

METEORYT

Nr 4 (68)

Grudzień 2008

ISSN 1642-588X

W numerze:

- gdy kamienie spadały jak deszcz
- obtoczone tektyty
- grupowe poszukiwania meteorytów
- minerały i szklivo w płytce cienkiej
- relacja ze spadku meteorytu Bassikounou
- korytarz z meteorytami
- jak Ty możesz wywołać kosmiczny szok



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 prenu-
merata wynosi w 2009 roku 44 zł.
Zainteresowanych prosimy o wpła-
cenie tej kwoty na konto wydawcy
nie zapominając o podaniu czytel-
nego imienia, nazwiska i adresu do
wysyłki. Wydawca dysponuje także
numerami archiwalnymi.

Większość publikowanych arty-
kułów jest tłumaczona z kwartalnika
METEORITE za zgodą jego wy-
dawcy, który zachowuje prawa do
tych artykułów.

Redaguje i tłumaczy większość
tekstów:

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

Skład: Jacek Drażkowski

Druk: Jan, Lidzbark Warmiński

Od redaktora:

O. Richard Norton, bez którego trudno sobie wyobrazić Meteorite, a zatem i Meteoryt, postanowił odpocząć także od pisania dla miłośników meteorytów i przejść całkowicie na emeryturę, trzeba przyznać, że w pełni zasłużoną. W tym numerze ukazuje się jego ostatni artykuł z serii Centerpiece, a od następnego numeru tę serię przejmie nowa ekipa autorów. Zapraszam do przeczytania podziękowań dla Richarda i dołączam się do nich. Muszę przyznać, że tytuł listu Joela Schiffa należałoby przetłumaczyć jako „Hołd dla Richarda i Dorothy Norton”, co wydało mi się w polskim brzmieniu zbyt pompatyczne, ale chyba jednak uzasadnione.

Artykuł o deszczu meteorytów Bassikounou został podzielony w Meteorite na dwa numery, ale uznałem, że lepiej przedstawić go w całości, chociaż w tej postaci jest trochę przydługi. Miłym akcentem artykułu jest podziękowanie dla Tomasza Jakubowskiego, któremu udało się zdobyć ładne okazy tego meteorytu, pokazane na okładce, i który pomagał autorom zebrać informacje o znanych mu okazach.

Muszę się przyznać, że niektóre artykuły dobieram po znajomości. Dona McColla miałem przyjemność poznać osobiście na targach w Monachium i odtąd z większym zainteresowaniem śledzę, co pisze o tektytach. Jego artykuły odpowiadały już na wiele pytań, które zadawałem sobie patrząc na różne dziwne kształty tektytów. Tym razem opisuje przypadek rzadko spotykany, ale niemniej interesujący.

Ruben Garcia zwrócił moją uwagę, gdy grzebałem w Internecie szukając materiału do nowego seansu w planetarium i natrafiłem na wiele filmików o meteorytach przygotowanych przez niego. Jego relacja przypomina opowieści o polowaniach, które organizowano bardziej w celach towarzyskich, niż z potrzeby zdobycia żywności. Jakoś trudno mi wyobrazić sobie takie spotkanie na Morasku, gdzie każdy poszukiwacz patrzy zezem na konkurencję, ale może się mylę...

Polecam także artykuł Dave Gheeslinga, jako sugestię, co powinni robić kolekcjonerzy ze swymi zbiorami, zwłaszcza gdy zapisują się do towarzystwa meteorytowego. A może robią, tylko jakoś nikt nie pisze o tym do Meteorytu?

Olsztyńskie Planetarium namawia do kontynuowania prenumeraty prosząc o wpłaty do końca marca 2009. Warunki identyczne jak w roku 2008, a szczegóły widnieją w ramce obok.

Meteority spadają... Udało mi się wrzucić trochę informacji o deszczu meteorytów w Kanadzie, a tuż przez zamknięciem numeru dostałem wiadomość, że meteoryt spadł w Rumunii.

Przypominam, że nadchodzący rok będzie Międzynarodowym Rokiem Astronomii, a meteority, to też astronomia, mimo że niektórzy astronomowie mają co do tego wątpliwości. Życzę na Nowy Rok podobnego zapалу do popularyzowania wiedzy o meteorytach, jakim emanuje Dave.

Andrzej S. Pilski



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

METEORITE

THE INTERNATIONAL QUARTERLY OF METEORITES
AND METEORITE SCIENCE

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

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

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



Bassikounou 2049 g. Fot. Tomasz Jakubowski

Na okładce:

Prawa część powyższego meteorytu i u dołu okaz ważący 1123 g.
Fot. Tomasz Jakubowski

Od redaktorów *Meteorite*

Przed dziesięciu laty, w sierpniowym wydaniu *Meteorite* z 1998 r., ukazał się na rozkładówce pierwszy artykuł Richarda Nortona z serii *Centerpiece*. W ciągu tych dziesięciu lat pojawiło się także wiele wspaniałych rysunków Dorothy Norton. Chcemy przekazać nasze osobiste podziękowania dla Richarda i Dorothy nie tylko za ich znakomity wkład, ale również za wsparcie i zachętę gdy przejmowaliśmy role redaktorów. Zapraszamy do przeczytania wyrazów wdzięczności dla Richarda i Dorothy od emerytowanego redaktora Joela Schiffa.

Larry i Nancy



Podziękowanie dla Richarda i Dorothy Norton

W pierwszych latach istnienia kwartalnika *Meteorite* jednym z najważniejszych problemów było znalezienie odpowiednich autorów. Nie było to łatwe zadanie, ale już do pierwszego numeru Richard Norton dostarczył uprzejmie świetny artykuł „Meteoryty — odłamki starego, planetoidalnego bloku”, a także przysłał w prezencie dla mnie egzemplarz świeżo wydanej książki *Rocks from Space*, którą osobiście zrecenzowałem. Odtąd Richard był jednym z głównych autorów i zawodziliśmy mu znaczną część sukcesu tego kwartalnika.

Richard pisze centralne artykuły od wydania z sierpnia 1998 r. Zawsze są one interesujące z mnóstwem informacji i stanowią główny element kwartalnika. Razem z żoną Dorothy Richard dostarczał także co roku relacje z targów meteorytowych w Tucson. Ta matka meteorytowych targów tradycyjnie jest doskonałym miejscem do spotkań wszelkiego rodzaju meteorytowych sprzedawców, kupujących i miłośników meteorytów z całego świata. Wydawało się oczywiście, że Richard i Dorothy znają każdego z nich z osobna, co sprawiło, że moja pierwsza wycieczka na targi w Tucson w 1996 r. była zachwycająca. Najuprzejmiej przedstawili mnie wszystkim swym meteorytowym przyjaciółom i to środowisko szybko mnie zaakceptowało.

Co więcej, Nortonowie mieli dom w Tucson i miałem przywilej zamieszkiwania u nich przez całe targi. Tak więc wieczorem, po całym dniu rozmów o meteorytach z tuzinami dealerów, wracaliśmy do domu i dyskutowaliśmy o meteorytach jeszcze przez parę godzin. Cudowną cechą Dorothy jest to, że może ona mówić o meteorytach bez przerwy z najlepszymi, co z pewnością czyni ją idealną żoną. Tak więc podczas mej pierwszej wycieczki do Tucson czułem się jakbym umarł i znalazł się w raju, głównie dzięki łaskawości Richarda i Dorothy Norton.

Dzięki naszym ścisłym kontaktom, którym sprzyjał nieustanny dopływ artykułów i rysunków do *Meteorite*, staliśmy się z Nortonami bliskimi przyjaciółmi i kilkakrotnie odwiedzałem ich w Bend, w Oregonie. Oczywiście aby dostać się do Bend, trzeba wziąć coś, co moja siostra nazywa „puddle jumper” — mały samolocik, którego pilot obserwuje mijane samoloty przez okna lawirując między nimi. Mimo ryzyka spadnięcia na ziemię jak meteoryt, te wizyty były tak ciepłe i serdeczne, że wcale nie miałem ochoty stamtąd wyjeżdżać. Richard oczywiście miał najwspanialszą kolekcję meteorytów, z których wiele kupiła mu w prezencie Dorothy, co było kolejną cechą doskonałej żony.

Podczas drugiej wycieczki na targi w Tucson Richard pokazał mi zarys

swego magnum opus, które w końcu zostało opublikowane jako *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. Byłem doprawdy zaszczycony, gdy poprosił mnie o przeczytanie manuskryptu i zrobienie poprawek lub uwag. Ten piękny tom o meteorytach okazał się wielkim sukcesem i do dziś lepiej się sprzedaje niż jakiegokolwiek z mych własnych dzieł o matematyce. Nieustannie sięgam do tej książki i stała się ona nieodzownym źródłem wiedzy dla kolekcjonerów meteorytów.

Jakby wkład Richarda do meteorytowej społeczności nie był już wystarczający, Richard ukończył właśnie trzecią książkę o meteorytach, którą napisał wspólnie ze swym przyjacielem, Larry Chitwoodem. Jestem pewien, że ta książka, zatytułowana *Field Guide of Meteorites*, która ukazała się w czerwcu 2008 r., będzie kolejnym pożądanym dodatkiem do antologii dzieł Nortona u każdego kolekcjonera meteorytów.

Na koniec pozwólcie mi skorzystać z tej okazji, by publicznie podziękować i Richardowi i jego żonie Dorothy za to wszystko, co robili dla meteorytowego środowiska przez tak wiele lat, za znakomite książki, które wytworzyli, i za niezmierne wzbogacenie naszego życia.

Joel Schiff

Emerytowany redaktor *Meteorite*

Gdy kamienie spadały jak deszcz: Ostatnie ciężkie bombardowanie

David A. Minton

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 14 No. 3. Copyright © 2008 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Wyobraź sobie, że jesteś poszukiwaczem meteorytów podróżującym w czasie. Stoisz na brzegu małej, wulkanicznej wyspy pośrodku rozległego oceanu. Dziwnie niebieskawe słońce świeci przez atmosferę pozbawioną tlenu. Sucha ziemia wokół ciebie jest całkowicie pozbawiona życia, a całodzienne poszukiwania dostarczyły już wielu meteorytów. Zapada noc i niebo rozjaśnia się najbardziej nieprawdopodobnym deszczem meteorów, jaki kiedykolwiek widziałeś. Liczne bolidy przecinają niebo i wydaje się, że nocne powietrze trzeszczy. Księżyc po pełni ukazuje się na wschodzie ogromny i niemal nierozpoznawalny. Wiele znanych ciemnych plam księżycowych mórz zupełnie nie istnieje, a na nocnej stronie jest kilkanaście plam, które słabo świecą ciemnoczerwono. Nagle horyzont zaczyna się żarzyć. Ziemia silnie drży. Szukasz ratunku w maszynie czasu, gdy fala uderzeniowa przetacza się przez wyspę niosąc za sobą ścianę bardzo gorącego powietrza, pary wodnej i odparowanych skał. W drugą stronę globu uderzyła góra skały o szerokości 50 kilometrów, pozostawiając pod chmurami pary z odparowanego oceanu basen o średnicy ponad 1000 kilometrów.

Witamy w okresie ostatniego ciężkiego bombardowania

Ostatnie ciężkie bombardowanie (Late Heavy Bombardment) czyli LHB, wyznacza sam koniec ziemskiej ery ha-deicznej. Era ta rozpoczęła się oficjalnie około 4,5 miliarda lat temu, zaraz po gigantycznym zderzeniu, które utworzyło Księżyc, i skończyła się około 3,8 miliarda lat temu. LHB było nagłym i stosunkowo krótkim okresem intensywnego bombardowania meteorytami, który pozostawił większość kraterów, jakie widzimy dziś w zrytkach kraterami krajobrazach Merkurego, Marsa, i Księżyca.

Hipoteza „Końcowego kataklizmu

księżycowego”, jak początkowo nazywano LHB, została po raz pierwszy opublikowana przez naukowców z „lunatycznego azylu” Politechniki kalifornijskiej, laboratorium Wydziału Geologii i Nauk o Planetach, które zajmowało się datowaniem skał przywiezionych z Księżyca przez wyprawy Apollo. Odkryli oni zastanawiające grupowanie się wieku większości skał między 3,8 do 4 miliardów lat i stwierdzili, że skały starsze niż 4 miliardy lat są niezmiernie rzadkie. Wynika z tego, że Księżyc doznał krótkiego i katastrofalnego wzrostu intensywności uderzeń meteorytów około 4 miliardów lat temu, co mogło wyzerować izotopowy wiek skał. Istniał jeden duży problem z tą hipotezą kataklizmu. Nikt nie znał odpowiedniego mechanizmu składowania gdzieś na orbicie dużej populacji ciał przez setki milionów lat po narodzinach Układu

Słonecznego, by nagle spuścić je na Księżyc. William Hartmann z Instytutu Nauk o Planetach w Tucson, w Arizonie, przedstawił inną hipotezę. W 1975 r. zaproponował on, że z obserwowanego grupowania się wieku skał księżycowych nie wynika nagły, katastrofalny wzrost procesów kraterotwórczych, lecz że to, co obserwujemy, jest końcem jeszcze bardziej gwałtownej epoki bombardowania obejmującej wstecz cały okres aż do powstania Księżyca. Rzadkość skał księżycowych starszych niż 4 miliardy lat przypisywał temu, co nazywał efektem „muru”. Oznacza to, że przed 4 miliardami lat bombardowanie Księżyca było tak silne, że nie pozostał żaden ślad skał z tamtego okresu. Z efektu muru wynika, że formowanie się Układu Słonecznego trwało kilkaset milionów lat, i nasze próby zbadania historii Księżyca i pla-

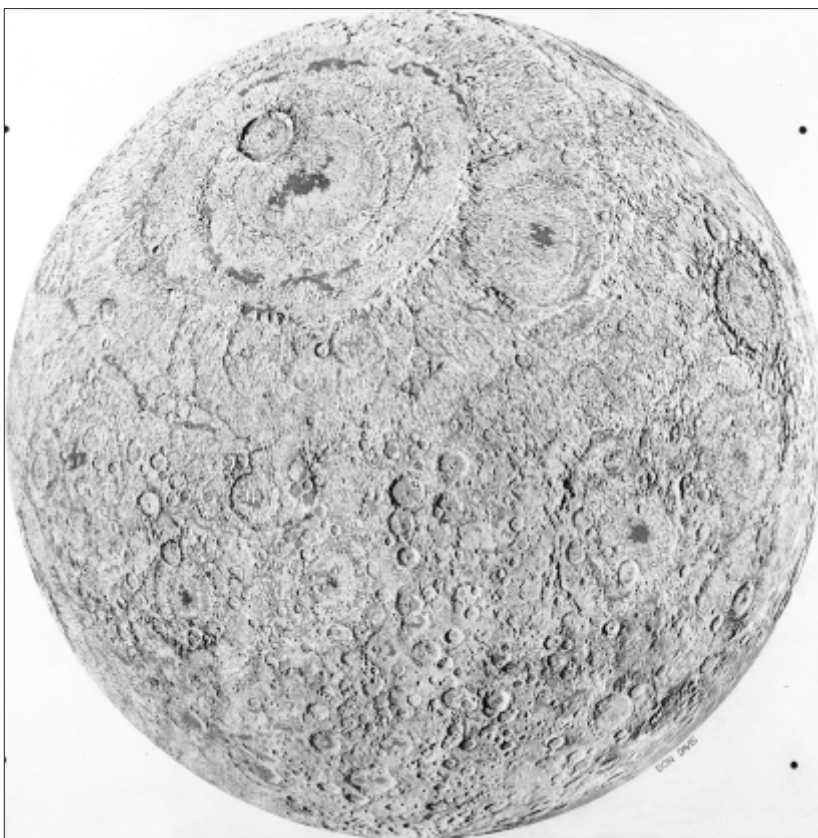


Fig. 1. Artystyczna koncepcja Księżyca zaraz po zakończeniu LHB, 3,8 miliarda lat temu. Wszystkie kratery widoczne na tym obrazie powstały podczas LHB, włącznie z rozległym, wielopięściennym basenem Morza Deszczów, widocznym u góry z lewej. Ilustrację przygotował Don Davis.

net przed 4 miliardami lat natrafia nieuchronnie na „mur”, którego nie można przebić.

Hipoteza, że LHB było po prostu końcem długiego okresu bombardowania przez pozostałości z akrecji planet, ma konsekwencje dla geologicznej i biologicznej historii Ziemi, a także Księżyca. Najwcześniejszą geologiczną erą Ziemi jest hadeik. Aż do niedawna nie wiadomo o tym okresie prawie nic poza tym, że skończył się około 3,8 miliarda lat temu. Nazwa ery hadeicznej wywodzi się od greckiego słowa oznaczającego piekło. Jeśli Układ Słoneczny był wciąż w trakcie sprzątanego gruzów pozostałych po akrecji planet, to ta nazwa jest dobrze dobrana. Przez kolejne 700 milionów lat po uformowaniu się Księżyca Ziemia była atakowana przez ulewny deszcz skał. Góra za górą była ciskana w Ziemię sprawiając, że jej powierzchnia była tak gorąca, że oceany nie były w stanie opaść w postaci deszczu z wypełnionej parą atmosfery. Życie miałoby ciężki czas startując w takich warunkach. Hipoteza, że LHB było ostatnim etapem planetarnej akrecji, została preferowanym modelem dla młodego układu słonecznego, chociaż niektórzy ją krytykowali. Wśród nich był Graham Ryder z Lunar and Planetary Institute w Houston, w Teksasie. Dowodził on, że zderzenia są bardzo mało wydajne jeśli chodzi o resetowanie systemów izotopowych i dlatego efekt muru nie jest wystarczającym wyjaśnieniem braku skał starszych niż 4 miliardy lat.

Inne dowody przeciw temu, że LHB było końcem trwającej 700 milionów lat akrecji planet, zaczęły pojawiać się w różnych miejscach. W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX w. gwałtowny postęp w możliwościach obliczeniowych komputerów pozwolił teoretykom na lepsze badanie narodzin planet. Symulacje komputerowe sugerowały, że proces formowania planet był stosunkowo szybki, trwający zaledwie 50 milionów lat. Ten stosunkowo krótki okres akrecji został potwierdzony analizami izotopów w skałach płaszcza Ziemi. Z krótkiego okresu formowania planet wynika, że po sześciuset czy siedmiuset milionach lat nie mogło być wystarczająco dużo pozostałego gruzu, by wytłumaczyć obserwowany przedział czasowy i natężenie LHB. Jeśli stale zmniejszająca się populacja pozostałości po akrecji nie

może wytłumaczyć LHB, to trzeba ponownie rozważyć hipotezę kataklizmu. Ta hipoteza jedna wciąż cierpią na brak odpowiedniego mechanizmu.

W latach dziewięćdziesiątych XX w. zaczęły gromadzić się dowody, które w końcu miały wesprzeć oryginalną, księżycową hipotezę kataklizmu, i pochodziły one z jednego z najbardziej nieprawdopodobnych miejsc: z Plutona. Renu Malhotra, także z Lunar and Planetary Institute w Houston, badała dynamikę osobliwej orbity Plutona i jej związek z orbitą Neptuna. Orbita Plutona jest znacznie bardziej eliptyczna niż orbity większości dużych ciał w Układzie Słonecznym. Ponadto Pluton i Neptun znajdują się w rezonansie 3:2; to znaczy Neptun okrąża Słońce trzy razy w tym samym czasie gdy Pluton okrąża Słońce dwa razy. Renu zaproponowała, że najlepszym wytłumaczeniem obecnej konfiguracji Plutona i Neptuna byłoby to, że oba te ciała powstały bliżej Słońca, a potem Neptun zaczął się oddalać. W trakcie swej wędrówki Neptun mógł schwytać na orbity rezonansowe wiele lodowych obiektów, włącznie z Plutonem, i zabrać je ze sobą. Ta koncepcja została potwierdzona, gdy odkryto wiele obiektów z pasa Kuipera zarówno w rezonansie 3:2 jak i 2:1 z Neptunem.

Co jednak spowodowało oddalenie się Neptuna? Odpowiedź na to pytanie rozwiązała też inną zagadkę dotyczącą zewnętrznej części Układu Słonecznego. Pluton należy do pasa Kuipera, pierścienia lodowych obiektów, który jest prawdopodobnym źródłem komet krótkookresowych. Modele akrecji Plutona i innych dużych obiektów pasa Kuipera sugerują, że pas Kuipera zawierał początkowo znacznie więcej masy niż

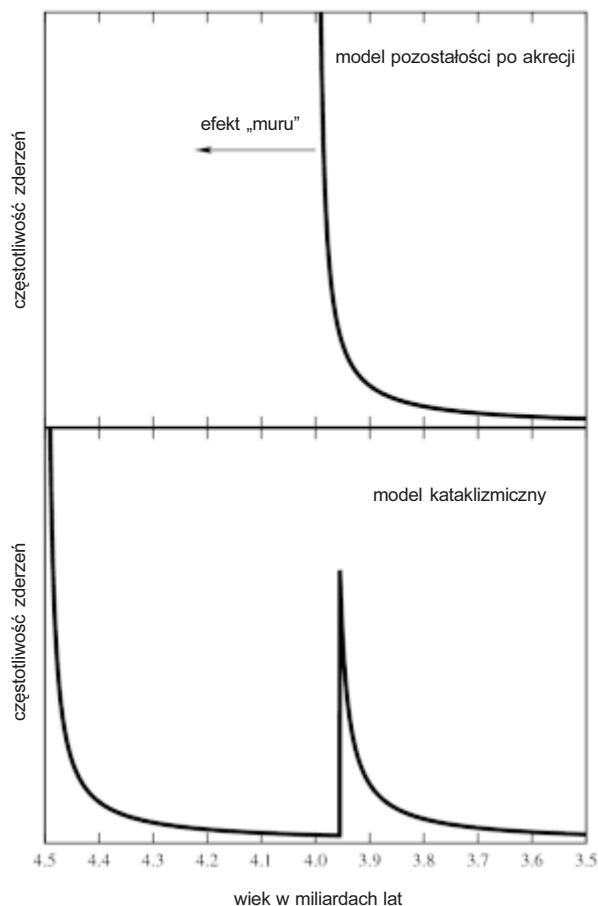


Fig. 2. Porównanie częstotliwości zderzeń z ciałami w wewnętrznej części Układu Słonecznego w modelach LHB: pozostałości po akrecji i kataklizmicznym. Obraz jest tylko schematyczny, ponieważ dokładny moment, czas trwania i natężenie LHB są wciąż przedmiotem dyskusji.

obecnie. Zarówno migrację Neptuna jak i brak masy w pasie Kuipera można wytłumaczyć jednym i tym samym procesem. Obiekty z bardziej masywnego, pierwotnego pasa Kuipera przelatywały od czasu do czasu blisko Neptuna. Za każdym razem, gdy mały obiekt z pasa Kuipera zbliżał się do Neptuna, następowała wymiana pędu. Podczas takiego spotkania orbita Neptuna zmieniała się nieznacznie, natomiast orbita obiektu z pasa Kuipera zmieniała się bardzo silnie. Często taki niesforny obiekt pasa Kuipera był wyrzucany w stronę Słońca i zbliżał się do innych dużych planet. Po bardzo dużej liczbie bliskich spotkań z planetami drobne zmiany orbit każdej z czterech wielkich planet dały w sumie ich znaczne przemieszczenie, a większość masy pierwotnego pasa Kuipera została rozproszona. W wyniku przemieszczania się Jowisza i Saturna ich oddziaływanie grawitacyjne zmieniało orbity planetoid w głównym pasie i wysyłało wiele planetoid po wydłużonych orbitach do wewnętrznej części Układu Słonecznego. Naukowcy znaleźli w końcu możliwości do przyjęcia mechanizm dla LHB.

Chociaż dowód na migrację wielkich planet rozwiązuje problem znalezienia mechanizmu dla LHB, to nie mówi nic o zakresie czasowym tego zjawiska. Jeśli migracja wielkich planet jest przyczyną LHB, to dlaczego te planety czekały ponad 500 milionów lat, by rozpocząć migrację? Na to pytanie nie ma jeszcze pełnej odpowiedzi. Zaproponowano jednak kilka możliwych scenariuszy. Jeden z nich mówi, że dwa lodowe olbrzymy, Uran i Neptun, potrzebowały po prostu znacznie więcej czasu, niż inne planety, by się uformować. Mogło to być spowodowane mniejszymi prędkościami orbitalnymi planetozymali i znacznie większą objętością przestrzeni w zewnętrznej części Układu Słonecznego. Zgodnie z tym scenariuszem akrecja Urana i Neptuna przebiegała powoli przez kilkadziesiąt milionów lat, aż stały się one wystarczająco duże, by oddziaływać grawitacyjnie na pas Kuipera i rozpocząć proces migracji.

Innym scenariuszem, który cieszy się dużym zainteresowaniem od chwili zaproponowania w roku 2005, jest tak zwany „model nicejski”, nazwany tak od francuskiego miasta Nicea, gdzie mieści się Observatoire de la Côte d’Azur (Obserwatorium Lazurowego Wybrzeża — przyp. tłum.), w którym pracowało wtedy wielu z naukowców, którzy pierwsi zaproponowali ten model. W modelu nicejskim wszystkie cztery wielkie planety uformowały się znacznie bliżej siebie, niż są dziś. Pierwotny pas Kuipera oddziaływał z nimi słabo, powodując bardzo powolną migrację przez pierwsze kilkadziesiąt milionów lat. W końcu w wyniku migracji Jowisza i Saturna weszły one w rezonans orbitalny ze sobą. Spowodowało to, że orbity wszystkich wielkich planet stały się bardziej eliptyczne, a orbita Neptuna zaczęła wchodzić głębiej w pas Kuipera, prowadząc do reakcji łańcuchowej rozpraszania pasa Kuipera i przyspieszania migracji wielkich planet. Doprowadziło to w końcu do sytuacji, że pas Kuipera jest pozbawiony większości swej masy, a Układ Słoneczny ma konfigurację, jaką obecnie obserwujemy.

Pojawił się także dowód zmieniający obraz hadeicznej Ziemi, jako planety narażonej na nieustanne bombardowanie meteoroidami. Dowód ten pochodzi z małych kryształków bardzo twardego minerału o nazwie cyrkon.

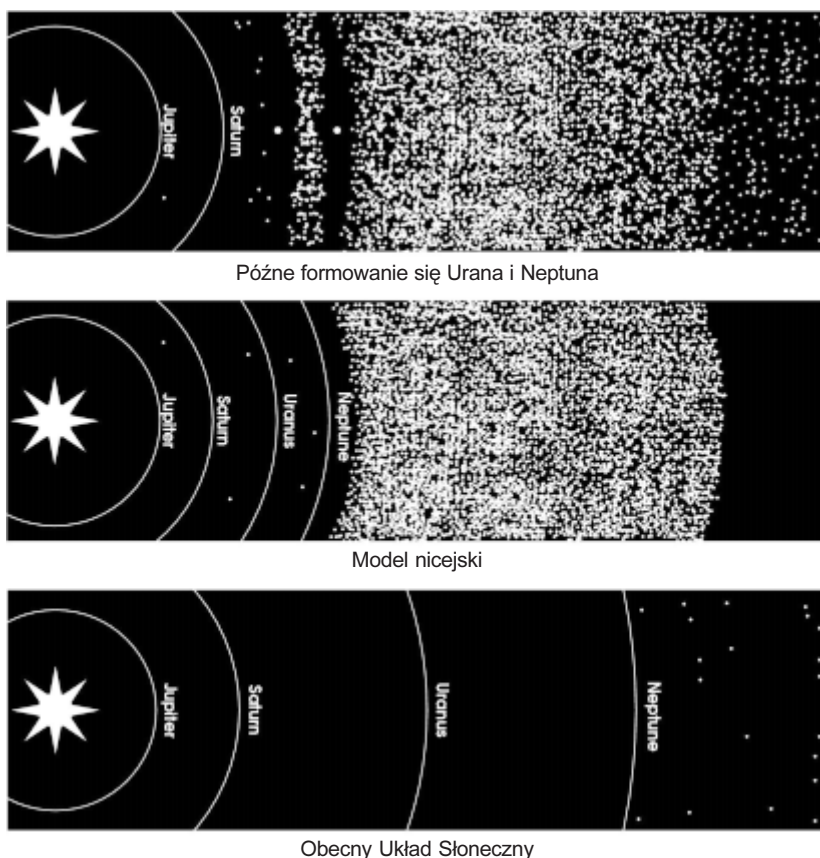


Fig. 3. Porównanie dwóch modeli struktury Układu Słonecznego tuż przed LHB i obecnego Układu Słonecznego. Na górnej ilustracji zarodki Urana i Neptuna zaczynają właśnie perturbować masywny, pierwotny pas Kuipera. Na środkowym obrazie Jowisz i Saturn są bardzo blisko rezonansu średniego ruchu.

Kryształy cyrkonu są jednym z najstarszych minerałów spotykanych na Ziemi i mogą przetrwać większość procesów geologicznych, które powodują wyzerowanie radioizotopowych zegarów większości skał. Pierwiastki śladowe w niektórych najstarszych cyrkonach dotąd odnalezionych pokazują, że już 4,4 miliarda lat temu Ziemia mogła mieć płynne oceany i pierwsze kontynenty. Jeśli ta interpretacja jest prawidłowa, to hadeiczna Ziemia nie musiała być wcale tak piekielna.

Meteority także odgrywają istotną rolę w tej opowieści o naszym rozumieniu LHB. Księżycowe meteority są przypadkowymi próbkami z powierzchni księżyca, które uzupełniają próbki z widocznej strony Księżyca z Apolla i radzieckiej Łuny. Barbara Cohen i jej koledzy, wtedy z Uniwersytetu Arizyńskiego w Tucson, pokazali, że kilka meteorytów księżycowych zachowało dowody wielokrotnych zderzeń, i że wszystkie te zderzenia były młodsze niż 4 miliardy lat. Meteority HED, o których sądzi się, że pochodzą z planetoidy głównego pasa, Westy, także nie mają śladów zderzeń występujących dawniej niż 4 miliardy lat temu,

pomimo faktu, że wiele z nich zachowało dowody pierwotnej krystalizacji około 4,5 miliarda lat temu, kiedy uważa się, że powstawała skorupa Westy. Marsjański meteoryt ALH84001 ma wiek zresetowany przez zderzenie akurat około 4 miliardów lat temu, z grubszą zgodne z LHB, ale potrzeba więcej próbek starej, marsjańskiej skorupy, by stwierdzić, czy nie jest to tylko przypadkowa zbieżność.

Zaczynamy dopiero rozumieć LHB i wiele pytań pozostaje bez odpowiedzi. W planach NASA powrotu na Księżyc znajduje się także pobieranie próbek z basenu bieguna południowego-Aitkena, największego i prawdopodobnie najstarszego basenu uderzeniowego na Księżycu. Basen ten może reprezentować „pierwszy strzał” LHB i zbadanie tego regionu Księżyca może dostarczyć więcej informacji na temat — między innymi — momentu, czasu trwania i natężenia LHB. Przyszłe odkrycia meteorytów z Księżyca i Marsa, a być może z innych planet, będą niewątpliwie cennym uzupełnieniem historii LHB. Był to wyjątkowy okres w historii Układu Słonecznego, kiedy wydarzenia daleko w odległym królestwie Plutona kształ-

towały historię Ziemi. Był to czas, kiedy na nasz młody glob kamienie spadały z nieba jak deszcz.

E-mail: daminton@lpl.arizona.edu

Bibliografia

- Bottke, W. F., Levison, H. F., Nesvorný, D., and Dones, L. 2007. Can planetesimals left over from terrestrial planet formation produce the lunar Late Heavy Bombardment? *Icarus* 190: 203–223.
- Chapman, C. R., Cohen, B. A., and Grinspoon, D. H. 2007. What are the real constraints on the existence and magnitude of the late heavy bombardment? *Icarus* 189: 233–245.
- Cohen, B. A., Swindle, T. D., and Kring, D. A. 2000. Support for the lunar cataclysm hypothesis from lunar meteorite impact melt ages. *Science* 290: 1754–1756.
- Gomes, R., Levison, H. F., Tsiganis, K., and Morbidelli, A. 2005. Origin of the cataclysmic Late Heavy Bombardment period of the terrestrial planets. *Nature* 435:466–469.
- Harrison, T. M., Blichert-Toft, J., Müller, W., Albarede, F., Holden, P., and Mojzsis, S. J. 2005. Heterogeneous Hadean hafnium: evidence of continental crust at 4.4 to 4.5 Ga. *Science* 310:1947–1950.
- Hartmann, W. K. 1975. Lunar „cataclysm” — a misconception. *Icarus* 24:181–187.
- Malhotra, R. 1993. The origin of Pluto’s peculiar orbit. *Nature* 365:819–821.
- Mojzsis, S. J., Harrison, T. M., and Pidgeon, R. T. 2001. Oxygen-isotope evidence from ancient zircons for liquid water at the Earth’s surface 4,300 Myr ago. *Nature* 409:178–181.
- Ryder, G. 1990. Lunar samples, lunar accretion and the early bombardment of the moon. *EOS Transactions* 71: 313,322,323.
- Strom, R. G., Malhotra, R., Ito, T., Yoshida, F., Kring, D. A. 2005. The origin of planetary impactors in the inner solar system. *Science* 309: 1847–1850.
- Tera, F., Papanastassiou, D. A., Wasserburg, G. J. 1974. Isotopic evidence for a terminal lunar cataclysm. *Earth and Planetary Science Letters* 22:1–21.



David Minton kończy studia w Lunar and Planetary Laboratory Uniwersytetu Arizoańskiego. Bada dynamikę orbit i próbuje określić przedział czasowy trwania LHB. [Uwaga redaktora Meteorite: Już po dostarczeniu tego artykułu David otrzymał w 2008 r. nagrodę Kuipera. Nagrodę otrzymują najlepsi studenci Uniwersytetu Arizoańskiego w dziedzinie nauk o planetach za osiągnięcia w nauce i pracy badawczej.]

DM

Obtoczone tektyty

Don McColl

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 14 No. 3. Copyright © 2008 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Wśród licznych australijskich tektytów z aerodynamicznymi utworami, ukształtowanymi w czasie lotu podczas spadania z kosmosu, jest niewielka ale dość wyjątkowa grupa okazów, które obracały się podczas spadania. Wiemy wszyscy po strasliwym wypadku, jaki spotkał wahadłowiec Columbia, że atmosferyczna ablacja jest bardzo gwałtownym procesem, który traktuje każdy obiekt spadający z kosmosu rzeczywiście bardzo brutalnie. Australijskie tektyty, z których tak wiele ma wspaniale zachowane aerodynamiczne kształty, przypominają nam, że około trzech czwartych miliona lat temu jakoś zdołały one przetrwać gwałtowne i często dość brutalne, ogniste pogrążanie się w atmosferze, które pozostawiło na nich swe ślady.

Dość umiarkowany i suchy klimat Australii, wraz z piaszczystym składem australijskich gleb, zapewniły środowisko, w którym ładnie ukształtowane tektyty często bardzo dobrze zachowały się przez te wiele tysięcy lat, które

minęły od ich spadku. Wśród lepiej ukształtowanych i zachowanych okazów, które znaleziono, jest trochę takich, na których są różne ślady mówiące o tym, jak wyglądało ich ogniste spadanie. Najbardziej znana, klasyczna forma, tak bardzo obecnie poszukiwana przez kolekcjonerów, to oczywi-

ście guzik z kołnierzem, który wytworzył się z początkowo kulistego, pierwotnego kształtu. Gdy taki tektyt wpadał w atmosferę, początkowe ogrzewanie czołowej powierzchni wytwarzało z przodu warstwę stopionego i silnie rozgrzanego krzemionkowego szkliwa, które szybko spływało do tyłu



Fot. 1. Czołowa powierzchnia tektytu w kształcie łódki z równin Lake Torrens, z widocznymi pozostałościami końcowych fal stopionego szkła, oraz fal zbiegających się ku zagiętym czubkom na obu końcach. Fot. David Tiller.

ku brzegom, gdzie część jego była zdmuchiwana. W miarę hamowania tektytu temperatura spadała i ku brzegom tektytu przemieszczała się seria koncentrycznych fal stopionego szkła o coraz większej lepkości. Na brzegu w końcu przestawały one być odrzucające i zaczynały zawijać się tworząc szklaną obwódkę nazywaną teraz kołnierzem (McColl and Heinen, 2005). Szczególną cechą guzika z kołnierzem jest to, że chociaż był on początkowo kulisty, gdy tylko wszedł w atmosferę, jego orientacja dość szybko się stabilizowała, tak że ablacja i utrata stopionego szkła następowały wyłącznie na czołowej powierzchni, dając czas na wytworzenie się stosunkowo dużego kołnierza.

Jeśli obiekt wpadający w atmosferę ma kształt nieregularny, niesymetryczny, jak większość meteorytów, jego



Fot. 2. Tylna powierzchnia tektytu w kształcie łódki z równin Lake Torrens, z widocznymi pozostałościami fal stopionego szkła, delikatną strukturę kołnierza na brzegu i wygięte czubki na obu końcach. Fot. David Tiller.

orientacja nie ustabilizuje się tak łatwo podczas lotu. Będzie on koziółkował i wirował czasem w dość gwałtowny sposób. Meteoryty traktowane w taki

sposób mogą rozpadać się na kawałki, co było także tragicznym losem statku kosmicznego Columbia. Meteoryty mają przeważnie bardzo nieregularne kształty i konsekwentnie koziółkują podczas lotu, tak że nawet gdy początkowo rozpadną się na kilka kawałków, to cała powierzchnia tych fragmentów zwykle znów pokryje się skorupą. Bardzo mało meteorytów ma kształt, który pozwala im łatwo ustabilizować orientację, i one w końcu spadają zwrócone w jednym kierunku.

Pierwotny kształt obtoczonych tektytów

Wydaje się, że większość okazów tektytów wykazujących oznaki, że obtaczali się one podczas spadania przez atmosferę, miała pierwotnie wydłużone kształty. Najczęściej spotykane są kształty walcowate, przypominające łódkę, które pierwotnie miały półkuliste końce — może coś podobnego do krótkiego serdelka. Niektóre miały być może bardziej jajowaty kształt, czyli wyglądały bardziej jak jajo, ale o symetrycznych końcach. Te kształty wyraźnie wytworzyły się z rozgrzanych do białości kul stopionego, tektytowego szkła wyrzucanych nagle w przestrzeń kosmiczną o zerowej grawitacji. W tej sytuacji przy stygnięciu na kształt miało wpływ tylko napięcie powierzchniowe ciekłego szkła plus siła odśrodkowa, jeśli obiekt wirował. Wiele tektytów widocznie wirowało w ten sposób, niektóre bardziej, niektóre mniej, o czym świadczy obfitość kształtów takich jak owale, łódki, handle i łyż, spotykanych we wszystkich australijskich zbiorach tektytów.

Okaz pokazany na Fot. 1 i 2 jest wyraźnie przykładem takiego tektytu.



Fot. 3. Dwie strony pękniętego, walcowatego tektytu. Łuszczenie się szkła wzdłuż strefy naprężenia aerotermicznego odsłoniło centralną strefę, która nie była ogrzana podczas ablacji. Na oryginalnej powierzchni można zobaczyć fale topnienia ablacyjnego oraz czubek na nie odlupanym końcu. Jasno zabarwione plamy, to ziarenka piasku w wytrawionych szczelinach po termicznym kurczeniu się. Okaz znalazł na równinach Lake Eyre Emil Grund w 1974 r.

Autor znalazł go w 2003 r. na zerodowanym, piaszczystym wzgórku na równinach między wschodnim brzegiem Lake Torrens a górami Flindersa w Australii Południowej. Okaz jest dość mały, 38 mm długości, 15 mm szerokości, i waży nieco ponad 10 g. Przed wejściem w atmosferę musiał mieć walcowaty kształt z półkulistymi końcami. Być może był w ostatnim stadium przed zwężeniem środka i wytworzeniem kształtu hantli. Gdy wpadł w atmosferę, był już zimny i zestalony i ustawił się poprzecznie do kierunku lotu. Z jakiegoś powodu zaczął obracać się wokół długiej osi. To spowodowało oddziaływanie ablacji na całą powierzchnię tektytu i pokrycie jej falami stopionego szkła, które chociaż pofalowane, były ogólnie prawie równoległe do długiej osi. Stopione szkło z tych fal miało tendencję do gromadzenia się na końcach tworząc czubki na półkulistych powierzchniach. W pewnym momencie podczas lotu tektyt ustabilizował się i obracanie się zostało przerwane. Tektyt wciąż spadał z dość dużą prędkością i kolejne fale stopionego szkła tworzyły teraz mały kołnierz na brzegu. Jednocześnie gorące szkliwo tworzące czubki na obu końcach było jeszcze dostatecznie plastyczne, by odgiąć się ku tyłowi podkreślając wyraźniej podobieństwo kształtu tektytu do łódki. Rysunek niżej jest próbą pokazania kolejnych etapów ablacji, które ukształtowały ten tektyt.

Zdjęcia na fot. 3 ukazują obie strony rozlupanego, walcowatego tektytu, które ilustrują trochę takiej samej ablacyjnej historii, z może jednym czy dwoma dodatkowymi, kontrastującymi utworami. Ten tektyt prawdopodobnie nie był tak wydłużony, jak okaz już opisany. Widoczna jest końcowa powierzchnia podobnie pokryta ablacyjnymi falami szkła i także uformował się

czubek na końcu. Ten tektyt nie ustabilizował się w trakcie lotu, ale wciąż obracał się, póki jego prędkość nie zmalała tak, że ablacyjne ogrzewanie się skończyło. Po wylądowaniu na ogrzanej powierzchni pojawił się wzór pęknięć, przypuszczalnie spowodowanych kurczeniem się wskutek oziębienia, a w którymś momencie cały tektyt pękł w poprzek. Późniejsza ziemská historia pozbawiła go niektórych, wcześniej ogrzanych części i wytrawiła pęknięcia wywołane kurczeniem, pozostawiając ziarna piasku w już szerszych szczelinach. Ogrzana ablacyjnie warstwa ma tylko cztery do pięciu milimetrów grubości. Ponieważ szkło tektytu nie przewodzi dobrze ciepła, to jest ostra granica między zewnętrznym szkłem, które było ogrzane przez ablację, a wewnętrznym rdzeniem tektytu, który pozostawał zimny podczas lotu. Ta granica między ogrzonym i nie ogrzonym szkłem jest nazywana strefą naprężenia aerotermicznego i rzadko jest widoczna tak wyraźnie, jak w tym okazy, gdzie wewnętrzny rdzeń wystaje z pomarszczonej ablacyjnie i ogrzanej zewnętrznej części tektytu. Ten tektyt z czasem może rozpadać się wzdłuż tej strefy wewnętrznego naprężenia, tak że powierzchniowe fragmenty ogrzanego szkła będą się łuszczyć i pozostanie z grubsza walcowaty rdzeń.

Wnioski

Tylko na kilku australijskich tektytach widać na całej powierzchni fale po ablacyjnym stopieniu, co wskazuje, że obracały się one podczas spadania. Powód zapoczątkowania ruchu wirowego podczas wejścia w atmosferę nie jest znany. Podczas obracania się miało miejsce gwałtowne ogrzewanie całej powierzchni póki okaz albo nie został wyhamowany, albo nie ustabilizował się tak, że obracanie się zakończyło. W tym dru-

gim przypadku tylko czołowa powierzchnia tektytu była nadal ogrzewana i ze stopionego szkła tworzyło się coś w rodzaju kołnierza na brzegu. Takie kształty tektytów nie są powszechne, ale w większości populacji tektytów z Australii znajduje się kilka o takich niezwykłych kształtach, które wskazują ich historię spadania poprzez wzór fal ablacyjnych. Takie kształty były często niezauważane w większości starszych publikacji na temat tektytów.

Podziękowanie

Na szczególną wdzięczność zasłużyli Barbara i Darryl Fells z Motpena Pastoral Station na równinie Lake Torrens, którzy przez lata, przy różnych okazjach, gościli autora i jego żonę w swej sielskiej posiadłości.

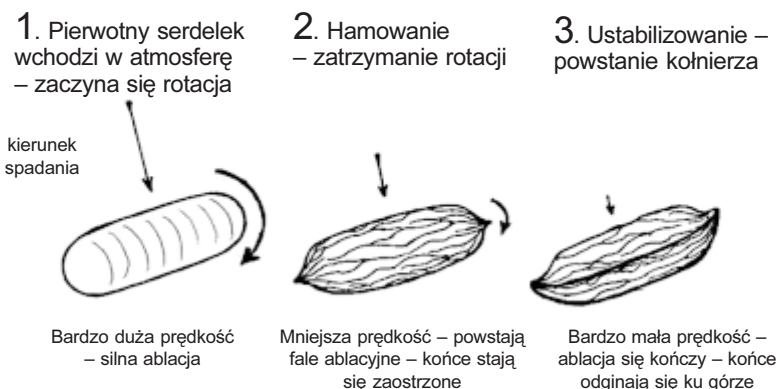
Bibliografia

McColl, D., and Heinen, G. 2005. Ablation and Mini-Tektites. *Meteorite* 11(1):38–41.

E-mail: redcentre@chariot.net.au



Don McColl jest emerytowanym geologiem, który ukończył Uniwersytet w Melbourne na początku lat sześćdziesiątych. Będąc tam jadł czasem lunch ze starszym już wtedy George Bakerem, który bardziej niż ktokolwiek rozumiał sens lotu australijskich tektytów wykazując, że naddźwiękowy lot przez atmosferę jest powodem ich wyjątkowych kołnierzy i pierścieniowych fal. Jego entuzjazm do problemów tektytów przeniósł się na Dona, który kontynuował odtąd starania o lepsze zrozumienie wspaniałych tektytów z okęgu Port Campbell w południowo-zachodniej Wiktorii. Don i jego żona Lois, osobiście znaleźli ponad 5000 tektytów podróżując po większości znanych obszarów rozrzutu tektytów we wszystkich częściach Australii.



Próba pokazania etapów efektów ablacyjnych, które kształtowały tektyt.

MM

Grupowe poszukiwanie meteorytów — Franconia

Ruben Garcia

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 14 No. 3. Copyright © 2008 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Gęsty obłok pyłu znaczył trasę mojego Jeepa po krętej, gruntowej drodze prowadzącej do obozu poszukiwaczy meteorytów na Franconii. Wraz z moim synem, Benjaminem, nie mogliśmy doczekać się spotkania z grupą poszukiwaczy, którzy już zjechali się i prowadzili poszukiwania przynajmniej od jednego czy dwóch dni. Ben był podniecony, bo były to jego pierwsze, oficjalne poszukiwania meteorytów. W dojrzałym wieku dziewięciu lat był on już spóźniony. Moja córka Stephanie — w wieku ośmiu lat — towarzyszyła mi w pierwszej wyprawie na poszukiwanie meteorytów w Gold Basin prawie dziesięć lat temu. Nawet młodszy brat Bena, Nick, pomagał mi znaleźć meteoryt w Holbrook, w zeszłym roku.

Nerwowe podniecenie Benjaminu sprawiło, że uświadomiłem sobie, że też jestem podniecony, ale z innego powodu. Nie odwiedzałem obszaru rozrzutu Franconia od 2004 roku i nie mogłem nie być ciekaw, jak mogło się zmienić poszukiwanie na tym terenie. Wtedy Mike Miller i ja przeszukiwaliśmy spokojnie północną stronę wiele miesięcy przedtem, zanim większość ludzi w ogóle usłyszała o meteorytach Franconia. Był to czas, kiedy znajdowanie do trzech kilogramów meteorytów dziennie — żelaznych, fragmentów i całych okazów — nie było rzadkością. Słyszałem, że teraz trochę trudniej natknąć się na meteoryt i faktycznie trafiają się one dość rzadko.

Franconia nie jest typowym obszarem rozrzutu, co stało się oczywiste dla Mike'a i dla mnie już po jednym czy dwóch dniach poszukiwań. Niemal od razu zaczęliśmy znajdować okazy meteorytów żelaznych obok chondrytów zwyczajnych. Gdy oglądaliśmy te okazy przez lupę, wydawało się dla nas oczywiste, że są to meteoryty — co do dziś jest wciąż badane. Nie jest tajemnicą, że teren Franconii dostarcza wielu różnych typów meteorytów i są tam przynajmniej dwa nakładające się obszary rozrzutu. Nasuwa się pytanie: Ile

jeszcze pasjonujących odkryć na nas czeka?

Ten grudniowy ranek był pogodny, ale rześkie, mroźne powietrze wpadające przez otwarte okno ziębiło mi twarz. Gdy przyglądałem się krajobrazowi Franconii, widziałem, że wygląda tak samo odludnie, jak pamiętałem — rozległa, pustynna powierzchnia jak okiem sięgnąć, ograniczona górami z każdej strony.

Gdy jechaliśmy dalej, blask porannego słońca utrudniał widzenie. Jednak przez przymrużone oczy przy opuszczonych osłonach zdołałem wypatrzeć samochód przed nami, który jechał w naszą stronę. Był to jasnoniebieski Jeep, który zwolnił, gdy się zbliżył. Kierowca opuścił szybę i machnął na nas, by się zatrzymać.

„Cześć, jestem Stan,” powiedział. Potem wskazując na pasażera, powiedział, „To jest Del.”

Przypominając sobie, że Stan i Del, to ci dwaj, którzy zorganizowali imprezę, odpowiedziałem, „Cześć, jestem Ruben. Czy jadę w dobrym kierunku?”

„Tak,” powiedział Stan. „Prosto tą drogą, wszyscy się już szykują.” Dodał, „Jedźcie dalej i dołączcie do nich, my zaraz wrócimy.”

Po kilku minutach, około 8:05, Ben i ja zauważyliśmy obozowisko. Byliśmy trochę zaskoczeni widząc, że tak wielu poszukiwaczy stawiało czoła zimnej, arizońskiej nocy i teraz szykowało się — drugi lub trzeci dzień z rzędu — by przeczesywać pustynię w poszukiwaniu niebiańskiego skarbu. Przyjazne machanie, jakim nas przywitano, gdy się zatrzymaliśmy, uświadomiło mi, że mój czarny Jeep z quadem na holu, oraz tablica rejestracyjna z napisem „Meteors,” muszą z daleka zdradzać, że jesteśmy poszukiwaczami meteorytów.

Po krótkim przywitaniu się z Mike Morganem i Paulem Desiletsem — jedynymi poszukiwaczami meteorytów, których tu znałem — zostałem przedstawiony wielu innym, wśród których byli John Wolfe i Jim Smaller. John jest znany z tego, że znalazł pierwszy meteoryt Franconia pod koniec 2002 r., a Jim został czymś w rodzaju eksperta od meteorytów żelaznych Franconii. Uważa on, że wiele fragmentów żelaza znajdujących na tym terenie, jest rzeczywiście meteorytowych i mogą one pochodzić z wnętrza większego chondrytu z Franconii. Jim także przywiózł ze sobą największy i najbardziej kompletny zbiór okazów żelaza z Franco-



Fot. 1. Autor i jego syn, Ben.



Fot. 2. Grupowe zdjęcie na Franconii.

nii, jaki kiedykolwiek widziałem.

Minęła ponad godzina, zanim wypakowaliśmy sprzęt i porozmawialiśmy, ale około 9:15 byliśmy gotowi. Wraz z Benjaminem wyruszyliśmy za karawaną pojazdów kierującą się na północ ku I-40. Przecięliśmy autostradę, a potem wszyscy naraz pognaliśmy przez rozległą, piaszczystą ławicę, aby uniknąć zakopania się. Niestety jest to ławica, którą z najstarszym synem, Rubenem, znamy aż za dobrze. Było to jednak, zanim miałem po swojej stronie doświadczenie i 4 × 4.

Jechaliśmy ze ćwierć mili na wschód wzdłuż torów kolejowych, przecięliśmy je i jechaliśmy dalej. To tu zaparkowaliśmy z Benem Jeepa, wyładowaliśmy quada z przyczepy, i pospieszyliśmy, by dogonić pozostałych.

Ku mojemu zaskoczeniu karawana zatrzymała się w miejscu, które bardzo dobrze znałem. Przed laty, Mike i ja prowadziliśmy poszukiwania w sąsiedztwie i znaleźliśmy wiele kilo meteorytów, więc czułem się umiarkowanie pewny siebie. Wiedząc, że straciliśmy cenny czas na rozmowach, szybko wyregulowałem wykrywacz i wyruszyliśmy z Benem.

Nie trzeba było czekać długo na pierwszy sygnał. Nie było zaskoczeniem, że był to, zbyt pospolity na Franconii „gorący kamień.” Przez następnych kilka minut ja machałem wykrywaczem, a Benjamin kopał. Zazwyczaj chciał pomóc tacie znaleźć

meteoryt. Nie musiał czekać długo. Trudno uwierzyć, ale minęło tylko jeszcze dziesięć minut i znaleźliśmy pierwszy okaz tego dnia. Ten 208 g okaz był zagrzebany pod czterema calami ziemi nie dalej niż 100 stóp od quada. Mój syn był wniebowzięty! Był to pierwszy raz, kiedy rzeczywiście brał udział w znalezieniu meteorytu. Biorąc pod uwagę, jak wiele razy mniejsze grupy poszukiwaczy były na tym terenie, inni poszukiwacze meteorytów mieli prawo się dziwić, że meteoryt tej wielkości wciąż tu był. Po pokazaniu meteorytu kilku nowicuszom, aby wiedzieli, czego szukać, Ben i ja pognaliśmy dalej.

W ciągu następnej godziny przyłączyło się jeszcze więcej poszukiwaczy machających wykrywaczami i gorączkowo próbujących być następną osobą, która natrafi na galaktyczne złoto. Zauważyłem, że wśród nich był początkujący, Jim Shorten, który niestety przywiózł kiepski wykrywacz. Postanowiliśmy z Benem pożyczyć Jimowi mojego White's GMT w nadziei, że znajdzie swój pierwszy, kosmiczny kamień. W końcu przyjechaliśmy nie tylko szukać, ale i dokumentować to wydarzenie.

Prawdę mówiąc ta wyprawa do Franconii była inna niż jakakolwiek



Fot. 3. Del Waterbury robi zdjęcie, a Stan Santiago szuka w tle.

w przeszłości. Po raz pierwszy moim głównym celem nie było znalezienie jak największej liczby meteorytów. W gruncie rzeczy ten wyjazd byłby sukcesem nawet gdybym nie znalazł żadnego. Ten wyjazd na poszukiwania był retrospekcją, bo chciałem spojrzeć wstecz i zobaczyć nie tylko, co zmieniło się na Franconii, ale także kto zmienił się wskutek tego.

Uzbrojeni w cyfrowe kamery video Ben i ja zaczęliśmy wędrować dokoła rozmawiając z poszukiwaczami. Del Waterbury był kolejnym poszukiwaczem, który znalazł nieuchwytny okaz z innego świata na Franconii. Jego 27 g meteoryt był jeszcze w miejscu znalezienia, gdy pojawiliśmy się z Benem. Krótki wywiad z Delem ujawnił, że chociaż było to jego pierwsze znalezisko tego dnia, to znalazł on sześć meteorytów dzień wcześniej. Wśród nich był ciekawy okaz pół żelazny, a pół chondrytowy. Wydaje się, że ten meteoryt potwierdza teorię, że znajdowane fragmenty żelaza mogą istotnie pochodzić z wnętrza większego chondrytu z Franconii. Po zrobieniu zdjęć i nakręceniu Dela, jak z dumą wydobywa swój meteoryt z pustynnej ziemi wyruszyliśmy dalej.



Fot. 4. Znajezisko autora wazące 208 g.

Po chwili usłyszałem słabe wołanie z daleka, „Ruben.” Odwróciłem się i zobaczyłem, jak moi przyjaciele Mike i Paul machają do nas, by przyjść. Wraz z Benem szybko podeszliśmy i spytałem, „Ok, kto znalazł?” Mike odpowiedział, „To Paul.”

Mike i Paul są bardzo dobrymi poszukiwaczami meteorytów i nigdy nie

wątpiłem, że znajdą kilka okazów podczas tej wyprawy. Wazący 72 g okaz Paula był ładny, chociaż nie ucieszył go bardzo, bo obaj znaleźli już znacznie większe. Zawsze skłonny do rywalizacji Mike powiedział, „Chodźmy, teraz moja kolej.”

Jim Smaller jest jednym z najbardziej doświadczonych poszukiwaczy

na Franconii przeczesujących obecnie ten teren. Ma bardzo dużą wiedzę na temat większości rzeczy związanych z meteorytami i dużo czasu poświęca na pomaganie nowym miłośnikom meteorytów. Gdy macha swym wykrywaczem Minelab czy White’a, można być pewnym, że znajdzie coś z kosmosu.

Gdy wraz z Benem przywędrowałem tam, gdzie szukał Jim, zjawiliśmy się akurat w samą porę, by zobaczyć, jak znajduje ładny okaz 20 czy 30 g. Po rozmowie z nim stało się oczywiste, że ma on cały czas oko na ten obszar rozrzutu. Z zaskoczeniem dowiedziałem się, że zna nawet współrzędne przynajmniej jednego z moich najlepszych znalezisk z Franconii, bo powiedział, „Twój



Fot. 5. Orientowany meteoryt Denny’ego z Franconii, 13 kg.

siedmiofuntowy meteoryt był zaraz za tym pagórkem”. Jim jest prawdziwym guru Franconii, jeśli ktoś taki istnieje.

Po lunchu Mike wyrównał rachunek z Paulem znajdując okaz z bardzo ładnymi regmagliptami. „No wreszcie!” Krzyknął, „Przez cały ranek nie wykopałem nic poza pociskami kalibru 30 i 50”.

Około 13:30 zauważyłem, że Stan i Del pochylają się oglądając coś — nieomylny znak, że jeden z nich znalazł meteoryt. Uruchomiłem quada i pojechałem na przełaj tam, gdzie byli. Gdy znalazłem się w zasięgu głosu, zawołałem: „Kto znalazł?”

„Stan the Man,” odpowiedział Del.

„Świetnie, Stan, przynajmniej nie wrócisz z pustymi rękami!” powiedziałem. Stan wyglądał na bardzo odprężonego i oświadczył, że jego następne znalezisko będzie znacznie większe. „Nie znalazłem zbyt wiele”, powiedział, „ale są one zwykle całkiem spore.”

Jest jeden poszukiwacz meteorytów, który ma monopol na duże meteoryty z Franconii. Nazywa się Denny Asher. Denny został poszukiwaczem meteorytów całkiem przypadkowo, bo jego dom, a w istocie cała okolica, jest dokładnie w środku obszaru rozrzutu Franconii. Parę lat temu, wracając do domu po załatwieniu spraw, Denny zobaczył koło domu kilku ludzi z wykrywaczami wyraźnie czegoś szukających. Gdy wypytał ich i dowiedział się, że szukają meteorytów, od razu się tym zainteresował.

Było to trzy lata temu i od tego czasu Denny znalazł trochę ogromnych kamieni z kosmosu. Sądzi jednak, że tylko jeden — pięknie orientowany okaz ważący 13 kg — jest związany z obszarem rozrzutu Franconii. Twierdzi, że pozostałe dwa — 29 kg meteoryt, który rozleciał się przy uderzeniu i 34 kg całkowity okaz — nie są z nim związane.

„Oba zostały znalezione zbyt daleko poza znanym obszarem rozrzutu i wyglądają zupełnie inaczej”, mówi Denny. Tak czy owak Denny znalazł dwa największe chondryty w Arizonie i w ten sposób zapewnił sobie miejsce w gronie najlepszych amerykańskich poszukiwaczy meteorytów.

Około 16:00 zaczęliśmy kierować się Benjaminem z powrotem ku obozowi, ponieważ mieliśmy już zrobione setki zdjęć i kilka godzin wideo. Po



Fot. 6. Paul Desilets, Mike Miller i autor.

drodze natrafiliśmy na Billy’ego i Tiffany Wetzel. Billy prowadził już poszukiwania na Franconii wcześniej, więc nie byliśmy zdziwieni, gdy szybko pokazał dwa skromne znaleziska, które właśnie zrobił. Byliśmy jednak zaskoczeni, gdy dowiedzieliśmy się, że chociaż Tiffany była pierwszy raz, to znalazła meteoryt i była jedynym nowicjuszem, który tego dokonał. Pogratulowaliśmy jej, zrobiliśmy kilka zdjęć i pojechaliśmy dalej.

Ben i ja wjechaliśmy do obozu i wkrótce dołączyło do nas ośmiu czy dziewięciu innych, którzy znaleźli przyzwoitą porcję meteorytów. Rozmawialiśmy, jak minął dzień i porównywaliśmy znaleziska. Mój 208-gramowy okaz był największy tego dnia i Ben pękał z dumy trzymając go podczas grupowego zdjęcia. Później, gdy siedliśmy przy ognisku i rozmawialiśmy, coraz więcej poszukiwaczy wracało z pola.

Przed zapadnięciem zmroku naliczyłem 25 poszukiwaczy meteorytów, którzy uczestniczyli w taki czy inny sposób w tej niezwykle imprezie. Poziom fachowości obejmował całą gamę od profesjonalistów takich jak Robert Ward, do miejscowych, jak John Wolfe i całkiem świeżo upieczonych poszukiwaczy meteorytów jak Tiffany Wetzel.

Gdy obserwowałem wszystkich w miękkiej, pomarańczowej poświacie ogniska, przyszła mi do głowy pewna myśl. Tak wiele zmieniło się od tych pierwszych dni. Najbardziej oczywi-

sta zmiana jest taka, że meteoryty stały się rzadkością, ale poszukiwacze meteorytów nie. Podobnie jak Gold Basin, obszar rozrzutu Franconia zachęcił tak wielu. Większość obecnych poszukiwaczy meteorytów zapewniała, że wróci szlifować swe umiejętności i ciekaw byłam, kto z nich będzie następnym, który odkryje nowy obszar rozrzutu.

E-mail: meteoritemall@yahoo.com

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

MW

Minerały i szkliwo w płytce cienkiej

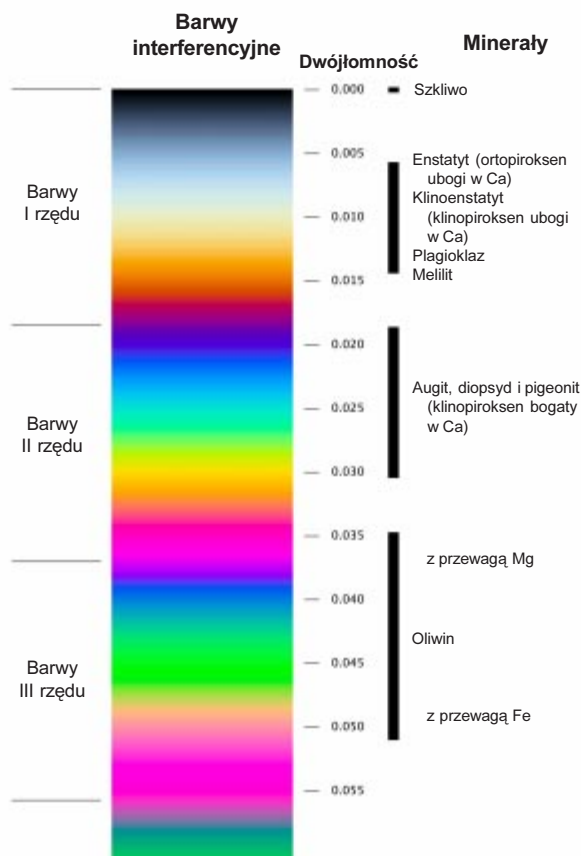
O. Richard Norton

Przedrukowano tu za zgodą Springer Verlag.

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 14 No. 3. Copyright © 2008 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Przez lata pokazywałem czytelnikom liczne przykłady meteorytów widzianych w płytkach cienkich pod mikroskopem petrograficznym. Zwraçałem uwagę zarówno na piękno tych okazów, jak i naukową stronę ich badania. Przyjrzelismy się samemu mikroskopowi i rozważyliśmy, co oznaczają barwy interferencyjne i dwójłomność. Nawet jeśli nie macie takiego wymyślnego mikroskopu, pokazaliśmy jak można oglądać płytkę cienką przy pomocy prostych filtrów polaryzacyjnych i lupy.

W poprzednim numerze postanowiłem zacytować fragment mojej nowej książki *Field Guide to Meteors and Meteorites*, napisanej wspólnie z Lawrence A. Chitwoodem, który opisuje tekstury, jakie powinniśmy zobaczyć, gdy oglądamy płytki cienkie. Tutaj chciałbym zaprezentować nasze wprowadzenie do zagadnienia identyfikowania minerałów w meteorytach przy pomocy barw interferencyjnych.



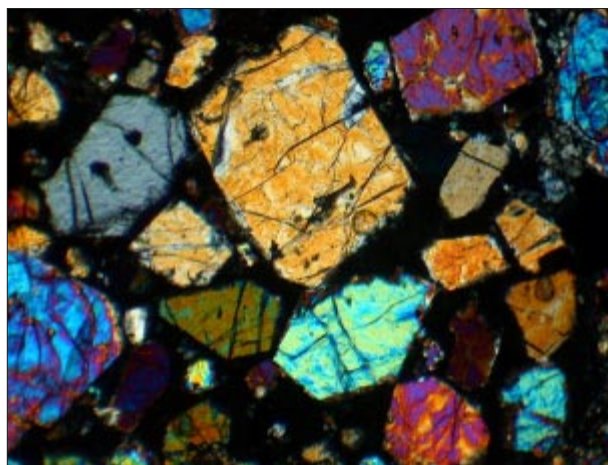
Fot. 1. Diagram barw interferencyjnych dla płytek cienkich o grubości 30 mikrometrów. Gdy mineral jest oglądany przy skrzyżowanych polaroidach, prezentuje barwę interferencyjną odpowiednio do jego pozycji na diagramie. Mineral musi być jednak tak zorientowany, aby jego dwójłomność była największa. Ponieważ orientacja minerałów jest często przypadkowa, barwy interferencyjne mogą być od czarnej (zero dwójłomności) do maksymalnej barwy (największa dwójłomność). Czarne paski reprezentują zakres maksymalnej dwójłomności dla tych minerałów zależnie od zakresu możliwego składu chemicznego. Pierwsze cztery minerały wszystkie mają podobny zakres dwójłomności.

Rozpoznawanie elementów składowych meteorytów

Mikroskop petrograficzny (optyczny mikroskop polaryzacyjny) pozwala nam bezpośrednio zobaczyć wiele z elementów składowych meteorytów. W tej części omówimy minerały, szkliwo, chondry, matriks i CAI (inkluzy wapniowo-glinowe) oraz sposoby ich rozpoznawania.

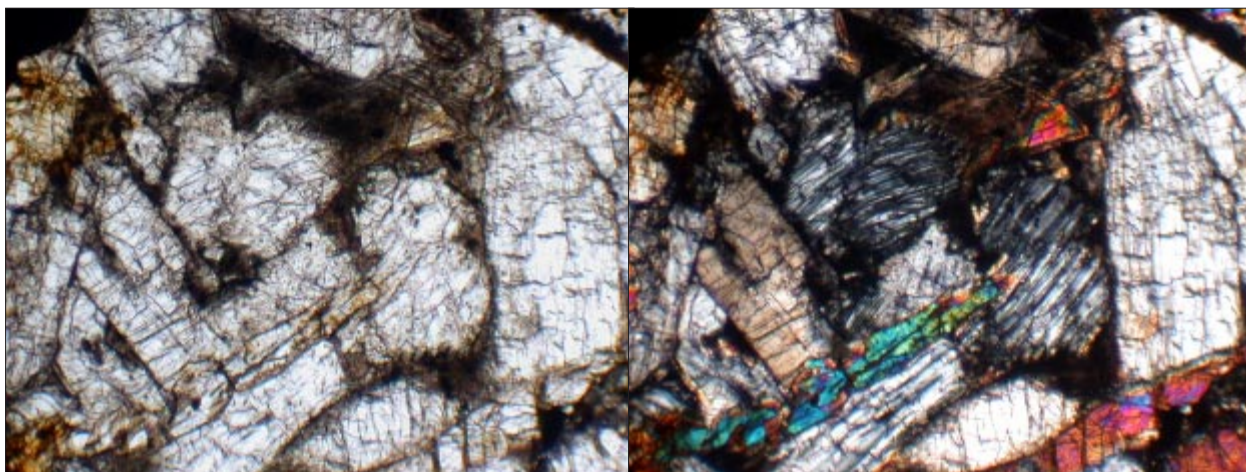
Minerały i szkliwo

Większość minerałów reaguje na światło w specyficzny sposób, co oznacza, że wiele minerałów można zidentyfikować dzięki ich wyjątkowej kombinacji cech optycznych. Przy identyfikacji jest także bardzo przydatna wiedza o postaci kryształów, łupliwości i innych cechach. W płytce cienkiej minerały są zwykle albo przezroczyste albo nieprzezroczyste. Minerały przezroczyste oglądamy w świetle przechodzącym (światło przechodzi przez płytkę cienką). Minerały nieprzezroczyste oglądamy w świetle odbitym (światło odbija się od górnej, wypolerowanej powierzchni płytki cienkiej).



Fot. 2. Oliwin. Te krusze kryształy, wiele z prostoliniowymi brzegami powierzchni kryształu, nie mają łupliwości (ale są splekane) i prezentują zakres barw interferencyjnych pierwszego i drugiego rzędu z powodu ich przypadkowej orientacji. (Jilin, H5)

Oglądane w płytce cienkiej minerały przezroczyste są albo optycznie izotropowe albo anizotropowe. Izotropowe minerały, takie jak granat, spinel i halit (pospolita sól kuchenna) pozostają czarne przy skrzyżowanych polaroidach, gdy obracamy stolik. Te minerały są wysoce symetryczne i mają tylko jeden współczynnik załamania światła. Światło przechodzi przez nie z tą samą prędkością we wszystkich kierunkach. Szkliwo (które nie jest w istocie minerałem) także jest optycznie izotropowe. W anizotropowych minerałach światło rozszczepia się na dwa promienie. Powoduje to powstawanie barw interferencyjnych i okresowe wygaszanie, gdy stolik jest obracany. Anizotropowe minerały dzielimy na jednoosiowe i dwuosiowe. Jednoosiowe minerały (takie



Fot. 3. Klnoenstatyt. Enstatyt i klnoenstatyt wyglądają podobnie i mają szarą barwę pierwszego rzędu przy XP. Można je odróżnić dzięki zbliżnieniu i skośnemu wygaszaniu, występującym tylko w klnoenstatycie. Zbliźniaczenie w klnoenstatycie pojawia się jako równoległe, cienkie, na przemian jasne i ciemne, szare paski widoczne przy XP (prawe zdjęcie) ale nie widoczne przy jednym polaroidzie (lewe zdjęcie). (Parnallee, LL3.6)

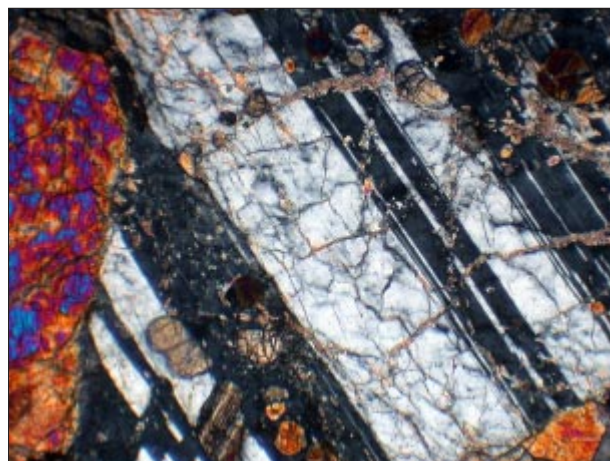
jak kwarc, kalcyt i melilit) mają jedną oś optyczną i dwa współczynniki załamania; to znaczy dwie prędkości światła. Dwuosiowe minerały, najniżej symetryczne, (takie jak oliwin, piroksen i plagioklaz) mają dwie osie optyczne i trzy współczynniki załamania; to znaczy trzy prędkości światła.

Różnica między największym i najmniejszym współczynnikiem załamania we wszystkich anizotropowych minerałach jest nazywana dwójłomnością. Dwójłomność zmienia się z orientacją minerału w płytce cienkiej. Jednak do identyfikacji minerału wykorzystuje się maksymalną różnicę (największą dwójłomność), którą podaje się w przewodnikach do identyfikacji.

Fot. 1 pokazuje standardowe barwy interferencyjne dla typowej płytki cienkiej o grubości 30 mikrometrów. Minerały najczęściej spotykane w meteorytach są wymienione obok ich barw interferencyjnych. Proszę pamiętać, że są to barwy powstające przy skrzyżowanych polaroidach, gdy minerały są zorientowane tak, że ich dwójłomność jest największa. Barwa interferencyjna każdego z tych minerałów może się zmieniać od ich barwy najwyższego rzędu (pokazanej przez czarne paski) przez wszystkie barwy pośrednie do czarnej (na górze obrazka).

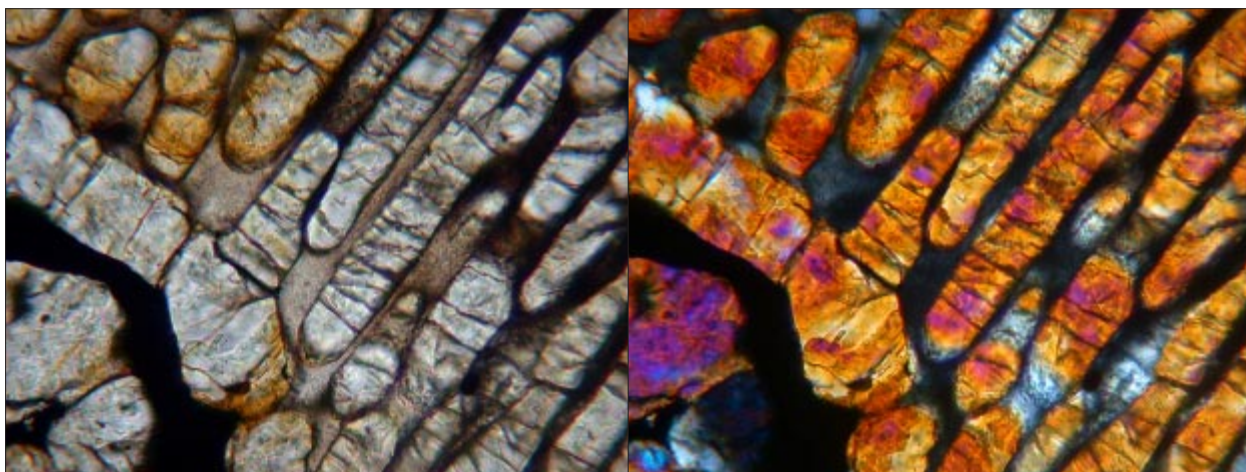
Zauważmy, że na podstawie dwójłomności można podzielić minerały na trzy grupy. W chondrytach kryształy oliwinu bogatego w magnez będą miały barwy od pierwszego rzędu do wysokich drugiego rzędu zależnie od orientacji.

Klinopirokseny będą miały barwy do drugiego rzędu (odróżnienie augitu, diopsydu i pigeonitu jest trudne dla każdego petrografa). Wszystkie inne minerały będą miały tylko barwy pierwszego rzędu, w większości szare i białe.



Fot. 4. Plagioklaz. Zbliźniaczenie z naprzemiennymi ciemnoszarymi i białymi paskami o różnej szerokości jest powszechne w plagioklazie. XP (Dhofar 007, EUC)

Jednak piękne barwy interferencyjne minerału mogą nie wystarczyć do jego zidentyfikowania. Mogą być potrzebne inne charakterystyczne cechy. W tabeli 11.2 [nie pokazanej tu] zebrano utwory pomagające zidentyfikować większość



Fot. 5. Szklivo w belkowej chondrze oliwinowej. Porównajmy szare obszary na lewym zdjęciu (jeden polaroid) z odpowiednimi czarnymi obszarami na prawym zdjęciu (XP). Te obszary, to szklivo otoczone przez belki pojedynczego, dendrytowego kryształu oliwinu połączone ze sobą w trzech wymiarach. (Barratta, L3.8)

minerałów najczęściej występujących w meteorytach. Na przykład barwy interferencyjne enstatytu i klinoenstatytu są nie do odróżnienia. Jednak te dwa minerały łatwo odróżnić dzięki brakowi lub obecności zbliźniaczeń i poprzez pozycję łupliwości podczas wygaszenia, gdy obracamy stolik mikroskopu. Przykłady minerałów z Tabeli 11.2 są pokazane tu na zdjęciach od 2 do 5.

Niektóre minerały, oglądane w świe-

tle spolaryzowanym z jednym polaroidem, wykazują pleochroizm (wielobarwność). Mineral jest pleochroiczny, jeśli podczas obracania stolika widać jedną lub dwie barwy. Te barwy mogą być delikatne i rozmywać się. W większości meteorytów pirokseny zawierają dużo magnezu i wykazują słaby pleochroizm lub jego brak. Jednak ze wzrostem zawartości żelaza pirokseny stają się coraz bardziej pleochroiczne

o barwach bladej żółtej, zielonej, różowej i brązowej.

Od redaktora: Dziękuję prof. dr hab. Andrzejowi Maneckiemu za merytoryczną korektę tłumaczenia.

O. Richard Norton jest emerytowanym wykładowcą astronomii i pisze książki o meteorytach i artykuły dla czasopism takich jak Astronomia.

✍

Deszcz meteorytów w zachodniej Kanadzie

20 LISTOPADA 2008 R. wiele osób obserwowało na niebie białą kulę ognia o zielonkawym odcieniu, która sprawiła, że nocą zrobiło się jasno jak w dzień. Świadkowie mówili też o towarzyszących temu grzmotach i eksplozjach. Obserwując kolejne rozbłyski niebieskozielonego światła niektórzy sądzili, że to jakiś rodzaj fajerwerków. Zjawisko zarejestrowały kamery policyjne i liczne kamery dozorujące.

Robert Haag wyznaczył 10 000 dolarów nagrody za znalezienie i dostarczenie mu ponad kilogramowego okazu meteorytu, który ewentualnie spadł po tym bolidzie.

Na podstawie zebranych obserwacji Alan Hildebrand z Uniwersytetu w Calgary, znany m. in. z badań meteorytu Tagish Lake, wywnioskował, że w atmosferę ziemską wpadł fragment planetoidy ważący około 10 ton. Bolid pojawił się na wysokości około 80 kilometrów nad ziemią nad miastem Lloydminster, położonym na granicy prowincji Alberta i Saskatchewan, i leciał w kierunku SSE w kierunku doli-

ny Battle River spadając dość stromo pod kątem 60°. Widoczny był przez około 5 sekund, w ciągu których zaobserwowano kilka eksplozji z najsilniejszą w przedostatniej sekundzie. Dr Hildebrand określił też obszar w zachodniej części prowincji Saskatchewan, na który mogły spaść meteoryty.

Na podstawie zarejestrowanych infraczerwonych wytworzonych przez eksplozje oceniono, że energia eksplozji bolidu wynosiła około jednej trzeciej kilotony trotylu.

Ponieważ prędkość wejścia meteoroidu w atmosferę była dość niska, około 14 km/s, dr Hildebrand ocenił, że mogły spaść setki meteorytów. Ponadto wielu świadków widziało, już po zgaśnięciu bolidu, spadające z nieba czerwone obiekty. Meteoryty spadły prawdopodobnie koło miejscowości Marsden i dr Hildebrand wyruszył tam na poszukiwania.

Pierwszy meteoryt znalazła studentka Uniwersytetu w Calgary, Ellen Milley. Jadąc samochodem z dr Hildebrandem zauważyła ciemne punkty na

zamarzniętym jeziorze. Trzeci z nich okazał się meteorytem ważącym około 250 g. Meteoryt znaleziono na terenie rancza należącego do Iana Mitchella. Po skontaktowaniu się z właścicielem, wspólnie z nim znaleziono jeszcze 10 okazów głównie na zamarzniętych jeziorach. Szczęśliwie teren nie był pokryty śniegiem, a woda była zamarznięta ułatwiając poszukiwania.

Wstępna ocena wskazuje, że spadł deszcz chondrytów zwyczajnych typu 5 lub 6. Od małej miejscowości w pobliżu miejsca znalezienia pierwszego okazu meteoryt nazwano Lone Rock.

Na miejscu znalezienia szybko pojawili się liczni reporterzy z mediów oraz poszukiwacze, przeważnie współpracujący z dr Hildebrandem. Bruce McCurdy z Edmonton Space & Science Center, który sam znalazł kilka okazów, umieścił szereg zdjęć z poszukiwań na stronie internetowej <http://skyriver.ca/astro/bruce/meteorite.htm> rozpoczynając zdjęciem znalazczyny pierwszego okazu.

Największy meteoryt, ważący 13 kg, znalazł Les Johnson i przekazał go właścicielowi terenu. W Kanadzie, podobnie jak w USA, meteoryty należą do właściciela terenu, na który spadły. Meteoryty z terenów publicznych zwykle pozostają własnością znalazcy. Prawo ogranicza jedynie właścicielom możliwość wywożenia meteorytów za granicę, na co potrzebne jest specjalne zezwolenie.

Na stronie internetowej zauważyłem ofertę sprzedaży znalezionych okazów po 15 dolarów za gram. Mniejsza o cenę, ale jest to informacja, jakiej wielkości meteoryty znaleziono: 13 g, 16,5 g, 28,7 g, 31 g, 44 g, 49 g, 101 g.

Informacje z różnych stron internetowych zebrał Andrzej S. Piłski



Ważący 13 kg okaz wybił dołek w zamarzniętej ziemi, odbił się i zatrzymał obok. Fot. Bruce McCurdy.

Korytarz z meteorytami

Anita D. Westlake

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 14 No. 3. Copyright © 2008 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Przez dłuższy czas nie miałam „kolekcji” meteorytów. Miałam jedną, samotną płytkę Allende. Naiwnie sądziłam, że to wystarczy. W końcu większość ludzi nie ma nawet tyle, więc dlaczego starać się o więcej? No właśnie, dlaczego?

Dziś mam ponad 128 różnych meteorytów i codziennie przychodzi z pocztą więcej. Początkowo trzymałam mój jedyny meteoryt w małej, plastikowej torebce, w której przybył. Nagryzmoiliłam „Allende” na skrawku papieru i wetknęłam do torebki uważając sprawę za załatwioną. Gdy moja fascynacja (i kolekcja) rosła, wykorzystywałam do pokazania mych kamieni z kosmosu małą, oświetloną gablotę z jedną półką. Już po roku gablota była za mała. Przeniosłam okazy do płaskich pudełek z przegródkami. Z jednego pudełka zrobiły się dwa, potem trzy. W końcu zaczęłam ustawiać pudełka jedno na drugim. Nie było to ani ładne ani praktyczne rozwiązanie; chciałam pokazać moje skarby, a nie zmuszać ludzi do przekopywania pudełek by je zobaczyć.

Tymczasem mój przyjaciel, Dave Ghesling, podarował mi piękny, oprawiony meteoryt Weston. W oprawie były grawerowane płytki z brązu i zdjęcia i było to dzieło sztuki samo w sobie. Miało ponad 2×3 stopy i potrzebowało bardzo szczególnego miejsca, by je powiesić. Jedyne ściany w moim domu, które nie były jeszcze zakryte, znajdowały się w ciemnym, wąskim korytarzu. Nie był on malowany odkąd się wprowadziłam 20 lat temu. Pojedyncza, słaba żarówka próżno starała się oświetlić cały korytarz, ale bez powodzenia. Aby odpowiednio zaprezentować Westona, powinnam odmalować cały korytarz i zainstalować oświetlenie halogenowe. Dzięki, Dave!

Po paru miesiącach miałam piękny, pusty korytarz z dużą (ale dobrze oświetloną), gołą ścianą. Pamiętałam, że mój przyjaciel, Ray Hill, zaprojektował montowaną na ścianie wystawę dla swych pudełek Rikera (zob.: http://www.greatsouth.net/riker_frame_wall_display.htm) i wkrótce zro-

dził się kolejny, wielki projekt. Dla tych, którzy nie mają dostępu do komputera, naszkicuję pokrótce, co on zrobił.

Ray przyszedł i wymierzył miejsce w moim korytarzu. Chciałam, by powierzchnia była dostatecznie duża, by pomieścić na wystawie wszystkie moje meteoryty, i powiedziałam mu, że zamierzam używać wyłącznie mniejsze pudełka Rikera $3\frac{1}{4} \times 4\frac{1}{4}$ cala. Ray poszedł z wymiarami do domu i zlecił znajomemu fachowcowi przycięcie kawałka sklejk tak, by pokrył całą planowaną powierzchnię. Wziął pudełko Rikera $3\frac{1}{4} \times 4\frac{1}{4}$ i wykorzystał jako wzorzec do zmierzenia wysokości (z niewielkim zapasem) rzędów. Narysował linię przez całą płytę sklejk i dalej odmierzał i rysował linie, aż cała płyta była pokryta poziomymi liniami od góry do dołu (jak kartka papieru ze szkolnego zeszytu w linie). Na tych liniach miały być przybite i przyklejone drewniane listwy o przekroju „T”. (Gdy Ray robił to u siebie w domu, przymocował listwy bezpośrednio na ścianie nie używając płyty sklejk. Można to zrobić na oba sposoby). Następnie, Travis, ten fachowiec, zmierzył, jak głębokie powinny być listwy „T”, by pomieścić grubość pudełek Rikera (zob. fig. 1).

Końcowym etapem było przyklejenie i przybicie listew „T” do sklejk. Gotowy produkt został przyniesiony do mego domu i przykręcony do mojej starej, otynkowanej ściany w sześciu miejscach. (Pamiętajcie o wkręceniu wkrętów równo z powierzchnią, tak aby łebki nie zaczepiały o wsuwane pudełka).

Pomalowałam wierzch listew „T” na błyszczący, biały kolor. Nie ma potrzeby malować samej sklejk, ponieważ będzie zasłonięta pudełkami. Oczywiście można pomalować wierzch listew na dowolny ko-

lor według życzenia, nawet na czarno, by pasowały do pudełek Rikera. Zdjęcie 2 pokazuje kompletną, pomalowaną, ścienną wystawę bez meteorytów.

Ostatnim elementem projektu było umieszczenie meteorytów w pudełkach Rikera. Chciałam ujednolicić wygląd, więc zrobiłam na komputerze etykiety do okazów. Przycięłam je tak, aby pasowały „w sam raz” za szkło w pudełkach Rikera i na każdej etykietce wpisałam informację ręcznie, drukowanymi literami. Próbowałam pisać informację na komputerze, ale było to nudne i irytujące. Poza tym „odręczny” wygląd wprowadza element osobisty (zob. fig. 4).

Jeśli miałam oryginalną etykietkę od meteorytu, wkładałam je pod bawełniane wypełnienie pudełek Rikera. Ponieważ etykiety mogą być równie cenne, jak same meteoryty, mam nadzieję, że po mojej śmierci ludzie domyślą się, by ich tam poszukać.

Jeśli meteoryt ważył od 1 do 10 g, umieszczałam go wewnątrz małego, okrągłego lub kwadratowego, plastikowego pudełka do okazów. Wycinałam wypełnienie odpowiednio do wielkości i kształtu pudełka, po czym wsuwałam pudełko w otwór w wypełnieniu. Reszta wypełnienia pozostawała na miejscu podtrzymując etykietkę okazu i nie po-

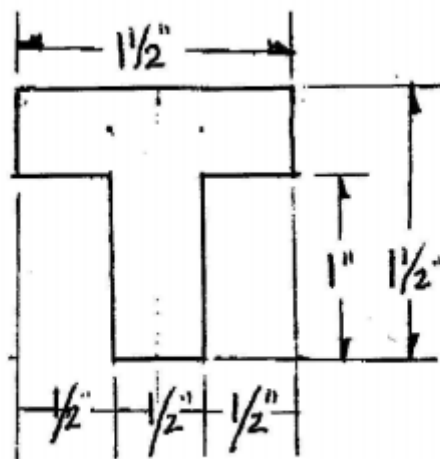


Fig. 1. Listwa „T”.

zwalając na przemieszczanie się plastikowego pudełka. Metodą prób i błędów stwierdziłam, że kwadratowe, przezroczyste, plastikowe pudełka były troszkę za grube do pudełek Rikera. Mogłam zamknąć pudełko Rikera przy pomocy szpilek, ale gdy próbowałam wsunąć go w ramkę na ścianie, to się nie dawało. Gdy próbowałam wepchnąć siłą, szkło w pudełku pękło. Musiałam sprzątnąć cały ten bałagan, wyjąć plastikowe pudełko, ułożyć meteoryt tylko pod pokrywką plastikowego pudełka, zamknąć pudełko Rikera i spróbować znów wsunąć go w ramkę. Tym razem się zmieściło bez problemów.

Jeśli meteoryt był mały, umieszczałam go w małym, przezroczystym, plastikowym pudełku z powiększającym wieczkiem. Jeśli ważył ponad 10 g, wycinałam prostokąt z lepkiej wykładziny do półek i umieszczałam na bawełnianym wypełnieniu. Potem kładłam meteoryt na tym kawałku wykładziny i po zamknięciu pudełka Rikera zwykle pozostawał on na miejscu. Jeśli jednak cały układ był trochę za luźny i meteoryt się zsuwał, związałam trochę tektury i wkładałam za wypełnienie zwiększając docisk. Można dostać lepką, plasty-



Fig. 2. Widok pustej wystawy ściennej.

kową wykładzinę do półek w „dollar store” w kilku różnych kolorach. Wybrałam białą, by nie odcinała się od bieli bawełnianego wypełnienia. Fig. 3 pokazuje gotową wystawę.

Na koniec trzeba było zdecydować, jak ułożyć pudełka Rikera na ścianie. Alfabetycznie? Według numerów katalogowych? Według typów? „Najle-

sze” na poziomie wzroku? Ten problem spędzał mi sen z powiek przez kilka nocy i skłonił do wypicia więcej szkockiej niż było to absolutnie konieczne. Ponieważ pracowałam od 25 lat w bibliotece uniwersyteckiej, było dość naturalne, że wybrałam w końcu „alfabetycznie.” Po umieszczeniu wszystkich pudełek w ramach znalazłam jedno,



Fig. 3. Ukończona wystawa.

Catalog Number:
Name:
Location:
Weight: Type:
Fall/Find:
Acquired:

Fig. 4. Etykieta okazu.

o którym niechętnie zapomniałam. Była to jakaś Sahara. Musiałabym wyjąć około 25 pudełek, by ułożyć to jedno na właściwym miejscu. Nie miałam już na to ochoty; była 2:30 w nocy i byłam wykończona. Myślałam już o zmianie nazwy meteorytu na „Zahara” tak

aby mogła ustawić go na końcu szeregu. Zdumiewające, jak niedbały może stać się bibliotekarz o 2:30 w nocy.

Jeśli nie rozmieścisz okazów przypadkowo, czeka ciebie przemieszczanie niektórych meteorytów, gdy znów kupisz nowy okaz. Są tylko dwa rozwiązania tego problemu i żadne z nich mi się nie podoba:

1. Nie kupuj więcej meteorytów.
2. Po prostu poprzestawiaj je i miej to z głowy.

Poradziłam sobie z tym z niewielką pomocą whisky.

E-mail: libawc@liba.edu

Anita D. Westlake kolekcjonuje meteoryty od około siedmiu lat i zgromadziła zbiór ponad 100 różnych spadków i znalezisk. Jest obecnie Prezesem Friends of Mineralogy, SE Chapter, oraz członkiem zarządu Southeastern Federation of Mineralogical Societies' stanu Georgia. Gdy nie zabawia się skalami i meteorytami, Anita prowadzi dwie biblioteki na kampusie Emory University w Atlancie, GA.



Jak TY możesz wywołać kosmiczny szok najwyższego stopnia

Dave Gheesling

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 14 No. 3. Copyright © 2008 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)

Gram inspiracji

Kształcenie, w swej najdoskonalszej postaci, wymaga silnej dawki inspiracji. To inspiracja jest punktem zwrotnym ku znakomitemu wykształceniu, zwornikiem, który sprawia, że most jest kompletny i trwały.

Moje własne, formalne wykształcenie jest klasyczne, i niestety zwyczajne; przykład takiego, które w przeważającej części było pozbawione tego rodzaju inspiracji, który mógłby wyzwolić mój największy potencjał uczenia się i rozwoju dzięki mojemu wrodzonemu zamiłowaniu do rzeczy związanych z astronomią. Chociaż przeważnie zdobywałem dobre oceny podczas mojego „studiowania” aż do dyplomu z Georgia Tech — z wyjątkiem dwuletniej pracy tamże, jako amator-teoretyk analizujący krzywą malejącego ciśnienia w beczce, w czym w końcu uzyskałem jakieś postępy — większość z tych ponad szesnastu lat minęła przy niewielkim lub żadnym wysiłku kierowanym na moje uczenie się (z wyjątkiem oczywiście badań nad ciśnieniem w beczce, w które włożyłem sporo wysiłku i dzięki którym zyskałem sporo wiedzy i doświadczenia).

Pomimo znacznego zainteresowania astronomią moja cierpliwość do czytania i samokształcenia była mała prawie do końca moich lat w college'u. Wciąż trudno myśleć o tych zmarnowanych latach i ciekaw jestem, co mogłoby być

inaczej, gdybym lepiej je wykorzystał, ale od tego czasu czytam niemal wszystko na temat astronomii, co mi wpadnie w ręce — w pierwszym rzędzie znaczącą większość książek większą ilością tuszu, niż użyta do ich wydrukowania, oraz nieustannie zaglądając do nich ponownie, a także przeglądając różne źródła, by lepiej poznać szczegóły.

Punkt zwrotny nastąpił jesienią 2000 r., gdy zabijałem czas w sklepie naukowym w Atlancie, czekając na przyjaciela, i natrafiłem na 136 g meteoryt Sikhote-Alin na sprzedaż. PRAWDZIWE meteoryt?! Na SPRZEDAŻ?! Nie mogłem uwierzyć własnym oczom, ponieważ dotąd sądziłem, że meteoryty są domeną instytucji naukowych i muzeów (i przekonałem się, że tak uważała kiedyś większość kolekcjonerów meteorytów). Kupiłem natychmiast ten okaz i bez pośpiechu wyszedłem ze sklepu mając nadzieję, że ochrona sklepu nie skonfiskuje mojego pakunku i nie zamknie mnie za jakieś pogwałcenie federalnych praw własności, o których dotąd nie wiedziałem.

Lepiej dawać niż otrzymywać

Nigdy bym się nie spodziewał, że ten mały Sikhote-Alin będzie początkiem mego hobby. Nie jestem kolekcjonerem w tradycyjnym znaczeniu tego słowa i przed spotkaniem z meteorytami byłem raczej minimalistą woląc przegna-

zać czas i pieniądze na podróże i inne doświadczenia, a nie na gromadzenie przedmiotów. Jednak moje kolekcjonowanie meteorytów i poznawanie ich nabrało cech szaleństwa i wkrótce musiałem zrobić specjalne pomieszczenie w moim domu, by właściwie przechowywać, zabezpieczać i pokazywać kolekcję. Myślałem: „Czyż to nie jest naprawdę cudowne?! Posiadam te meteoryty i mogę podziwiać je, kiedy tylko mi przyjdzie ochota.”

Wkrótce potem moje dzieci opowiadały o meteorytach w szkole i niemal natychmiast znalazłem się w ich klasach pokazując meteoryty ich kolegom — zawsze dawałem każdemu uczniowi mały okaz z etykietką do potrzymania. Reakcja była zawsze, jak Richard Norton najlepiej określił jednym słowem, „elektryczna” i dzieci mówiły swoim kolegom, a nauczyciele mówili innym nauczycielom, szkoły przekazywały innym szkołom i tak dalej. Wirus się rozprzestrzenił.

Wtedy po raz pierwszy uświadomiłem sobie: trzymanie kolekcji zamkniętej w domu bez dzielenia się nią z innymi wcale nie jest takie dobre. I w gruncie rzeczy te kamienie nie są moją własnością — większość z nich jest starsza od kamieni z naszego otoczenia — jestem raczej tylko ich szczęśliwym i czasowym kustoszem w długim, mam nadzieję, szeregu kustoszy przez wiele przyszłych pokoleń.

Nie ma lepszego czasu niż obecny

To, co zaczęło się jako zaimprovizowana prezentacja przez puszczenie w obieg kilku meteorytów i opowiadanie wszelkiego rodzaju fascynujących wiadomości o meteorytach w jednej klasie, szybko rozrosło się w formalną prelekcję dla różnego rodzaju grup, często kilkuset uczniów jednocześnie. Istotna była tylko decyzja, by zacząć to robić *teraz*, i wszystko inne znalazło się na swoim miejscu.

Bez formalnego wykształcenia z zakresu meteorytyki było ważne wybranie odpowiedniego miejsca dla siebie. Moim celem od początku było zaprezentowanie podstawowych informacji o meteorytach jak największej liczbie uczniów, gdyż liczyłem na to, że jakiś niewielki procent słuchaczy może jeszcze być przed decyzjami wyboru kierunku kształcenia i drogi życiowej i być może kiedyś w przyszłości wniesie znaczący wkład do tej dziedziny. Jest za wcześnie, by stwierdzić to już teraz, ale nie było prelekcji (obojętne jak duże było audytorium), by przynajmniej jeden z uczniów nie pozostał, by przyjrzeć się bliżej „Księżycowi” lub zadać kilka pytań. Zawsze mówię im: „Cieszę się, że tak wielu uczniów mogło dowiedzieć się dziś czegoś o meteorytach, ale to *ty* jesteś powodem, dla którego przyszedłem mówić do twojej grupy.” Warto widzieć te uśmiechy!

Jedna rzecz, którą chciałbym tu podkreślić, to fakt, że *bardzo* niewielu



Fot. 1. Autor opowiada 400 uczniom z Georgii o meteorytach.

uczniów i nauczycieli wie *cokolwiek* o meteorytach, więc jest dość łatwo przygotować interesującą prelekcję na temat podstaw wiedzy o meteorytach niezależnie od posiadanej wiedzy i upodobań. Wystarczy nakreślić podstawowy plan i zobaczysz, jak kostki domina zaczną się szybko przewracać. Ostatnio miałem z mym przyjacielem, Jerry Armstrongiem, prelekcję „Meteorites 101” dla nauczycieli przedmiotów matematyczno-przyrodniczych ze stołecznego hrabstwa Atlanta i obaj byliśmy zaszokowani oraz zainspirowani tym, jak mało ci nauczyciele wiedzą o meteorytach. Oczywisty wniosek: jeśli w amerykańskich podręcznikach meteorytom poświęca się z reguły pół strony, to nie wydaje się prawdopodob-

ne, by ten temat dotarł do naszych uczniów dziś — po dwóch stuleciach od oficjalnego zapoczątkowania meteorytyki przez deszcz w L'Aigle. Tylko w ostatnim roku szkolnym, wraz z Jerry'm i innymi członkami Meteorite Association of Georgia (www.meteorite-associationofgeorgia.org) jak Anita Westlake, David Hardy i Sean Murray, mieliśmy prelekcje dla ogromnej liczby uczniów Georgii.

Jeśli ja mogę to zrobić, to *każdy* może...

Tu jest wersja typu *Reader's Digest* tego, co obejmują moje prelekcje, chociaż możliwości są oczywiście nieograniczone:

1. Puszczałem w obieg kilka okazów (mówiąc trochę o nich na początek i oczywiście dobierając je zależnie od wielkości grupy i możliwości nadzoru nad nimi).

2. Pokazuję zdjęcie Ziemi zrobione z daleka, z kosmosu (coś jak „bladoniebieska kropka” sfotografowana przez Voyagera spoza orbity Neptuna) by pokazać, że chociaż nasza planeta jest duża, to jest *o wiele* więcej poza nią.

3. Pokazuję różnicę między 1000, 1000000 i 1000000000. Pytam, jak długo trzeba by było liczyć do tych liczb w tempie jedna liczba na sekundę (często podawane są odpowiedzi w sekundach, ale to oczywiście nie to, o co chodzi). Potem podaję im poprawne odpowiedzi: 16 minut, 11 dni, i 32 lata odpowiednio.

4. Następnie umieszczam wszechświat w odpowiedniej perspektywie. Zaczynam od ich miasta, jak duży jest



Fot. 2. Autor z córką Maddie wypożycza ważący 43 kg chondryt do Elachee Nature Science Center, gdzie zobaczy go prawie 40000 uczniów w ciągu roku.

ich kontynent i jak daleko jest do Księżyca, do Słońca i do innych planet. Potem przypominam widok Ziemi z Voyagera i jak mała jest naprawdę Ziemia z tej perspektywy, i że Układ Słoneczny naprawdę rozciąga się aż do obłoku Oorta. Po wprowadzeniu do wielkich liczb mówię o tym, jak wiele gwiazd jest w galaktyce Drogi Mlecznej i że wiele z nich ma własne układy planetarne, takie jak nasz. Potem pokazuję im zdjęcie dalekiego pola z teleskopu Hubble’a i zastanawiamy się, ile galaktyk i gwiazd jest we wszechświecie. Na koniec próbuję przekazać im wyobrażenie, jak wielki jest widzialny wszechświat, przez ściśnięcie go do mili sześcienniej. Pytam, jak duży obiekt uzyskalibyśmy w tej mili sześcienniej, gdybyśmy połączyli w jeden obiekt wszystkie gwiazdy, planety, ciemną materię itd. Odpowiedź brzmi: mniej niż ziarenka piasku! Jest więcej gwiazd niż ziaren piasku na wszystkich plażach Ziemi, więc jesteśmy tylko małą cząstką tego rozległego wszechświata. Jednak czasem materia „stamtąd” przybywa do nas w odwiedziny — meteoryty.

5. Wracając na Ziemię pokazuję zdjęcie meteoru, by powiedzieć o wielkościach cząstek i prędkościach przy wejściu w atmosferę (wielu, jeśli nie większość, widziało „spadającą gwiazdę,” ale mało kto, jeśli w ogóle, jak małe są obiekty, które je wywołują i to jest doskonałe narzędzie do pokazania mocy kosmicznej prędkości).

6. Definiuję pojęcia „meteoryt” i „meteoroid” w uzupełnieniu wcześniejszej dyskusji o „meteorach.”

7. Mówię o bolidach i pokazuję trochę nagrań video (łatwo to zrobić w PowerPoincie i jest to bardzo atrakcyjne dla młodych uczniów).

8. Omawiam orientowane meteoryty i jak ich kształt aerodynamiczny był inspiracją dla osłon termicznych dla statków kosmicznych. Pokazuję na zdjęciach, że istotnie kształt tych osłon jest zupełnie taki sam, jak orientowanych meteorytów. Orientowanie jest jednym z dwóch znakomitych sposobów, by uprzytomnić młodym umysłom, jak gwałtowny i magiczny jest rzeczywiście przelot meteorytu przez atmosferę.

9. Mówię o młotach takich jak Peckskill, Claxton, i trzygramowy kamyk Mbale, który trafił 13-letniego chłopca. To jest ten drugi sposób, by uczniom



Fot. 3. Autor daje po prelekcji grupie uczniów małe chondryty do badania magnesem.

wie zrozumieli, że te obiekty wciąż poruszają się dość szybko nawet po wyhamowaniu do prędkości końcowej.

10. Omawiam ciała macierzyste w części „Skąd przybywają meteoryty?” włącznie z pasem planetoid i paroma dobrymi przykładami takimi jak Westa, Księżyc i Mars (i skąd my to wiemy).

11. Podkreślam historię kosmicznych zderzeń i obecne (choć statystycznie mało prawdopodobne w najbliższej przyszłości) zagrożenie dla naszej planety. Jest to znakomity sposób na pokazanie potrzeby przyszłych badań i szukania rozwiązań, które mogłyby uratować naszą planetę, a które mogłyby wymyślić uczeń właśnie z tej grupy.

12. Omawiam podstawowy skład meteorytów zdyferencjowanych i nie, włącznie z takimi tematami, jak chondry i CAI, że chondryty są starsze od samej Ziemi, jak powoli jądra ciał macierzystych krystalizowały tworząc figury Thomsona, że większości tych utworów nie spotyka się w ziemskich kamieniach, i może trochę najciekawszych informacji o zawartości chondrytu Murchison.

13. Pokazuję, na co zwracać uwagę, jeśli myślą, że znaleźli meteoryt.

14. Pytania i odpowiedzi (w praktyce robię to w trakcie prelekcji tak długo, jak grupa zachowuje porządek, podnosi ręce, nie mówią wszyscy na raz itd.).

15. Jeśli to możliwe, daję małą próbkę każdemu uczniowi razem z etykietką, która zawiera trochę informacji o niej (do tego celu znakomite są zwierzęce chondryty NWA, i wystarczy magnesik przystawiony do torebki

z okazem, by rozbudzić zaciekawienie i emocje uczniów).

Na zakończenie, 99% popularyzacji wiedzy to *po prostu pokazywanie!* Kolekcjonowanie meteorytów jest cudownym sposobem zainspirowania siebie perspektywą i podziwem. Jednak *dzielenie się* twoim zbiorem i wiedzą o tych najszybszych, najstarszych i najbardziej egzotycznych obiektach na planecie jest tym, w czym znajdziesz prawdziwy skarb!

E-mail: dave@fallingrocks.com



Dave Gheesling jest przewodniczącym i dyrektorem generalnym FEI Group (www.floorexpo.net), oraz współzałożycielem i dyrektorem The Scotty Foundation (www.carecuredream.org), i mieszka w Alpharetta, w Georgii, z żoną, trójką dzieci, dwoma psami, trzema kotami, i kilkoma meteorytami, z których część można zobaczyć na www.fallingrocks.com. Pytania dotyczące popularyzacji i czegokolwiek innego można zadawać przez dave@fallingrocks.com.

DM

Relacja ze spadku meteorytu koło Bassikounou w Mauretanii 16 października 2006 r.

Svend Buhl, Matthias Baermann, Beda Hofmann, Patrick Weber, Edwin Gnos

(Artykuł z kwartalnika METEORITE Vol. 14 No. 3 i 4. Copyright © 2008 ARKANSAS CENTER FOR SPACE & PLANETARY SCIENCES)



Wstęp

Niezauważony przez środowisko naukowe meteoryt spadł 16 października 2006 r. o czwartej rano koło wsi Bassikounou w południowo-wschodniej Mauretanii. Pomimo faktu, że zdarzenie to wywołało dość znaczne przeżalenie mieszkańców tego ogromnego, ale rzadko zaludnionego regionu, niewiele informacji o tym zdarzeniu opublikowano w lokalnych, mauretańskich mediach (AMI 2006, Abdella 2006). Nawet one nie wydostały się poza kraj i nie przedostały się do sieci komunikacji środowiska planetarnego. Wkrótce potem te kamienie z nieba, i wiedza o ich przybyciu, znikły. Aż do wiosny 2007 r. Bassikounou pozostawał obserwowanym, ale nieznanym spadkiem.

Ponieważ obszar spadku był wyjątkowo odludnym miejscem, minęły miesiące, zanim okazy meteorytu zebrane przez miejscowych trafiły do ludzi, którzy mogli docenić ich znaczenie. Uzyskanie informacji o tych meteorytowych kamieniach, okolicznościach ich znalezienia i obserwacjach poprzedzających ich odnalezienie, okazało się bardzo trudnym zadaniem.

Jedynym bezpośrednim sposobem łączności z miejscem spadku jest telefon satelitarny Thuraya. Przeciętny poziom wykształcenia na tym niezwykle biednym obszarze jest niewystarczający, by wypytywać świadków przy pomocy kwestionariuszy. Jeśli udało się w końcu zidentyfikować świadków i skontaktować z nimi, to ich zdolność do przekazania użytecznego opisu ich

obserwacji była ograniczona.

Jedyną dostępną, szczegółową mapą topograficzną zawierającą nazwane struktury i ważniejsze utwory topograficzne, jest mapa 1:200000 z Institut Geographique National. Nie ma na tym terenie kamer, które mogłyby zarejestrować trajektorię bolidu. Ponieważ spadek nastąpił nad ranem podczas zimnej nocy, większość świadków została zaalarmowana dopiero przez grzmoty detonacji. Do tego czasu bolid już znikł. Z tego powodu można było zanotować tylko 25 relacji świadków dotyczących samego bolidu.

Ta publikacja opisuje okoliczności i lokalny odbiór spadku meteorytu Bassikounou. Zgromadzono tu informacje zebrane z lokalnych mediów, od 32 naocznych świadków, oraz od ludzi uczestniczących w odnajdywaniu i dystrybucji meteorytów ze spadku Bassikounou. Opisuje ona świetlne i dźwiękowe zjawiska związane z bolidem, jego trajektorię, wielkość obszaru rozrzutu, rozkład wag poszczególnych okazów i ich ogólne cechy. Zawiera także petrograficzną i chemiczną analizę meteorytu i ocenę jego początkowej masy. Autorzy sugerują także klucz do rekonstrukcji względnych pozycji spadków meteorytów, dla których brak współrzędnych miejsca znalezienia. Dołączono także mapę geologiczną gleby w obrębie obszaru rozrzutu, aby oznaczyć konkretny rodzaj gleby, jaką można znaleźć na zebranych meteorytach, by dopasować miejsca spadku.

Tą publikacją autorzy próbują poka-

zać, że wciąż jest możliwe uzyskanie informacji, nawet jeśli wiadomość o spadku meteorytu w odludnej okolicy dociera wówczas, gdy obszar rozrzutu został już oczyszczony. Autorzy mają nadzieję, że ich relacja może służyć jako przykład, nie tylko pomocny przy odnajdywaniu przyszłych spadków meteorytów na odludnych terenach, ale także jako wzorzec dla zachowania informacji związanych z takimi zdarzeniami.

Pierwsza relacja

Pierwsza informacja o nowym spadku meteorytu w Mauretanii pojawiła się w postaci 3,165 kg bryły materii meteorytowej (katalog # 001) przywiezionej do Europy przez studenta z Mauretanii (M. O. Mounir, prywatna informacja). W listopadzie 2006 r. M. Ould Mounir zaoferował tę bryłę kilku muzeom i kolekcjonerom minerałów. Po tym jak Mounir spotkał się z niedowierzaniem odnośnie autentyczności tego nowego spadku, niemiecki kolekcjoner minerałów H. Strufe zaoferował rozpoczęcie oficjalnej procedury klasyfikacyjnej.

Meteoryt został sfotografowany, przecięty i próbka została wysłana do B. Hofmanna z Museum of Natural History w Bernie, w Szwajcarii, by stwierdzić, czy ten bardzo świeżo wyglądający meteoryt jest niedawnym spadkiem. Analiza kosmogenicznych radionuklidów rzeczywiście potwierdziła, że jest to bardzo niedawny spadek (Gnos et al. 2007).

I sprzedawca tego materiału i jego kuzyn, znalazca tego pierwszego okazu Bassikounou, pan Ould Mounir, twierdzili, że po bolidzie, który spadł 11 km na południowy wschód od Bassikounou, znaleziono tylko ten jeden okaz. Ani pan Strufe ani pan Hofmann nie mieli żadnego powodu, by w to wątpić. Pierwsze zgłoszenie tego nowego meteorytu do Komisji Nazewnictwa Meteoritical Society opierało się jedynie na tej informacji.

Do lutego 2007 r. M. Zeroual, przedsiębiorca i przewodnik turystyczny z Nouakchott, dowiedział się o spadku Bassikounou i postanowił pojechać 900 mil na wschód na miejsce spadku (H. Aziz, prywatna informacja). Po dotarciu do Bassikounou trzeciego dnia podróży, pan Zeroual spotkał wkrótce kilku świadków zdarzenia i został zaprowadzony na teren spadku. Spędził na tym terenie następne dziesięć dni i zebrał 21 całkowitych okazów i fragmentów meteorytu włącznie z główną masą 6,12 kg. Żaden z tych meteorytów nie został udokumentowany na miejscu znalezienia. Jednak pan Zeroual zrobił na obszarze rozrzutu wiele zdjęć, które są cennym źródłem informacji o roślinności, geologii i topografii tego rozległego obszaru rozrzutu.

Minął kolejny miesiąc, zanim informacja o nowych meteorytach, zebranych w elipsie rozrzutu, dotarła do Europy.

Populacja, geografia i topografia terenu spadku

Miejscowość Bassikounou (wymawiana „Bassiknu”) znajduje się 1102 km na wschodni południowy wschód od stolicy Nouakchott, w odległym, południowo-wschodnim zakątku



Fot. 2. Oulinjam wcinający się w obszar rozrzutu od wschodu. Kilkanaście meteorytów Bassikounou znaleziono na górze tego płaskowyżu. W głębi widać gęste zarośla *Leptadenia pyrotechnica* albo „merekh” po arabsku. Fot. Mohamed Zeroual.

Mauretanii (fot. 1). Liczy około 2000 mieszkańców i jest głównym punktem na drodze do bliskiej granicy z Mali, w szczególności do miasta Timbaktu (*Commune de Ain Ehel Taya* 2000). W Bassikounou zamieszkują głównie Fulbe, Soninké, Wolof, oraz niewielka liczba Bambara i Tuaregów.

Starożytny szlak karawan od wybrzeża Atlantyku przez Nema do Timbaktu przebiega przez miasto z zachodu na wschód. Od południa dochodzi droga gruntowa z Nampala w Mali przez Koussana. Bassikounou nie ma lotniska i z resztą Mauretanii jest połączone jedynie drogami gruntowymi.

Bassikounou jest położone w rozległej, plejstocénskiej aluwialnej niecce wydłużonej w kierunku od południowego zachodu na północny wschód, na południowym krańcu Erg Al Tarha. Ten ostatni przypomina południowo-wschodni koniec suchego, pokrytego głównie wydrami kamiennymi i piaszczystymi łańcucha pustynnych płaskowyży (Dhar) ograniczonych urwiskami od południowego wschodu. Składa

się głównie ze splekanych płyt mezo-zoicznego, kontynentalnego piaskowca i paleozoicznego dolerytu (Bernard J. et al. 2006). Erg Al Tarha łagodnie wznosi się przez Dendara i Quatala do Dhar Nema na północnym zachodzie. Dalej na północ i północny wschód od Bassikounou powierzchnia terenu jest głównie typu Erg i Hamada przez ponad 1000 km, póki nie zacznie się górzysty region Adrar przy granicy z Algierią.

Okolo 15 km na wschód od miasta nieckę Bassikounou dzieli na dwa ramiona Oulinjam, łańcuch wzgórz o płaskich wierzchołkach składających się z kontynentalnego piaskowca, który ciągnie się w kierunku północno-wschodnim przez granicę do Mali (fot. 2). Teren rozciągający się na południe, w kierunku Mali, to kraina buszu przypominająca sawannę z niewielką ilością zimowych opadów deszczu. Rzadka roślinność *Acacia erioloba* i *Leptadenia pyrotechnica* oraz korzystne usytuowanie topograficzne po zawiętrznej stronie Oulinjam po-



Fot. 1a, b. Dwa widoki miejscowości Bassikounou. Fot. Kristen Weaver.

zwoiliły na akumulację gleby w niecce Bassikounou.

Przeważają na tym terenie dwa główne rodzaje gleby. Bogata w minerały gleba laterytowa składa się z drobno- i grubo-ziarnistych produktów wietrzenia kontynentalnego piaskowca, kwarcytu i dolerytu. W niektórych miejscach obszaru rozrzutu, szczególnie na południu, zwietrzały, czerwony piaskowiec pojawia się, jako skała podłoża na powierzchni. Drugi rodzaj, to szare formacje ilaste serii Nema występujące na przemian w dwóch odmianach: jasny, szary, pylisty less i beżowa, nieprzepuszczalna warstwa gliny z korzonkami roślin i odchodami zwierząt.

Bolid i zjawiska dźwiękowe

Podczas zimnej i bezchmurnej nocy, o czwartej nad ranem czasu miejscowego, 16 października 2006 r., zaalarmował ludzi w regionach Dhar Al Nema i Hodh Ech Chargui jasny i długotrwały bolid, który pojawił się na północnym wschodzie. To zjawisko było widoczne przynajmniej do 140 km na północny wschód i do 90 km na południe od Bassikounou (M. Yahya, prywatna informacja). Obszar, z którego spadający bolid mógł być widoczny, obejmuje około 36000 km² przeważnie niezaludnionej pustyni. Ograniczona liczba relacji świadków z izolowanego obszaru zawiera dodatkowo znaczny czynnik niepewności, co do kierunku i czasu trwania zjawiska oraz zasięgu jego widzialności.

Świadkowie opisywali bolid, jako „jasny jak dzień”, „ogromny” i „zbyt jasny [by nań patrzeć]” (zanotował M. Yahya). Wszyscy świadkowie są zgodni, że bolid leciał z ogromną prędkością i trwał 30–40 sekund. Czterej świadkowie twierdzili, że trwał „jedną minutę”. W ostatnich sekundach zjawiska bolid zakończył się „eksplozją światła” i iskrami, kiedy to „noc stała się tak jasna jak dzień”. Ta końcowa erupcja światła trwała przynajmniej cztery lub pięć sekund, co wskazuje, że końcowy rozpad meteorytu był szeregiem zdarzeń.

„Wielka gwiazda spadła w Bassikounou”, powiedziała Beille Mint Cheikh, 68-letnia mieszkanka regionu Dhar al Nema zapytana, co zdarzyło się nocą 16 października. „Była spokojna, jesienna noc i świeciło wiele gwiazd. Nad ranem nagle jedna stała się bardzo jasna. Leciała bardzo szybko w kierunku

Bassikounou i rozjaśniała niebo przez dłuższy czas. Ta scena trwała około minuty; była wyjątkowo nienormalna, niezwykła i nie do opisanie” (zanotował M. Yahya).

Widać, że bolid mógł być widoczny także z obszaru 11–19 km na wschód od Bassikounou, gdzie spadły meteoryty. Niestety nie udało się stamtąd uzyskać żadnych szczegółowych opisów zjawisk świetlnych. Wszyscy świadkowie z okolicy Bassikounou i do 50 km na wschód mówili o „grzmocie” i „odgłosie przypominającym grzmot” towarzyszącym bolidowi. Ponieważ grzmot w Mauretanii jest przeważnie sygnałem deszczu, który jest bardzo ważny dla hodujących bydło i kozy nomadów, wszyscy wybiegli zobaczyć, skąd dobiega grzmot i gdzie mógłby spaść deszcz.

Ponieważ nie było widać żadnych chmur, a grzmot stawał się nienormalnie silny, w niektórych wioskach, a szczególnie w samym Bassikounou ludzie zaczęli się bać. Wielu było przekonanych, że nadchodzi „trzęsienie ziemi” albo „koniec świata”. „Ludzie byli przerażeni, zaskoczeni i zupełnie zagubieni. Nie wiedzieli, co się dzieje wokół nich, a starzy ludzie mówili, że nigdy nie widzieli niczego podobnego spadającego z nieba. „Niektórzy zaczęli modlić się do Allaha,” mówiła jedna ze świadków, Mariem Mint Yebbe (zanotował M. Yahya).

Informacje w lokalnych mediach

Wczesnym rankiem, 22 października, opublikowano pierwszą oficjalną informację o spadku meteorytu (AMI 2006). Dziesięciowierszowa relacja była zatytułowana „*Chute d'un corps lumineux aux environs de la ville de Basseknou*.” Informacja ta została przekazana tego samego dnia wieczorem przez kilka krótkofalowych stacji radiowych (M. Yahya, prywatna informacja).

Po informacjach radiowych rozdzwoniły się telefony w dziale redakcyjnym AMI (Mauretańska Agencja Informacyjna — przyp. red.). Telefonowały osoby, które widziały zjawisko i chciały dowiedzieć się, co się stało. Dzwoniącym mówiono, że trwa rządowe śledztwo. Autorzy kontaktowali się z ambasadą Mauretanii w Berlinie, by dowiedzieć się czegoś o tym śledztwie, i proponowali podzielenie się już uzyskanymi informacjami. Do września

2007 r. ambasada Mauretanii nie odpowiedziała.

Trzy dni po pierwszej informacji prasowej, 25 października, dokładnie ta sama relacja — z pominięciem tylko trzech słów — została opublikowana w *Horizons*, głównym mauretańskim dzienniku wydawanym w Nouakchott. Nagłówek na tytułowej stronie ogłaszał „*Bassiknou: Chute d'un corps lumineux*” (Abdellah 2006). Artykuł mówił o bolidzie z 16 sierpnia, obserwacjach z terenu Dhar al Nema i odnalezieniu materiału przez mauretańską armię rankiem, 16 października. Twierdził także, że części spadającego meteorytu wytworzyły dużą rozpadlinę, w której znaleziono resztki meteorytu. Autorzy, rozmawiając z miejscowymi, nie uzyskali żadnego potwierdzenia istnienia takiej struktury uderzeniowej. Biorąc pod uwagę wszystkie dostępne dane nie wskazuje, że spadek Bassikounou dostarczył bryły zdolne wytworzyć krater. Trzeba więc przyjąć, że wspomniana rozpadlina była geologicznym lub sztucznym utworem istniejącym przed spadkiem meteorytu i że fragmenty meteorytu wpadły do niej przypadkowo. Ewentualnie wymiary dołka po uderzeniu jednej z większych brył zostały wyolbrzymione.

Trzeba także wziąć pod uwagę, że oryginalne relacje dla *Agence Mauritanienne d'Information* mogły już zostać zniekształcone przez miejscowe przesady i wyobraźnię. Wielu wypytywanych świadków twierdziło, że zdarzenie było dziełem boskim lub szatańskim, a niejednokrotnie łączono ze spadkiem meteorytu „nadchodzący koniec świata” albo „otwarcie się powierzchni Ziemi” i „wrota piekieł” (rozmowy autorów ze świadkami).

Odnalezienie okazów

Wczesnym rankiem po spadku oddziały mauretańskiej armii stacjonujące na pobliskiej granicy z Mali przybyły na miejsce spadku i skonfiskowały nieznaną liczbę meteorytów zebranych przez miejscowych. Zdarzyło się to w Umm Sdeira i w kilku obozach wzdłuż południowego szlaku z Umm Sdeira do Bassikounou. Podobno te oddziały zebrały co najmniej 300 gramów meteorytowej materii. Później tego samego dnia przybyli ludzie nawet z Koussana by szukać kamieni, które spadły z nieba.

Ani miejscowi, ani armia nie noto-

wali miejsc znalezienia zebranych okazów. Przylegająca gleba i rozkład mas typowy dla deszczu meteorytów są więc jedynymi wskazówkami do odtworzenia względnych miejsc znalezienia poszczególnych okazów na obszarze rozrzutu.

Miejscowi na terenie spadku szybko zaczęli handlować swymi kosmicznymi zbiorami: „Byłem w Bassikounou podczas spadku meteorytu w zeszłym roku, ale mój przyjaciel przyniósł mi parę okazów kamieni, które spadły tej nocy. Wówczas były już one sprzedawane turystom. Większość okazów, które widziałem, była zupełnie czarna i tylko nieliczne były kolorowe. Gdy przyjrzeć się im uważnie, to widać, że nie są to normalne kamienie,” mówił Mohamed, imam meczetu w Bassikounou.

Obszar rozrzutu

W odległości 18,5 km na północny wschód od Bassikounou jest studnia Mousdéré, albo „Oume,” „Oum,” lub „Umm Sdeira” po arabsku. W momencie spadku wokół studni znajdowało się kilka tymczasowych obozowisk nomadów. Ich mieszkańcy powiedzieli autorom, że byli przerażeni bolidem i ogłuszającą serią grzmotów, od których drżała ziemia. Po trzech lub czterech minutach usłyszeli świszczący dźwięk i kilkanaście brył spadło na otaczający teren z głuchym odgłosem. Nikt nie doznał obrażeń. „Wczesnym rankiem, około godziny szóstej, ci ludzie pospieżyli w kierunku słyszanych odgłosów uderzeń i znaleźli kilkanaście meteorytów, które spadły w pobliżu” (rozmowy autorów ze świadkami).

Tego samego dnia o godzinie 13 mieszkający na tym terenie pan Ahmed Salem El Moichine znalazł pojedynczy kamień, ważący 3,165 kg, 11 km na południowy wschód od Bassikounou na szlaku z Koussana do Bassikounou. Współrzędne miejsca znalezienia podano jako 15° 47' N 5° 54' W. Oba punkty, Umm Sdeira i miejsce znalezienia bryły El Moichine, sugerują elipsę rozrzutu o osi 210° skierowanej na południe z odchyleniem ku zachodowi. Miejsce znalezienia bryły El Moichine znajduje się na terenie o podłożu z czerwonego piaskowca, co tłumaczy wyraźne, czerwono-pomarańczowe ślady uderzenia na tym okazie. Ponieważ później odnaleziono przynajmniej cztery bryły większe od El Moichine, to



Fot. 6. Wyraźny wzór zakrzepłych strużek na pierwotnej skorupie obtopieniowej fragmentu 128 g (katalog #064).

trzeba przyjąć, że obszar rozrzutu rozciąga się sporo poza miejsce znalezienia bryły 3,165 kg. Ponieważ nie podano współrzędnych znalezisk dalej na południe, można powiedzieć, że oś elipsy rozrzutu ma długość co najmniej 23,0 km. Szerokość elipsy rozrzutu co najmniej 3,3 km można wywnioskować na podstawie miejsca znalezienia bryły 1,304 kg, którą znaleziono na wzniesieniu Oulimjam (katalog #011). Te minimalne wymiary dają powierzchnię obszaru rozrzutu Bassikounou co najmniej 75,9 km².

Fragmentacja meteorytu

Dotąd odnaleziono 566 okazów z tego deszczu meteorytów. Wielkość ich waha się od 2 g do 6120 g (Buhl et al. 2007). Ci świadkowie, którzy znajdowali się w kierunku punktu wejścia meteoroidu w atmosferę, widzieli bolid jako jeden obiekt. Można więc przyjąć, że meteoroid wszedł w atmosferę jako pojedyncze ciało.

Dalej wzdłuż trajektorii i w rejonie Bassikounou w sumie 17 świadków widziało bolid jako „trzy płonące kule”. Dwaj świadkowie, znajdujący się 22 km na wschód od Bassikounou, obserwowali końcową eksplozję, która oznaczała początek ciemnego lotu. Trzy do czterech minut po zaobserwowaniu końcowej eksplozji spadły meteoryty w Oum Sdeira i na południe od niego.

Chociaż nikt nie zauważył oznak fragmentacji przed końcowym rozbłyskiem, są dowody, że przed rozbły-

skiem miała miejsce przynajmniej jedna fragmentacja, która podzieliła bolid na trzy fragmenty.

W sumie 324 z zebranych okazów są pokryte grubą, pierwotną skorupą, co oznacza dość długą historię indywidualnego lotu przez atmosferę. Biorąc to pod uwagę jest najbardziej prawdopodobne, że przynajmniej jeden z tych trzech bolidów rozpadł się przed końcowym rozbłyskiem, po którym było już ciemne spadanie.

Warto zauważyć, że większość okazów o stosunkowo długiej historii indywidualnego lotu przez atmosferę ma częściowo widoczne spękania, co wskazuje, że były one poddane znacznemu ciśnieniu albo podczas wcześniejszego zderzenia na ciele macierzystym, albo wskutek kumulującego się nacisku podczas przechodzenia przez atmosferę (Ceplecha et al. 1993, Rajan et al. 1989 i ReVelle 2002).

Ponieważ 15% zebranych okazów ma cienką, wtórną skorupę, albo kombinację pierwotnej i wtórnej skorupy obtopieniowej, można przyjmować, że spękania w wyniku ciśnienia prowadziły do dalszej fragmentacji innych okazów. Niektóre okazy, wśród których najlepszym przykładem jest fragment 495 g (katalog #026), mają brzoги skorupy obtopieniowej zawinięte na powierzchnię po odłupaniu. Wskazuje to na rozpad pod koniec spadania w fazie półpłynnym. Na innych bryłach widać powierzchnię po odłupaniu, z mi-

nimalnymi śladami ogrzewania. Jest to jeszcze jeden dowód na rozpadanie się w końcowej fazie lotu w postaci bolidu.

Wszystkie znaleziska łącznie dowodzą, że po rozpadzie bolidu na trzy kawałki, te fragmenty nadal rozpadały się podczas spadania w fazie bolidu i później.

Ogólne cechy charakterystyczne meteorytów Bassikounou

Dwie trzecie zebranych dotąd okazów mieści się w przedziale wagowym poniżej 3750 g. Znaleziono 22 okazy o wagach >1 kg. Większość brył ważących >500 g ma dość kanciaste kształty, a najbardziej widocznym wyjątkiem jest ważący 860 g (katalog #013) okaz w kształcie tarczy. Większość dużych brył ma regmaglipty przynajmniej na jednej powierzchni; tylko dwie z większych brył mają wyraźną orientację. Okazy ważące poniżej 500 g mają przeważnie zaokrąglony kształt.

Skorupa obtopieniowa jest drobnoziarnista, wyglądająca na aksamitną i matowo-czarna. Na niektórych meteorytach, szczególnie na okazach >500 g, skorupa wygląda na „wypraną” do popielato-szarej. Nieliczne powierzchnie niektórych okazów mają barwę czerwonałą do ciemnobrazowej.

Około 20% odnalezionych dotąd (lipiec 2007) okazów nie ma oznak ziemskiego utlenienia, podczas gdy reszta wykazuje umiarkowane oznaki utlenienia, a niektóre mają nieco wygładzoną skorupę. Nieliczne deszcze w okolicy Bassikounou, które spadły w grudniu i styczniu, dostarczyły dość wilgoci, by wspomóc utlenianie meteorytów.

Podczas gdy niektóre większe bryły mają przynajmniej pojedyncze powierzchnie mocno pokryte spękaniami kontrakcyjnymi, to są tylko bardzo nieliczne bryły <500 g, na których takie spękania się uformowały.

Odmienne od spękań kontrakcyjnych są wyraźne pęknięcia wynikające z naprężeń doświadczanych podczas przelotu przez atmosferę, albo podczas wcześniejszych zderzeń. Te pęknięcia mają do 0,6 mm szerokości i często rozciągają się na powierzchni na kilka centymetrów.

Dwie trzecie znalezionych okazów mają dość dużo przylegającej gleby. Jak wspomniano wcześniej, spotyka się głównie dwa rodzaje resztek gleby:

Pierwszy, ślady czerwonego i pomarańczowego laterytu i piasku, występują w postaci wyraźnych, pomarańczowych i czerwonych smug. Drugi, beżowa glina, spotyka się w postaci latek i szerszych smug zawierających czasem włókna roślinne i składniki wielbłądzich odchodów. Drugą odmianą tej ostatniej gleby jest blado-szara, pylista glina pokrywająca całe powierzchnie, albo wypełniająca szczeliny kontrakcyjne i inne wgłębienia.

Godnym uwagi utworem na około 10% znalezionych okazów są dość duże skupienia troilitu wystające ze skorupy. Ich powierzchnia jest obtopiona, ale wystają ze skorupy na kilka milimetrów, z powodu wyższej temperatury topnienia troilitu niż sąsiadującej materii. Często widać na nich zastygłe strużki i zmianę barwy pod wpływem temperatury.

Drobnoziarnista matriks meteorytu jest jasno beżowo-szara z licznymi żyłkami barwy antracytu biegnącymi przez meteoryt we wszystkich kierunkach. Kanciasty wygląd wielu okazów jest spowodowany fragmentacją wzdłuż tych płaszczyzn szokowych. Występują licznie chondry o wielkości od 0,1 do 1,2 mm, o średniej wielkości 0,35 mm. Skupienia NiFe o barwie chromu mogą osiągać pokaźne rozmiary i czasem pojawiają się w postaci wydłużonych igieł kilkucentymetrowej długości. W niektórych przypadkach widać ich grupowanie się albo równoległy układ.

Petrografia i analiza chemiczna

Wszystkie badania mineralogiczne i petrograficzne przeprowadził zespół z Uniwersytetu i z Muzeum Przyrodniczego w Bernie, w Szwajcarii, w składzie E. Gnos, B. Hofmann i M. Eggiman (Gnos et al. 2007). Oto wyniki:

„Mikrosonda elektronowa pokazała skład oliwinu $\text{Fa}_{18,6}$, piroksenu $\text{Fs}_{16,3}$ $\text{Wo}_{1,1}$, plagioklazu $\text{An}_{13,7}$. Średni skład oliwinu wyznaczony przez XRD jest $\text{Fa}_{17,3}$. Średnia wielkość chondr 0,35 mm ($n=53$). Zawartość metalu jest 8% objętościowo, troilitu 6,6%. Średnia wielkość ziaren plagioklazu jest ~20 μm . Troilit jest polikrystaliczny z licznymi wrostkami krzemianowymi i jego granice z metalem są rozmyte. W metalu są czasem wrostki krzemianów i troilitu. Na granicach kamacytu i taenitu oraz w troilicie występuje rzadko metaliczna Cu (10 μm). Stopień szo-

kowy S2, widocznych jest trochę żyłek szokowych, brak śladów wietrzenia (W0).”

Patrick Weber z Particle Physics Group, Institute of Physics, University of Neuchâtel, zmierzył zawartość kosmogenicznych radionuklidów, która potwierdza, że był to niedawny spadek w październiku 2006: „Gamma-spektroskopia przeprowadzona w grudniu i styczniu 2006 wykazała obecność następujących radionuklidów: ^{48}V , ^{46}Sc , ^{56}Co , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^7Be , ^{51}Cr , ^{57}Co , ^{22}Na , ^{26}Al i ^{60}Co . Przeliczona na 16 października 2006 r. zawartość ^{22}Na była $37,9 \pm 2,2$ dpm/kg a ^{26}Al $31,5 \pm 2,1$ dpm/kg. Stosunek aktywności 1,20 jest całkowicie zgodny ze spadkiem w tym dniu.”

Klasyfikacja meteorytu Bassikounou jest następująca: chondryt zwyczajny (H5), o stopniu szokowym S2 bez oznak wietrzenia (W0).

Początkowa masa i całkowita znana waga

Wiadomo, że z powodu ablacji atmosferycznej chondryty zwyczajne tracą od 50 do 85% ich masy. Wielkość tej straty zależy od prędkości i kąta wejścia w atmosferę, a maksymalna ablacja rozpoczyna się na wysokościach od 80 do 125 km (Rogers et al. 2005 i Ceplecha et al. 1993). Niestety fragmentaryczne obserwacje bolidu Bassikounou nie pozwalają na uzyskanie danych niezbędnych do obliczeń.

Bez dalszych danych obserwacyjnych autorzy nie są obecnie w stanie wyliczyć początkowej masy meteoroidu. O ile wiadomo autorom, nie ma także dostępnych danych ze spektroskopii w promieniach gamma, które pozwoliłyby nam wyznaczyć początkową masę dzięki stosunkom wytwarzania niektórych kosmogenicznych radionuklidów na różnych głębokościach, jak opisali to np. Jenniskens et al. (1993) oraz Eberhardt et al. (1963).

Jedynym sposobem oszacowania początkowej masy jest więc ekstrapolacja całkowitej znanej wagi (TKW). Aby zebrać informacje o TKW, rozkładzie masy i ogólnych cechach meteorytów, autorzy zidentyfikowali i dotarli do znalazców, mieszkańców terenu spadku, dealerów i kolekcjonerów prosząc o informacje o posiadanych okazach. W końcowym stadium tego przedsięwzięcia, autorzy uzyskiwali średnio dane o 20 meteorytach miesięcznie.

Jednak z 26 okazów dostarczonych w czerwcu 2007 r. 21 już było wcześniej skatalogowanych.

Sądząc po liczbie konkretnych meteorytów, o których informacje docierały powtórnie od znalazców, dealerów czy ostatecznych właścicieli, można powiedzieć, że obecny katalog zawiera około 90% okazów zebranych na terenie spadku (średni czas podróży meteorytu Bassikounou z terenu spadku na bazar w Erfoud, Rissani, czy Zagorze w Maroku wynosi 42 dni i 60 dni do USA).

Pod koniec czerwca 2007 r. autorzy uzyskali TKW 93,851 kg. Taka liczba daje początkową masę w przedziale 187–625 kg. Wydłużona trajektoria sugeruje, że kąt wejścia w atmosferę był dość mały, wobec czego początkowa masa powinna być bliżej górnego końca ekstrapolowanego przedziału wartości.

Opisowy katalog odnalezionych okazów

Opisowy katalog deszczu meteorytów Bassikounou obejmuje 108 okazów o łącznej wadze 62,186 kg przedstawionych pojedynczo i dalsze 458 brył o łącznej wadze 31,665 kg pokazanych grupami. Ponad 75 okazów sfotografowano pojedynczo, dalsze 300 okazów w grupach. Katalog został opublikowany w lipcu 2007 r. i jest dostępny na stronie: www.meteorite-recon.com (Buhl et al. 2007).

Wniosek

Przed spadkiem Bassikounou znano w Mauretanii osiem meteorytów i dwa kratery uderzeniowe. Sześć z meteorytów to są znaleziska i tylko dwa to spadki: Aioun el Atrouss, diogenit ważący 1000 g, spadł w Gounquel w południowo-wschodniej Mauretanii 17 kwietnia 1974 r. Kiffa, chondryt zwyczajny o łącznej wadze 1500 g, spadł 23 października 1970 r. o 14:55 (Grady 2000). Bassikounou, trzeci zarejestrowany spadek w Mauretanii, jest jak dotąd największym i najlepiej udokumentowanym spadkiem w historii tego kraju.

Wynikiem badań spadku meteorytu Bassikounou jest publikacja opisująca jego okoliczności, odnalezienie okazy i odbiór w lokalnej społeczności. Autorzy dowodzą, że Bassikounou nie był pojedynczym, lecz wielokrotnym spadkiem w postaci deszczu. Eliptyczny obszar rozrzutu ma minimalne wymiary

23,0 × 3,3 km, pokrywa 75,9 km² i jest zorientowany 210° na południowy południowy zachód. Ponadto publikacja sugeruje możliwy układ fragmentacji oparty na obserwacjach świadków oraz morfologiczne i statystyczne cechy charakterystyczne odnalezionych okazów. Podana jest ocena początkowej masy, która lokuje się w górnym krańcu przedziału 187–625 kg.

Uzupełnieniem publikacji jest katalog odnalezionych okazów, który podaje także wartości rozkładu masy spadku wytwarzającego deszcz i wymienia w sumie 566 pojedynczych okazów o łącznej wadze 93,851 kg.

Mapę obszaru rozrzutu i rozmieszczenie rodzajów gleby można wykorzystać w dalszych badaniach do odtworzenia względnych miejsc znalezienia tych okazów, dla których odnotowano w katalogu określone rodzaje przylegającej gleby.

Podziękowania

Na wdzięczność autorów zasłużyli: dr Beda Hofmann z Uniwersytetu w Bernie, w Szwajcarii, wraz z zespołem za dokładną analizę materiału z Bassikounou. Dalej Hanno Strufe z Niemiec za wydobycie nowego materiału na widok publiczny i podzielenie się informacją o okolicznościach znalezienia okazu 3,165 kg El Moichine. Dieter Heinlein z Europejskiej Sieci Bolidowej w Niemczech podał nam uprzejmie prawidłową interpretację obserwacji bolidu z Mauretanii. Na szczególną wdzięczność zasłużyli prof. Zelimir Gabelica i Tomasz Jakubowski za ich starania, by skontaktować się z francuskimi, belgijskimi i polskimi kolekcjonerami, i za przekazanie danych o meteorytach Bassikounou, które już trafiły do zbiorów prywatnych i instytucjonalnych. W Mauretanii na naszą wdzięczność zasłużył tamtejszy korespondent Mohamed Yahya Ould Abdel Wedoud, szef redakcji *Peace Newspaper* w Nouakshott, za zebranie dla autorów relacji świadków i dostarczenie informacji o samym terenie spadku.

E-mail:
buhl@niger-meteorite-recon.de

Bibliografia

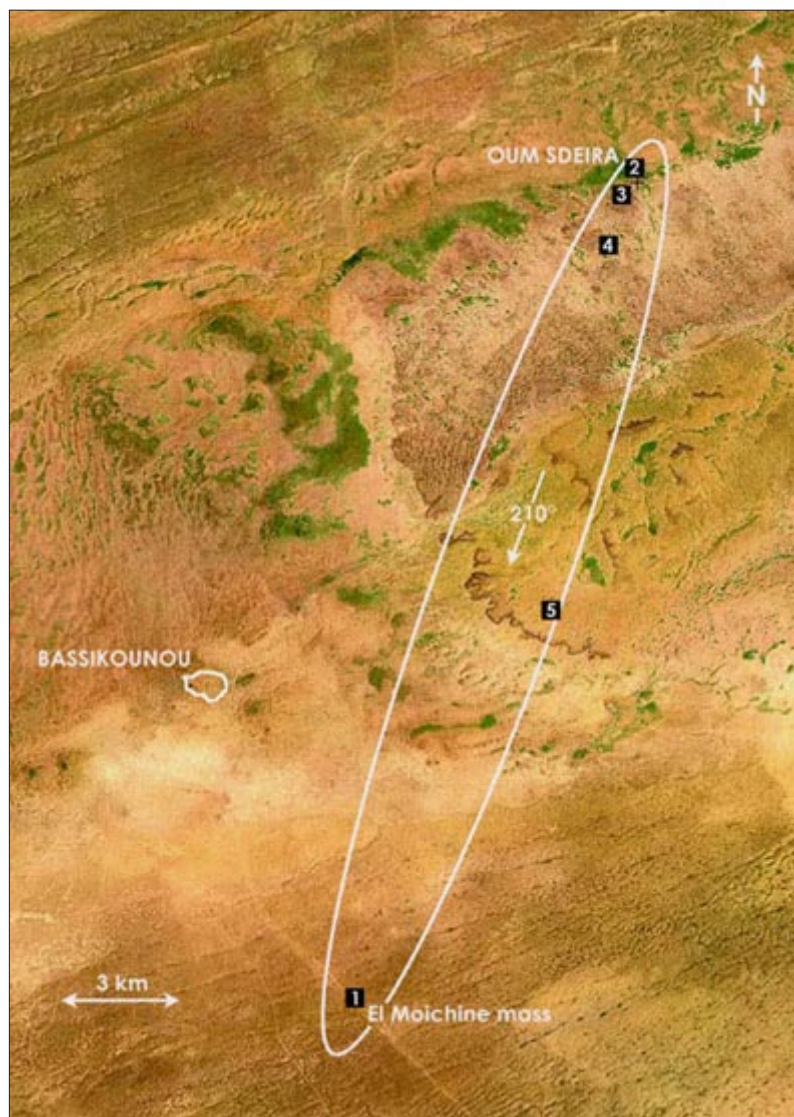
- Abdellah, E. O. 2006. *Chute d'un corps lumineux*. *Horizons* 4340, Oct. 23, 24, 25, 2006, p. 1, 4.
Agence Mauritanienne d'Information (AMI) 2006. *Chute d'un corps lumi-*

neux aux environs de la ville de Bassikounou. Press Release, Oct. 22, 2006, p. 1.

- Bernard J., Lemine M., Diagana and Ricolvi M. 2006. Combination of electrical resistivity and magnetic resonance sounding data for mapping an aquifer layer in Mauritania. *IRIS Instruments*, pp. 1–4.
Buhl S., Baermann M. 2007. The Bassikounou meteorite fall — Descriptive catalog of the recovered masses until June 30 2007, Vol. 1, Niger Meteorite Recon (publikacja na stronie internetowej), p. 19–56.
Cepelch Z., Spurný P., Boruvicka J. and Keclíkova J. 1993. Atmospheric fragmentation of meteoroids. *Astron. Astrophys.* 279:615–626.
Commune de Ain Ehel Taya, Statistiques Demographiques: Résultats du RGPH 2000 des Wilayas, Bassikounou. 2000, 1ff.
Eberhardt P., Geiss J. and Lutz H. 1963. Neutrons in meteorites, In *Earth, Science and Meteoritics* (eds J. Geiss and E. P. Goldberg), pp. 143–168.
Gnos E., Hofmann B. and Eggimann M. 2007. Bassikounou, Meteoritical Bulletin, no. 92. *MAPS* 42:1647–1694, p. 1648
Grady M. M. 2000. *Catalogue of Meteorites*, Fifth Edition.
Institut Geographique National, Nampala, Cartes de L'Afrique del L'Ouest au 1:200 000, Rep. Isl. De Mauritanie Feuille ND 30 XIX.
Jenniskens P., Betlem H., Betlem J., Barifao E., Schlueter T., Hampton C., Laubenstein M., Kunz J. and Heusser G. 1993. The Mbale meteorite shower. *Meteoritics* 29:246–254.
Rajan R.S. and ReVelle D. O. 1989. Why do meteorites break up at low stagnation pressures. *Bulletin of the American Astronomical Society* 21:965.
ReVelle D. O. 2002. Fireball dynamics, energetics, Ablation, Luminosity and Fragmentation modelling, *Proceedings of Asteroids, Comets, Meteors — ACM*, conference presentation.
Rogers L.A., Hill K. A. and Hawkes R. L. 2005. Mass Loss Due to Sputtering and Thermal Processes in Meteoroid Ablation. *Planetary and Space Science* 53:1341–1354.



Fot. Tomasz Jakubowski



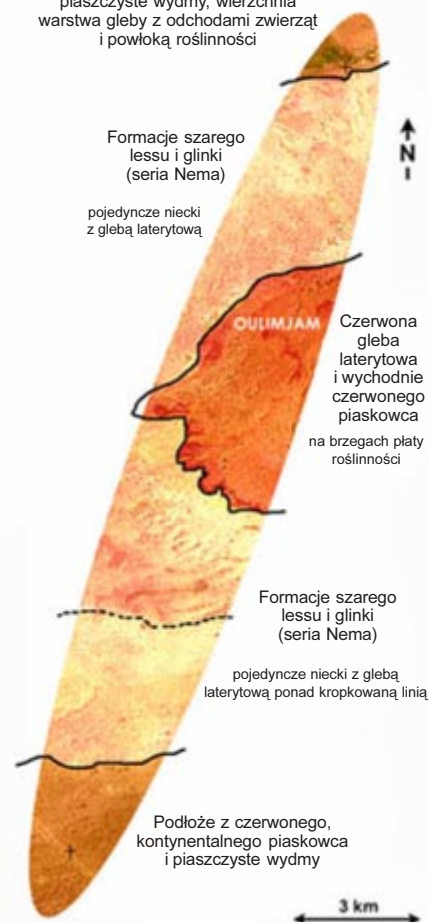
Fot. 3. Elipsa rozrzutu deszczu meteorytów Bassikounou na tle zdjęcia z Landsata o rozdzielczości 25 m. Liczby wskazują miejsca znalezienia okazu El Moichine (1) (kat. # 001), kilku mniejszych brył o nieznanej wadze (2, 3, 4) i okazu 1,304 kg (5) znalezionego na Djebel Oulimjam (katalog # 011). Ponieważ znaleziono co najmniej cztery okazy większe od El Moichine (1), trzeba przyjąć, że obszar rozrzutu rozciąga się dalej na południe, najprawdopodobniej nawet dalej, niż ostrożne oszacowanie 2 km oznaczone przez krawędź elipsy. W momencie spadku był słaby wiatr troposferyczny z północnego wschodu. Orientacja obszaru rozrzutu zgadza się z trajektorią meteorytu wyznaczoną na podstawie obserwacji świadków.



Fot. 5. Smugi czerwonych, przylepionych minerałów na okazie 3165 g, El Moichine, (katalog #001). Według podanego miejsca znalezienia ten meteoryt spadł na teren z występującym licznie podłożem z czerwonego, kontynentalnego piaskowca.

Geomorfologiczny klucz porównawczy dla przylepionej gleby i śladów zderzenia na meteorytach Bassikounou

Czerwony, kontynentalny piaskowiec, piaszczyste wydmy, wierzchnia warstwa gleby z odchodami zwierząt i powłoką roślinności



Fot. 4. Geomorfologiczny klucz porównawczy dla przylepionej gleby i innych śladów uderzenia zauważonych na okazach Bassikounou. Dla większości zebranych meteorytów nie zanotowano miejsca znalezienia. Jednak smugi gleby przylepionej podczas uderzenia występują licznie na wielu okazach. Na niektórych meteorytach są włókna roślin i składniki zwierzęcych odchodów. Połączony z opisowym katalogiem (Buhl et al. 2007), który zawiera te znaleziska, i ogólnym modelem rozkładu masy w elipsach rozrzutu meteorytów, ten klucz porównawczy pozwala na względne przypisanie odnalezionych meteorytów do konkretnej części obszaru rozrzutu.

Dr Svend Buhl: poszukiwacz meteorytów, miłośnik pustyni, autor książek popularnonaukowych i fotograf, powrócił niedawno z udanej meteorytowej ekspedycji na pustynię Rub' al-Khali. W życiu codziennym pracuje jako konsultant d/s współpracy z rządem w Hamburgu, w Niemczech. Mathias Baermann: Baermann Publishing, Laupheim Germany

Dr. Beda Hofmann: Earth and Science Department, Natural History Museum Bern, Bern, Switzerland

Dr. Partick Weber: Particle Physics Group, Institute of Physics, University of Neuchâtel, Neuchâtel, Switzerland

Dr. Edwin Gnos: Curator, Museum of Natural Sciences, Geneva, Switzerland.