowolnym momencie i w dowolnym miejscu Ziemi. Bądźmy przygotowani! Jeśli widzimy jasny rozbłysk na niebie, nie panikujmy (to nie jest koniec), oddalmy się od okien, znajdźmy bezpieczne miejsce, by się schronić i zmierzmy czas między błyskiem a gromem dźwiękowym. Może on być dłuższy niż 10 sekund, nawet do kilku minut. Nasze dane mogą w przyszłości pomóc naukowcom badającym zderzenia.

Zalecane do dalszej lektury:

Vasilyev N. V. 1998. The Tunguska meteorite problem today. Planet. Space Sci. 46: 129-150.

Shuvalov V. V. And Trubetskaya I. A. 2007. Aerial bursts in the terrestrial atmosphere. Solar System Research 41: 220-230.

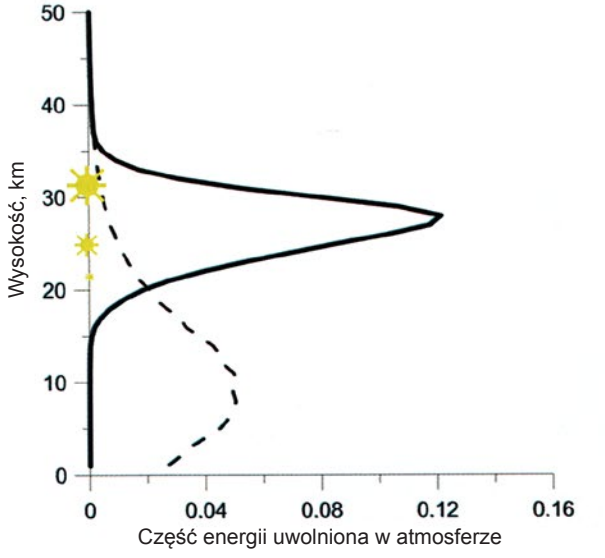
Boslough M. and Crawford D. 1997. Shoemaker-Levy 9 and plume forming collisions on Earth. Annals NY Acad. Sci. 822: 236-280.

Artemieva N. and Shuvalov V. V. 2010. Tunguska Explosion — Final Remarks. LPSC — 41, abstr. 1268.

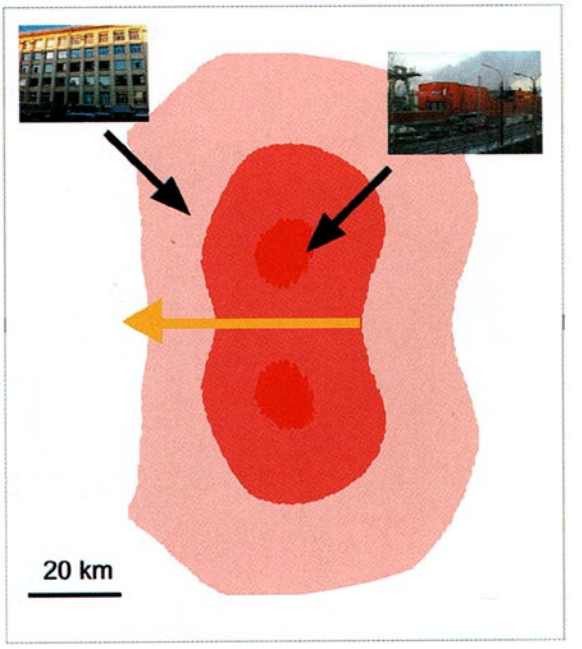
Krinov E. L. 1965. Scattered Meteorite Matter in the Area of Fall of the Sikhote-Alin Iron Meteorite. Annals of the New York Academy of Sciences, 119: 224-234.

Artemieva N. and Shuvalov V. V. 2001. Motion of a fragmented meteoroid through the planetary atmosphere. Journal of Geophysical Research 106: 3297-3309.

Natalia Artemiewa zajmuje się modelowaniem zderzeń z dużymi prędkościami w Planetary Science Institute w Tucson i w Instytucie Dynamiki Geosfery w Moskwie. Walerij Szuwałow kieruje w Moskwie pracownią „Matematyczne modelowanie w procesach geofizycznych".



Rys. 6. Meteoroid Chelyabinsk — modelowane uwolnienie energii w atmosferze (może być skorelowane z obserwowaną jasnością bolidu). Linia ciągła reprezentuje najbardziej realistyczny scenariusz (początkowy promień 10 m, początkowa prędkość 18 km/s, kąt wejścia 17°). Meteoroid z podobnymi parametrami wejścia w atmosferę, ale bez fragmentacji, dociera do powierzchni z prędkością 5 km/s i robi krater o średnicy 300 m. (linia przerywana). Gwiazdki oznaczają wysokości obserwowanych rozbłysków.



Rys. 7. Wyliczony maksymalny nacisk na powierzchnię (dla atmosferycznego uwolnienia energii pokazanego na rys. 6) po spadku meteorytu Chelyabinsk. Duża pomarańczowa strzałka oznacza rzut najjaśniejszej części trajektorii. Bladoróżowa barwa odpowiada nadciśnieniu 500 Pa (0,5% standardowego ciśnienia atmosferycznego), wystarczająco silnego, by wybić szyby. Czerwone plamy pokazują najpoważniejsze szkody (możliwe przewrócenie ceglanych ścian).

Wielkie grzmoty, małe kamienie

Roger Warin i John Kashuba

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 19, No. 2. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2013

Niezwykłe zjawisko wystąpiło tu w miniony piątek wieczorem, około 7:15. Była potężna eksplozja; najpierw silny wybuch, po którym nastąpiła seria mniejszych eksplozji zakończona grzmotem, którego dudnienie trwało ze dwie minuty. Ludzie wybiegli na ulice i gapili się w niebo. Na niebie było trochę wysoko sunących obłoków, ale zaraz po eksplozji był widoczny dymny ślad podobny do wyziewów z rury wydechowej automobilu. Ślad ten zanikał w kierunku nieco na północ od wschodu. Potęgę tej eksplozji można ocenić przez fakt, że słychać ją było aż w Whiteriver na południu i w Keams Canyon na północy, czyli około stu mil na północ i południe od Holbrook.

To był Holbrook w Arizonie, nie Czelabińsk w Rosji. Ale ta relacja sprzed stu lat opowiada znajomą historię – dymny ślad, wybuch, a potem przewalający się grzmot. To znów pochodzi z wydawanej w Holbrook gazety Argus z 1912 roku:

W sobotę doszła do nas wieść, że deszcz „spadających kamieni" miał miejsce w Aztec, sześć mil na wschód stąd, zaraz potem, jak słyszano tu eksplozję. Kamienie, jak można najlepiej ocenić, zostały rozrzucone na powierzchni ponad jednej mili kwadratowej. W niedzielę wielu tutejszych mieszkańców pojechało samochodami, motorami czy konno do Aztec i zbierało meteoryty.

W Czelabińsku zbierali kamienie mieszkańcy i naukowcy. Teraz te okazy rozchodzą się po całym świecie. Wkrótce po spadku poszukiwacz meteorytów z Tucson, Michael Farmer, pojechał na miejsce spadku i nabył wiele małych kamyków, podobnych do okazów meteorytu Holbrook, znalezionych w okolicy wsi Deputatskij, na południowy zachód od samego Czelabińska. Wiele osób znajdowało je tam kopiąc w śniegu, kierując się dziurkami zrobionymi w śniegu przez te kamienie. Farmer przysłał nam fot. 1.

Poszukiwacze wciąż znajdują w Holbrook meteoryty. Potrzeba tylko wytrenowanego oka i wytrwałości. Przez lata Twink Monrad zgromadziła kolekcję pokazaną na fot. 2. Największy okaz kupiła od Allana Langa. Trzy okazy z białymi oznaczeniami pochodzą z kolekcji Foote'a. Wszystkie pozostałe znalazła podczas licznych wypraw na poszukiwania z Jimem Krieghem.

Podobieństwa odnajdujemy także analizując spadek koło Pułtuska w Królestwie Polskim, w roku 1868. Galle opublikował obszerny traktat, w którym pan Kayser przedstawia opublikowane w tamtejszej gazecie obserwacje z Danzig [obecnie Gdańsk zwany przez niektórych kaszubską stolicą Gdańsk]:

Wieczorem, 30 stycznia, zadziwił mnie wyjątkowo jasny meteor spadający od południowego wschodu ku wschodowi w momencie, gdy akurat zamykałem okno… w sali obserwacyjnej, w domu Stowarzyszenia Filozofii Przyrody. Meteor ten… poruszał się po linii prostej z bardzo jednostajną jasnością do Syriusza… i w tym miejscu momentalnie eksplodował z coraz bardziej intensywnym blaskiem i widoczną gwałtownością, rozrzucając iskry promieniście we wszystkich kierunkach, lecz bez detonacji… Poza tym był podobny do spadającej gwiazdy i pozostawiał za sobą szybko znikający ślad, który zaciekawił mnie, gdyż wił się spiralnie poza punktem wybuchu i rozpadał na pojedyncze cząstki.

W Warszawie grom dźwiękowy pojawił się długo po zgaśnięciu bolidu, tak samo, jak słyszymy to na nagraniach video z Czelabińska.

Pan v. Bäckmann szedł chodnikiem po zachodniej stronie ulicy.... Widział, jak bolid pojawił się zza domów stojących po zachodniej stronie Krakowskiego Przedmieścia i leciał nad ulicą, ...oddalając się od niego; na koniec rozsypał się nagle nad wschodnią ścianą domów w wielką ilość świecących punktów, przypominających iskry. Przez chwilę spoglądał w kierunku miejsca, gdzie nastąpiło to zjawisko, po czym ruszył, kontynuując spacer w kierunku Nowego Światu. Idąc równym krokiem i oglądając się trzy czy cztery razy po kilka sekund w kierunku zjawiska dotarł do drugiej przecznicy i wtedy usłyszał grzmot trwający kilka sekund, a po nim straszliwy, trzeszczący huk, znacznie głośniejszy od wystrzału armatniego. Zaraz po huku nastąpiły podobne trzaski, po czym zapadła cisza.... Odstęp czasu między świetlnym zjawiskiem aerolitu, a następującą po nim detonacją wyniósł nieco ponad 3 minuty.

Te fajerwerki były źródłem słynnego grochu pułtuskiego, który zdobi

Fot. 1. „Jedz swój groszek chłopcze." Meteoryty Chelyabinsk LL5, Deputatskij, Czelabinskaja obłast, Rosja. Kolekcja i zdjęcie Michael Farmer.

Fot. 2. Meteoryty Holbrook L/LL6. Największy okaz, ważący 50 gramów, został kupiony od Ala Langa. Trzy z białymi oznaczeniami są z kolekcji Foote'a. Pozostałe znalazła Twink Monrad. Kolekcja i zdjęcie Twink Monrad.

Fot. 3. Groszki i fasolki Pułtuska, H5. Zdjęcie Mariusz Niechwedowicz, udostępniło Muzeum Geologiczne im. Stanisława Józefa Thugutta, Uniwersytet Warszawski.

Fot. 4. Diogenit Tatahouine. Przez lata zebrano ponad 15 kg, przeważnie małych fragmentów. Kolekcja i zdjęcie Anne Black.

liczne zbiory. Nasz znajomy, Andrzej Pilski, poprosił w naszym imieniu Muzeum Geologiczne Uniwersytetu Warszawskiego o zrobienie zdjęcia. Pan Niechwedowicz uprzejmie sfotografował dla nas muzealne okazy (fot. 3).

Raz jeszcze, w połowie roku 1931, na dalekim południu Tunezji pojawiły się fajerwerki i spadły małe kamyki.

Wszystkich mieszkańców Tataouine zbudził dudniący grzmot, bardziej gwałtowny i długotrwały niż podczas burzy. Towarzyszyło temu ogromne światło, a niektórzy twierdzą, iż widzieli kulę ognistą przecinającą niebo w kierunku wschód – zachód. Po głównym grzmocie nastąpiła seria eksplozji porównywalna z wybuchającymi granatami. W sumie zjawisko trwało około 30 s.

Poszukiwania wokół Tataouine doprowadziły do odnalezienia, 4 kilometry na północny wschód od wioski, nie dalej niż 500 m od drogi Tataouine – Ben Gardane, czterech skupisk bryłek minerałów, które spadły na powierzchnię o promieniu około 500 m. Te fragmenty aerolitu utworzyły w ziemi, w piasku, małe lejki, które są porównywalne z tymi od pocisku 75. Bryły minerału rozpadły się przy zetknięciu z gruntem na wiele fragmentów; największy nie przekracza 2 kg. Grzmot i blask były zauważane w promieniu około 50 km wokół Tataouine, a może i dalej.

Napisał to kapitan Lewden, który opisał szczegóły zdarzenia, a pan A. Lacroix przedstawił to na posiedzeniu Akademii Nauk (Francja) dwa tygodnie po spadku. Wspomniany przez kapitana Lewdena „pocisk 75", to z pewnością 75 mm szrapnel używany przez francuską artylerię podczas I Wojny Światowej. Zawierał on ładunek prochu, który zapalał się w locie i dodatkowo przyspieszał 250 ołowianych kulek.

Dlaczego małe kamyki? Relacja z Tataouine twierdzi, że to wskutek rozkruszania się spadających meteorytów przy uderzeniu w ziemię. Może to być prawda, skoro tak mało jest okazów pokrytych skorupą (fot. 4). Mniej prawdopodobna jest przyczyna podana dla fragmentacji meteorytu Holbrook, opublikowana w Argus, w 1912 roku.

Najbardziej prawdopodobna i najszerzej akceptowana teoria zjawiska mówi, że meteor zboczył z orbity i gdy zetknął się z prądem powietrza w zimnej chmurze, nastąpiła eksplozja.

Nie jesteśmy zwolennikami poglądu, że meteoroidy przybywają w posta-

ci gromady pojedynczych kamyków. Luźne zgromadzenie nie przetrwałoby trudów krążenia w wewnętrznej części Układu Słonecznego. Teoria latającego czajnika do herbaty też nie jest dobra. Ciepło nie ma dostatecznej ilości czasu, by zamienić wewnętrzną wodę w parę powodującą eksplozję.

Mechaniczny rozpad pod działaniem nacisku powietrza na skałę musi być przyczyną – najczęściej. Popova et al., 2011, pokazuje w swej pracy, że wstępny rozpad występuje czasem wcześniej w trakcie spadania meteoroidu; to znaczy pod mniejszym naciskiem, niż należałoby oczekiwać opierając się na wytrzymałości meteorytowej skały. Sugeruje to, że fragmenty, które przetrwały spadanie, są szczególnie mocne i że meteoroidy przed wejściem w atmosferę są strukturalnie słabe. Jest to rozsądne, ponieważ uważamy, że te obiekty przetrwały już wyrzucenie z ich ciał macierzystych. Mogą one także być częścią sterty gruzu, albo mogły być przekopywane w regolicie przez powtarzające się zderzenia.

Autorzy zwracają uwagę na defekty obserwowane w meteorytach, które przetrwały spadanie, i sugerują, że podobne, bardziej rozległe utwory promują wczesne rozpadanie się. Wymieniają cztery typy: równoległe żyłki szokowe ze stopu metalu i siarczku, szkliwa powstałego wskutek tarcia i drobnych ziaren minerałów; nierównoległa mieszanina żyłek szokowych, przypominająca oczka gęstej siatki, składająca się, jak poprzednio, z drobnych spękań; krótkie, otwarte spękania, które są podatne na rozchodzenie się pod naciskiem; oraz inne utwory takie jak lustra tektoniczne czy stożki uderzeniowe.

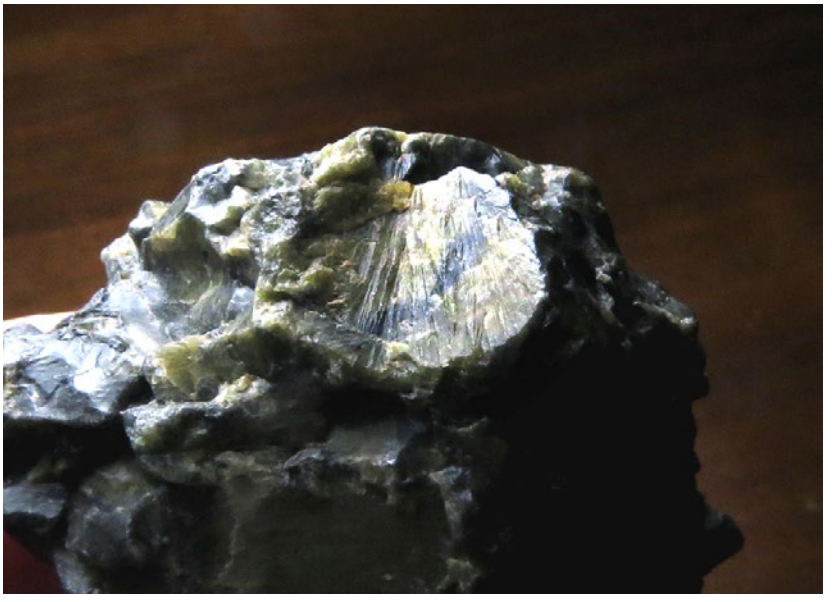
Meteoryt H4-5 Carancas jest znany z tego, że rozpadał się wzdłuż luster tektonicznych, i z tego, że rozpadł się na liczne fragmenty (fot. 5). Płaszczyzny rozpadu będące powierzchniami stożków uderzeniowych, są powszechne w przypadku Tataouine (fot. 6 i 7).

A wielki grzmot? Jest to po prostu przybycie fali uderzeniowej meteoru. Im bardziej rozlegle ulega meteoroid fragmentacji w powietrzu, tym bardziej wydajnie przekazuje energię kinetyczną do fali uderzeniowej. Wielki grzmot, małe kamyki.

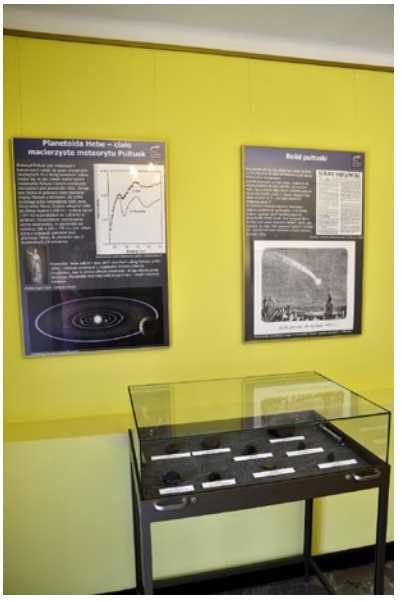
Dr Roger Warin jest emerytowanym chemikiem. John Kashuba jest emerytowanym inżynierem budownictwa.

Fot. 5. Typowe lustro tektoniczne na fragmencie Carancas H4-5. Ta powierzchnia ma około 6 mm rozpiętości.

Fot. 6. Na prawej stronie tego, ważącego 38 gramów, fragmentu diogenitu Tatahouine jest dobrze uformowany stożek uderzeniowy. Zdjęcie udostępnił Fabien Kuntz.



Fot. 7. „Negatyw" stożka uderzeniowego na powierzchni fragmentu diogenitu Tatahouine. Kolekcja Anne Black.



„Wokół meteorytu Pułtusk” — wystawa meteorytów w Pułtusku

Jadwiga Biała, Tomasz Jakubowski, Marek Woźniak

W 140 rocznicę spadku meteorytu Pułtusk miejscowe Muzeum Regionalne przypomniało mieszkańcom Pułtuska to wydarzenie, organizując sesję oraz wystawę w Galerii Cztery Strony Świata. Na wystawie były tylko plansze, bez gablot z meteorytami, ponieważ sala nie posiadała dostatecznego zabezpieczenia. Zgodnie z tytułem wystawy „Meteoryt Pułtusk — największy deszcz meteorytów kamiennych” na planszach przedstawiono okoliczności spadku, wyniki badań oraz pochodzenie tego sławnego meteorytu.

Otwarciu wystawy towarzyszyła sesja z kilkoma referatami. Potem ukazała się jeszcze książka „ Meteoryt Pułtusk — największy deszcz meteorytów kamiennych” pod redakcją Jadwigi Białej.

Obecnie, 145 lat po spadku, muzeum, oprócz pomieszczeń w ratuszowej wieży, dysponuje kamienicą przy Rynku, w której są dwie ładne sale wystawowe. Mogło zatem pokusić się o organizację wystawy prezentującej nie tylko plansze, ale również okazy meteorytów. Jest to wystawa „Wokół meteorytu Pułtusk”. Jej organizator to, oprócz Muzeum Regionalnego w Pułtusku reprezentowanego przez Panią Dyrektor Annę Henrykowską, Polskie Towarzystwo Meteorytowe. Jego członkowie: Jadwiga Biała i Tomasz Jakubowski opracowali plansze, natomiast okazy meteorytów pochodzą z kolekcji Tomasza Jakubowskiego, Jan Woreczko & Wadi Meteorites Collection oraz Muzeum Regionalnego w Pułtusku. Ozdobą wystawy są trzy duże banery ze zdjęciami meteorytów: Tagish Lake, Sikhote Alin i Bassikounou.

Tytuł wystawy „Wokół meteorytu Pułtusk” sugeruje, że eksponowany jest na niej nie tylko meteoryt Pułtusk wraz z informacjami o jego spadku, pochodzeniu i badaniach, ale że są też okazy innych meteorytów oraz ogólne informacje o meteorytach, ich genezie, klasyfikacji i wynikach badań.

Na wystawie najwięcej jest chondrytów zwyczajnych typu H, podobnych do Pułtuska: Bassikounou, Thuathe, Tamdakht, Juancheng, NWA 6843, NWA 7694, Chergach oraz Gao-Guenie i Jilin. Pułtusk jest największym liczebnie deszczem meteorytów kamiennych na świecie, natomiast spadły w Chinach deszcz Jilin zawiera największą bryłę meteorytu kamiennego o wadze około 1,7 tony. Rozsypane w gablocie kilkadziesiąt różnej wielkości okazów meteorytu Gao-Guenie przypomina o znanym kamiennym deszczu w Afryce, podobnym do deszczu pułtuskiego. W celu uwypuklenia cech chondrytów typu H na wystawie jest dla porównania chondryt L: NWA 5929.

Na wystawie znajdują się również meteoryty żelazno-kamienne, pallasyty: Huckitta i Seymchan oraz żelazne: Canyon Diablo, Gebel Kamil, Henbury, Morasko i Jankowo Dolne.

Szczególnym zainteresowaniem zwiedzających cieszy się meteoryt z deszczu Morasko z powodu nagłośnienia w mediach znalezienia przez Magdalenę Skirzewską i Łukasza Smułę, wielkiego okazu z tego deszczu, ważącego po oczyszczeniu 261 kg.

Wystawa eksponowana będzie do 15 września 2013 r., co stwarza możliwości obejrzenia jej zarówno mieszkańcom Pułtuska, jak i odwiedzającym to miasto turystom. Miarą dotychczasowego zainteresowania wystawą było liczne grono osób uczestniczących w prelekcjach i pokazach nieba przygotowanych w ramach Nocy Muzeów 18 maja zatytułowanych „Przygoda z astronomią”. Nawet burza, która przeszła nad Pułtuskiem, nie zdołała zniechęcić zainteresowanych uczestnictwem w tej przygodzie.

Spadające gwiazdy w Guciowie

Kazimierz Mazurek

Dwa istotne wydarzenia spinają klamrą ponaddziesięcioletnią obecność Guciowa w historii polskiej meteorytyki. Pierwsze — to założenie tu, wiosną 2002 roku, Polskiego Towarzystwa Meteorytowego. Drugie — to niemal dokładnie 11 lat później otwarcie w niedzielę 28 kwietnia tego roku stałej wystawy meteorytów w zabytkowym spichlerzu, ustawionym w Zagrodzie Guciów przez Annę i Stanisława Jachymków.

Według Stacha, stary, pochodzący z 1762 r. drewniany obiekt, przez bardzo wiele ostatnich lat patrzył w niebo swym otwartym, pozbawionym dachu, wnętrzem . Chłonął widok nieba i gwiazd, może i tych spadających, więc gdy udzielił gościny Jachymkowej kolekcji meteorytów, spełniło się wieloletnie marzenie gospodarzy Guciowa. Przez lata Stanisław zgromadził ładną reprezentację najciekawszych spadków i znalezisk. Umożliwiła ona powstanie wystawy meteorytów na Roztoczu, w miejscu położonym w połowie drogi między uniwersyteckimi ośrodkami Lublina i Rzeszowa. To pierwsza w południowo-wschodniej Polsce, a nie licząc wystawy w Olsztynie, pierwsza stała wystawa meteorytów na wschód od Wisły i mimo wszystko — jedna z nielicznych publicznych kolekcji w kraju.

Okazy umieszczono w siedmiu gablotach, wykonanych ze starych desek, opartych o wiekowe, grube bale ze śladami korników. Na wprost wejścia największy okaz, ważący 88 kilogramów Campo del Cielo, który każdy może dotknąć. Pozostałe meteoryty i eksponaty są za szkłem.

W gablocie z meteorytami kamiennymi, wśród chondrytów zwyczajnych widzimy Tamdakht, Chergach, Juancheng, Zegdou, Gao-Geunie, El Hammami, węglisty Allende i enstatytowy NWA4561. Nad nimi ustawiono piękną kopię orientowanego meteorytu Middlesbrough. Obok kilka achondrytów, w tym eukryty Millbillillie i sporych rozmiarów NWA 2690, howardyt NWA 2698 oraz aubryt Norton County.

Meteoryty polskie, w odrębnej gablocie, to 34-kilogramowe Morasko, z ładnym, trawionym oknem z widoczną strukturą i dużymi inkluzjami, poniżej którego na drewnianych podstawkach umieszczono fragment Baszkówki, trzy niewielkie płytki Łowicza, płytkę trawioną Moraska, a także płytkę Pułtuska wraz z medalem.

Nadzwyczaj dobrze prezentowane są meteoryty żelazne i żelazno-kamienne. Zobaczyć tu można przedstawicieli największych, znaczących spadków, jak Gibeon, Canyon Diablo, Campo del Cielo, Henbury, Gebel Kamil, Toluca oraz kilka całych okazów i ponad trzydzieści szrapneli Sikhote-Alina. Mezosyderyty i pallasyty to Vaca Muerta, Imilac, Esquel, Glorieta Mountain, Seymchan, Brahin. Wystawę uzupełniają unikaty w osobnej gablocie, czyli meteoryt roztoczański Zakłodzie z kilkoma tekstami, meteoryt marsjański NWA 6963 oraz mały okaz — zapewne najbardziej spektakularnego spadku ostatnich lat — meteorytu Chelyabinsk. Zwiedzający mogą zobaczyć również inne rodzaje kosmicznej materii, w tym liczne tektyty indochinity, szkła Pustyni Libijskiej oraz wełtawity. Impaktyty reprezentuje suevit z krateru Ries. Jedną z gablot poświęcono Polskiemu Towarzystwu Meteorytowemu i właścicielowi kolekcji. Na belkowych ścianach umieszczono plansze, rysunki, mapę polskich spadków i znalezisk, poster poświęcony badaniom grafitowych struktur w meteorycie Zakłodzie oraz… artystyczną wizję chondry, łączącej w swym wnętrzu materię nieożywioną i ożywioną, autorstwa Andrzeja Pęksyka.

Oglądając wystawę bardzo wielu zwiedzających jest kompletnie zaskoczonych obcowaniem z nieziemską materią, niespodzianie, w tak niezwykłym miejscu. Dzięki pasji Stanisława i wsparciu Anny powstał kolejny obiekt w ich niezwykłej, roztoczańskiej konstelacji.

A mnie, gdy z żalem opuszczałem Guciów, przyszedł do głowy kolejny guciowski limeryk, dedykowany Ani i Stachowi:

Na Roztoczu, w Jachymkowym świecie,
Gdzie czas, przyroda i życie się plecie,
Mieliśmy gościnę, radość i uciechę,
Bo tu meteoryty trafiły pod strzechę.
A Guciów to magiczne miejsce
we Wszechświecie.

Deszcz Chelyabinska w Ensisheim

Kazimierz Mazurek

Nie mogło być inaczej. W Ensisheim 2013 r. najliczniej reprezentowanym, wystawionym na wielu stołach meteorytem był Chelyabinsk — chyba najbardziej spektakularny spadek meteorytu ostatnich dziesięcioleci. Dla wielu wystawców była to poważna konkurencja, bo urozmaicona oferta tego meteorytu dawała możliwość wydania „paru euro" licznym zwiedzającym. Były jednak też inne, godne podziwu, okazy.

Jeszcze niewiele dni przed rozpoczęciem XIV Giełdy Meteorytowej w Ensisheim nie było do końca wiadomo, gdzie się ona odbędzie. W Ensisheim owszem, ale nie w Pałacu Regencji, tylko w Foyer Saint-Martin, położonym nad rzeką, niedaleko wprawdzie placu i pałacu, może i wygodnym, za to kompletnie pozbawionym charakteru i uroku. Na szczęście tak się nie stało i zabytkowe, piękne wnętrze Pałacu Regencji gościło kilkudziesięciu wystawców z ich skarbami. W piątkowy wieczór 21 czerwca 2013 r. odbyła się coroczna, tradycyjna uroczystość przyjęcia w skład Bractwa Strażników Meteorytu Ensisheim sześciorga nowych członków. Przyjęte zostały dwie panie: Dorothy Norton i Vinciane Debaille — badaczka antarktycznych meteorytów z Uniwersytetu w Brukseli oraz panowie: Marc Jost ze Szwajcarii, Peter Dickman, Serge Walter i Werner Keller. Ponieważ organizatorzy nie przewidzieli w tym roku występów miejscowych zespołów taneczno-muzycznych, można było poświęcić cały wieczór na rozmowy przy winie i piwie, czasami w ich tle mając silne i rytmiczne dźwięki bębenków, na których pod arkadami pałacu grali Marokańczycy. Niektórzy, z upływem czasu, wyraźnie rozochoceni winem, chętnie przeobrażali się w tancerzy. Tu jak zwykle nie do pobicia byli Rosjanie z Sergiejem Afanasjewem na czele.

A od sobotniego poranka gieeełdaaaa! Tuż przy wejściu, na dzień dobry, Winogradow i jego Chelyabinsk — od małych okazów, po ponadkilogramowy, zresztą największy na giełdzie. Przy nich spore okazy brekcji z krateru Zhamanshin. Obok na stole zestawy pocztówek z Chelyabinskiem z wyraźnie przesadzoną ceną 12 euro za komplet. Na innych stołach z tymże meteorytem — nakładki magnetyczne „na lodówkę", pudełeczka z tłoczoną nazwą na wieczku u Michaiła Ivanova z Litwy, medal z fragmentem okazu u Mike'a Farmera, breloki itp. Chelyabinsk sprzedawali ci, którzy w Ensisheim czy Monachium są co roku, ale i ci, których widziałem na pewno pierwszy raz i być może także ostatni. To jednak dawało możliwość negocjowania cen, których rozpiętość była znaczna — od 8 do 40 euro za gram. Ceny były różne, ale jakość oraz wygląd okazów także. Meteoryt Chelyabinsk, to wiele okazów spójnych, jednorodnych, kanciastych, wyglądających jak wiele świeżych meteorytów, takich jak Bassikounou, Tamdakht, Kosice, Oum Dreiga. Leżały często obok siebie, więc można było dostrzec ich znaczne zewnętrzne podobieństwo mimo różnych typów. Na Chelyabinskach widoczna jest jednak często wspaniała, błyszcząca skorupa obtopieniowa. Na wielu okazach skorupa jest wyraźnie spieniona, nierzadko widoczne są bąble pogazowe. Zakupiłem m.in. ponad 8-gramowy okaz, wielkości sporej fasoli, który cały wygląda jak kropla spienionej materii. Wiele okazów było wyraźnie orientowanych. Chelyabinsk jest meteorytem o zróżnicowanej budowie. Oprócz jednorodnych znaleźć można było bez trudu *impact melt* brekcje — kilku-, kilkudziesięcio- i ponaddwustugramowe. Na nich dopiero się działo — różne formy skorupy pierwotnej i wtórnej, na niej zastygłe, spływające strużki, interesujące przełamy. Przyznam, że dla mnie te właśnie były najciekawsze. Ich wygląd znacznie różnił się od tych przytoczonych wcześniej, a cenę można było, nie dając zbyt szybko za wygraną, uzyskać bardzo rozsądną przy sporej wielkości okazu. Pewnie jako żart — pudełko leżało wśród „normalnych" okazów — można było potraktować wystawienie przez Mike'a Farmera niewielkiego pudełka z kawałkiem szkła 3×1 cm, z informacją, iż jest to „broken glass from Chelyabinsk building". Cena 10 euro.

Niniejszy tekst nie jest relacją opisującą wszystkie stoiska czy też zdarzenia związane z giełdą. Subiektywnie, ale i z konieczności przedstawię tylko kilka wyróżniających się. Z pewnością oba polskie stoły warte były uwagi. Marcin Cimała przedstawił przebogatą ofertę meteorytów rzadkich typów — wszelkich achondrytów, a jeśli chondrytów to węglistych czy enstatytowych. Powodzeniem cieszyły się kopie chondrytu Middlesbrough. Jedną z nich kupił Steve Arnold. Jego też, jednak dopiero po pewnym czasie, zainteresowała wystawiona obok, na stoisku Łukasza Smuły i Magdy Skirzewskiej, fantastyczna kopia naszego największego… Moraska, to oczywiste. Wielu zwiedzających patrzyło z lekkim niedowierzaniem na położoną na bardzo eleganckiej, przeszklonej i delikatnej gablocie bryłę 261 kg Moraska. Piękna kopia była niewątpliwym fotograficznym hitem. Sprzedawane na obu stoiskach dwujęzyczne książki o Morasku były bardzo dobrą reklamą i częściową ilustracją tego, co dzieje się w polskiej meteorytyce. W tejże gablocie elegancko prezentowane były też m.in. meteoryty księżycowe Dhofar 1627 i 733, całe okazy i płytki, podobnie liczne i piękne okazy Koszyc.

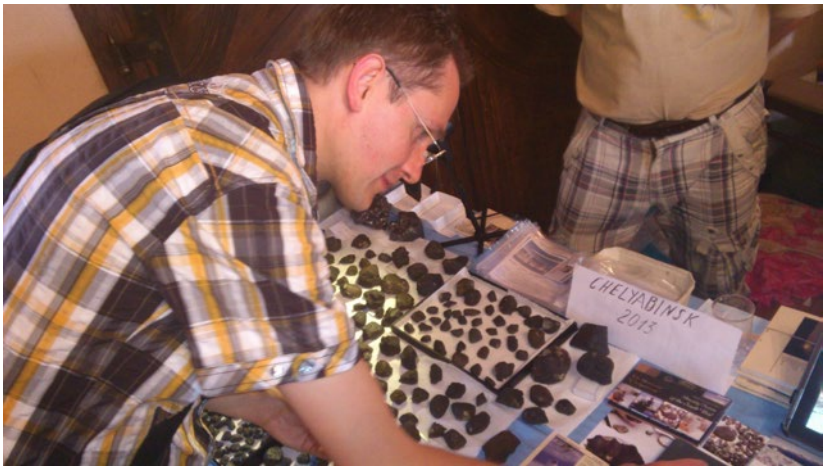
Naprzeciw, na bogato urządzonym stoisku Andreasa Otta znaleźć można było, oprócz drooogiej biżuterii z me-

teorytami, piękne płyty oraz fragmenty różnych wielkości pallasytu Jepara z Jawy. Znaleziony w 2008 r. ma TKW liczące 499,5 kg. Po sąsiedzku stał wspomniany już Mike Farmer z dużą płytą hiszpańskiej Zaragozy — oktaedrytu IVA, znalezionego w 1950 r., i z wieloma innymi, jak zwykle ciekawymi okazami. Obok Greg Hupe imponująco prezentował lunara NWA 5000. Wielka, wspaniała płyta meteorytu została umieszczona w quasi-barokowej, srebrnej, owalnej ramie. Przyznam, że ten sposób jej prezentacji nie wzbudził we mnie zachwytu, ale to już kwestia indywidualnych odczuć.

Nieco dalej, na stoisku Stefana Ralewa, można było uzupełnić swoją kolekcję o niezwykły meteoryt NWA 7325 — niezgrupowany achondryt z sugestią, że jest to pierwszy meteoryt pochodzący z Merkurego. Należało jednak sięgać głęboko do kieszeni, bo cena była wysoka. Jednak po drugiej stronie przejścia, w sekcji szwajcarskiej, u Marca Josta tenże meteoryt, prezentowany jako „like NWA 7325" był dostępny za jedyne 600 € „per gram". Spróbowałem przy zakupie niewielkiej płytki zejść z tej ceny i udało się. Giełda to giełda — należy się targować. Sąsiadem Josta był Peter Marmet — u niego unikaty, niewielkie fragmenty historycznych spadków, wśród nich hiszpański chondryt H4 Sena, który przybył na Ziemię 17 listopada 1773 r. W tej największej sali pałacu wystawiali się jeszcze m.in. Laurent Jaworski, Pierre-Marie Pele z Fabienem Kuntzem i Marie Gerbet pokazując na stoisku Tunisian Explorers Trio tunezyjski meteoryt Beni m'Hira i piękne okazy Tatahoiune, Philippe Thomas z przepięknymi wełtawitami, Gregor Pacer z parogramowym, nie budzącym żadnych wątpliwości, okazem meteorytu Białystok, Hans Koser, Sigi Haberer, Luc Labenne, Moritz Karl, Uwe Eger… uff, a tu jeszcze Ali Hmani i inni Marokańczycy. Nie sposób nie odnotować skromnego, niewielkiego stoiska ulokowanego w przejściu pomiędzy salami, na którym pogodna, uśmiechnięta i zawsze skłonna do konwersacji Anne Black prezentowała liczne płytki cienkie, a także… a jakże… kilka okazów Chelyabinska.

W tym roku, oprócz zawsze obecnych na giełdzie Niemców, Francuzów, Arabów, Włochów, Polaków,

Deszcz Chelyabinska.



Tomek Kurtz szuka ciekawego okazu Chelyabinska.

Największy, pokazany okaz Chelyabinska — ponad 1 kg.

Mars i Merkury.

Belgów, Szwajcarów, Amerykanów z północy i południa, Rosjan itd. była obecna silna grupa naukowców i kolekcjonerów z Hiszpanii z dr. Jordi Llorca z Barcelona Technical University oraz Davidem Allepuzem i Jose Vicente Casado — autorami prezentowanej na kilku stoiskach nowej, hiszpańskiej książki „Meteoritas". Przez sale giełdy przewinęło się wiele ciekawych osób, wartych spotkania czy poznania, w tym m.in. Roger Warin i John Kashuba, prof. Jurgen Otto, Dieter Heinlein czy też Zelimir Gabelica — prezentujący w kilku gablotach swoją meteorytową ofertę. W niej dostrzegłem, niegdyś należącą do mnie, a potem do Farmera, płyteczkę Zakłodzia o wadze 0,9 g i cenie 115 €. Interesujących okazów, nie zawsze leżących na stołach, a pokazywanych „na życzenie" było więcej. Steve Arnold co jakiś czas wyjmował ze swych bagaży jakąś ciekawostkę, wśród nich sporą płytę Gibeona z fantastycznie zdeformowaną od uderzenia strukturą czy niewielki fragment (ale za to jak przygotowany do sprzedaży!) meteorytu Archie ze spadku obserwowanego z Minnesoty. Kapitalny okaz pustynnego żelaznego meteorytu, o wadze ok. 3 kg, pokazał Zbyszek Tymiński. Każdy spoglądający na ten okaz uważał, że widzi klasyczny przykład chondrytu. Także Svend Buhl, wziąwszy go do ręki, nie krył zdumienia — to przecież żelazo, a ma kształt meteorytu kamiennego.

Co jeszcze? Wspomniana wcześniej dr Vinciane Debaille oraz prof. Lefebvre z Uniwersytetu w Liège dzielili się swą wiedzą o meteorytach antarktycznych i ich poszukiwaniach podczas sobotnich wykładów dla uczestników giełdy. Należało zajrzeć też do muzeum, by obejrzeć wystawę antarktycznych okazów.

Ponadto…, ponadto warto by jeszcze przekazać wiele innych spostrzeżeń, ale jedno nasuwa się oczywiste — warto pojechać na następną, piętnastą już giełdę meteorytów do Ensisheim. Internet internetem, ale bezpośredniego obcowania z kosmiczną materią i jej amatorami nic nie zastąpi.

Kazimierz Mazurek jest kolekcjonerem meteorytów i członkiem Bractwa Strażników Meteorytu Ensisheim.

Nowi członkowie Bractwa.

Greg Hupe i jego księżyc NWA 5000.

Stoisko Magdy i Łukasza.

Marcin Cimała i Luc Labenne przygotowują ciekawą transakcję.