BIULETYN MIŁOŚNIKÓW METEORYTÓW

# METEORYT

Nr 1 (85) Marzec 2013

W numerze:


- Chondryty węgliste CV
- Kopalne meteoryty
- Kowadło z Gibeona
- Chondryty typu Rumuruti
- Nowy spadek w Oslo
- Radarowe wykrywanie spadków meteorytów
- Kosmiczna papryczka

## Czelabińsk

# METEORYT

**kwartalnik dla miłośników meteorytów**

Wydawca:

Olsztyńskie Planetarium
i Obserwatorium Astronomiczne
Al. Piłsudskiego 38
10-450 Olsztyn

tel. (0-89) 533 4951

opioa@planetarium.olsztyn.pl

konto:

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

Kwartalnik jest dostępny głównie w prenumeracie. Roczna prenumerata wynosi w 2013 roku 44 zł. Zainteresowanych prosimy o wpłacenie tej kwoty na konto wydawcy nie zapominając o podaniu czytelnego imienia, nazwiska i adresu do wysyłki. Wydawca dysponuje także numerami archiwalnymi.

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

Redaguje i tłumaczy większość tekstów:
Andrzej S. Pilski
skr. poczt. 6
14-530 Frombork
tel. kom. 696 805 247

aspmet@wp.pl

Redakcja techniczna i skład komputerowy: Jacek Drążkowski

Druk: Drukarnia *Jan*, Lidzbark W.

## METEORITE

THE INTERNATIONAL QUARTERLY OF METEORITES
AND METEORITE SCIENCE

Arkansas Center for Space
and Planetary Sciences
FELD 202
University of Arkansas
Fayetteville, AR 72701, USA

Email:metpub@uark.edu

http://meteoritemag.uark.edu

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


## *Od redaktora:*

*Zastanawiając się w poprzednim numerze nad kontynuowaniem wydawania „Meteorytu" przywołałem argument, że w meteorytowym świecie tak dużo się dzieje, że szkoda by było przestać o tym pisać. I zaraz, by utwierdzić mnie w tym przekonaniu, spadł deszcz meteorytów koło Czelabińska. Dzięki internetowi można było śledzić na bieżąco jego skutki, ale medialna wrzawa ucichła, zanim pojawiły się wiarygodne wyniki badań. Na szczęście Svend Buhl opisał dokładnie to wydarzenie na swojej stronie http://www.meteorite-recon.com/en/Meteorite_Chelyabinsk_1.html i zgodził się na przetłumaczenie swej relacji dla „Meteorytu", za co w imieniu czytelników serdecznie dziękuję.*

*Mieszkańcy wsi zbombardowanych przez kamyki z nieba szybko zorientowali się, jak można te kamyki znaleźć w głębokim śniegu, i wyruszyli na łowy. Zanim świeży śnieg zakrył ślady, zebrano setki okazów, co widać obecnie na aukcjach internetowych i w ofertach dealerów. Ceny są raczej astronomiczne, ale piękne kształty oferowanych okazów można obejrzeć za darmo.*

*Wydaje się, że czelabiński deszcz meteorytów rozwiązał przy okazji zagadkę Bolidu Tunguskiego, który spadał w bardzo podobny sposób: rankiem, od wschodu i pod małym kątem do powierzchni ziemi. Przypomnę, że szkody w Czelabińsku spowodowała fala uderzeniowa, a meteoryty spadły kilkadziesiąt kilometrów dalej. Analogicznie, wielokrotnie silniejsza eksplozja nad Podkamienną Tunguską powaliła kawał lasu, a meteoryty prawdopodobnie spadły dalej na zachód, gdzie nikt ich nie szukał. Natomiast szukanie meteorytów w powalonym lesie dało taki sam wynik jak szukanie meteorytów w samym Czelabińsku.*

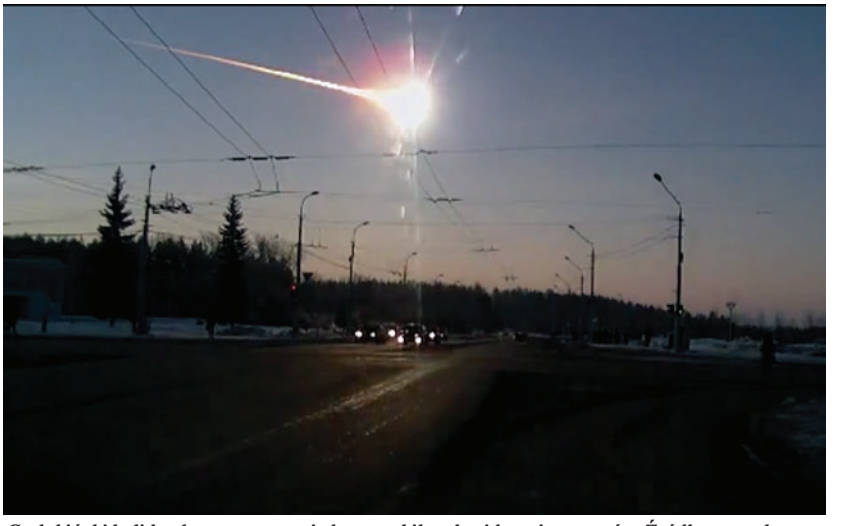
*Czelabiński deszcz może także wyjaśniać, skąd wzięły się relacje o zniszczeniach spowodowanych przez meteoryty w miejscowościach na terenie dzisiejszych Niemiec, skoro meteoryty spadły w Wielkopolsce. Pierwsze doniesienia z Czelabińska o spadających z nieba ognistych bryłach, które spowodowały zniszczenia i raniły wiele osób, do złudzenia przypominały zapiski w średniowiecznych kronikach. Ówcześni kronikarze mieli jednak znacznie mniejsze możliwości weryfikowania, jak było naprawdę.*

*Meteoryt Chelyabinsk został sklasyfikowany w błyskawicznym tempie, bo już miesiąc po spadku oficjalne dane zostały opublikowane w Meteoritical Bulletin http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=57165*

*Jest to chondryt zwyczajny LL5 o stopniu szokowym S4 i stopniu zwietrzenia W0. Ponieważ meteoryty wylądowały miękko w śniegu, mają wspaniale zachowaną skorupę, bez żadnych otarć.*

*Czerwcowy numer „Meteorite" ma być w całości poświęcony deszczowi meteorytów koło Czelabińska, więc zapewne do tego tematu jeszcze wrócimy.*

*Andrzej S. Pilski*



***Czelabiński bolid uchwycony przez jeden z mobilnych wideorejestratorów. Źródło: youtube.com***

***Okładka: Okazy meteorytu Chelyabinsk zebrane w ciągu pierwszych trzech dni po spadku w pobliżu wsi Deputatskij i Jemanżelińsk. Fot. P. Muromow.***
***U góry: Kilka wydobytych ze śniegu i odwróconych rdzeni lodowych z wciąż przytwierdzonymi meteorytami. Fot. D. Nużnienko.***

# Ogień, lód i meteoryty.
## Poszukiwanie resztek czelabińskiego superbolidu

**Svend Buhl**

### Czelabiński meteor

Krótko po 9.20 czasu jekaterynburskiego, 15 lutego 2013 roku pojawił się nad obwodem czelabińskim jasny, eksplodujący meteor. Powietrzna eksplozja bolidu wytworzyła falę uderzeniową, która dotarła do centrum Czelabińska 1 minutę i 24 sekundy po pierwszym jasnym rozbłysku i spowodowała znaczne szkody w mieście i okolicy. Ponad 1200 osób zostało pokaleczonych odłamkami szkła z rozbitych okiennych szyb, które zostały wepchnięte do wewnątrz przez falę uderzeniową. Zawaliły się dachy, popękały futryny drzwi i włączyły się alarmy samochodowe w całym mieście.

Bolid — w gruncie rzeczy superbolid — został wywołany przez dość niewielką planetoidę, o wielkości około 17 metrów, która wpadła w ziemską atmosferę z prędkością około 30 km/s pod wyjątkowo małym kątem. Chociaż atmosfera wyhamowała bolid do prędkości około 19 km/s, opór powietrza wzrósł tak, że pod nadmiernym naciskiem planetoida zaczęła rozpadać się na kawałki na wysokości ~25 km. Zakończyło się to eksplozją o energii równoważnej 90 kilotonom TNT, którą zarejestrowały stacje sejsmiczne na całej kuli ziemskiej. Pierwsze obliczenia NASA/JPL skorygowały zaniżone oceny Rosyjskiej Akademii Nauk (~10 ton) i podały początkową masę czelabińskiego meteoroidu 11 000 ton, czyniąc go największym obiektem, jaki zderzył się z Ziemią od czasu bolidu tunguskiego w roku 1908.

Seria kolejnych eksplozji, trwających do wysokości 15 km, wytworzyła deszcz fragmentów różnej wielkości, które spadły jako meteoryty na eliptyczny obszar o wielkości co najmniej 65 × 6 km, rozciągający się od małej wioski Jemanżelińsk, na południe od Czelabińska, ku południowemu zachodowi od Czebarkuli.

Około 9.20 czasu jekaterynburskiego rybacy łowiący przez dziury w lodzie przy brzegu jeziora Czebarkul zobaczyli duży obiekt uderzający w lód jeziora: „Najpierw pojawiła się na niebie jasna plama, która szybko rosła i jaśniała. Potem widać było eksplozję, która dała około 7 fragmentów, które poleciały w różne strony. Jeden spadł przy brzegu jeziora z przeciwnej strony, niż miasto, wyrzucając słup wody, lodu i pary. W lodzie pojawiła się duża, idealnie okrągła dziura o średnicy około 7—8 metrów". Świadkowie byli przekonani, że fragment uderzający w jezioro musiał być wciąż gorący, ponieważ nie widzieli innego wytłumaczenia pary i syczącego dźwięku, które wydostały się z dziury po uderzeniu.

W następnych dniach to miejsce często odwiedzały krajowe i zagraniczne ekipy telewizyjne. Na nagraniach widać przy brzegu dziury małe, poniżej centymetra, fragmenty meteorytu znalezione między wyrzuconymi z otworu kawałkami lodu. Nurkowie badający dno jeziora uskarżali się na złą widoczność i nie znaleźli żadnej dużej bryły, ale badania magnetyczne zrobione na początku marca pokazały kilka dużych anomalii najprawdopodobniej sygnalizujących resztki meteorytu.

Spadły jednak nie tylko duże fragmenty. Po eksplozji powietrznej tysiące małych fragmentów meteorytu, wyhamowane przez opór powietrza do prędkości 90—80 m/s, spadły na terenach na południe od Czelabińska. Podczas gdy zniszczenia w Czelabińsku były spowodowane przez falę uderzeniową po eksplozji, to w dwóch wioskach na południe od Czelabińska meteoryty rzeczywiście uderzyły w budowle i samochody; niektóre podobno powybijały szyby i zrobiły wgniecenia w dachach samochodów. Aleksandra Gerasimova, 61-letnia emerytowana dojarka, powiedziała, że gdy stała na dworze z mężem i patrzyła na chmurę pyłu po bolidzie to uderzył ją mały meteoryt, który zrobił dziurę w kurtce i utknął w podszewce.

*Uszkodzone okno w Jemanżelińsku. Fot. P. Muromow.*

W momencie spadku teren był pokryty śniegiem o grubości 30—80 cm. Kilkanaście małych kamyków, które spadły na samochody i oczyszczone drogi, mieszkańcy znaleźli zaraz po spadku we wsiach Deputatskij i Jemanżelińsk. W ciągu następnych kilku godzin kolejne meteoryty znaleziono na dnie dołków uderzeniowych, które były widoczne w śnieżnej pokrywie. Wiadomość o tym, że meteoryty moż-

*Obszar rozrzutu na północ od Jemanżelińska, 18 lutego 2013 r. Fot. P. Muromow.*

na znaleźć na dnie otworków w śniegu, rozeszła się szybko i wkrótce dzieci z wiosek przy końcu elipsy rozrzutu zrobiły zawody w zbieraniu meteorytów. Od razu pojawił się lokalny rynek na okazy meteorytów rozwijający się w ciągu kolejnych dni z powodu rosnącej liczby meteorytowych turystów, dziennikarzy i naukowców odwiedzających teren spadku.

## Poszukiwania meteorytów

Przez pierwsze pięć dni po spadku poszukiwania okazów meteorytu Czelabińsk skupiały się na dwóch lokalizacjach: Otwór w lodzie na jeziorze Czebarkul oraz pola i zamarznięte jeziora między wsiami Deputatskij i Jemanżelińsk (włącznie z terenami na południe od Pierwomajskiego i na północ od Zauralskiego). Większość fragmentów znalezionych wokół otworu w lodzie ważyła poniżej 10 g, ale na równinach między Pierwomajskim a Deputatskim znaleziono kilkanaście większych okazów; wśród nich ważące 60,3 g, 63,0 g, 106,2 g i 112,2 g.

Między 18 a 28 lutego zorganizowano dwie ekspedycje. W pierwszej uczestniczyli eksperci z Rosyjskiej Akademii Nauk, którzy znaleźli w sumie 50 okazów, chociaż przeważnie były to mniejsze fragmenty <30 g. Druga ekspedycja terenowa, którą kierował Wiktor Grochowski z Uralskiego Federalnego Uniwersytetu w Jekaterynburgu, znalazła następne 50 meteorytów, włącznie z ładnie pokrytym regmagliptami, całym okazem, ważącym 1,8 kg, który znaleziono koło Deputatskiego. Chociaż poszukiwania prowadzone przez te dwa zespoły sponsorowane przez instytuty zakończyły się niewątpliwie sukcesem, to przeważającą większość odnalezionych okazów czelabińskiego meteorytu zebrały prywatne osoby.

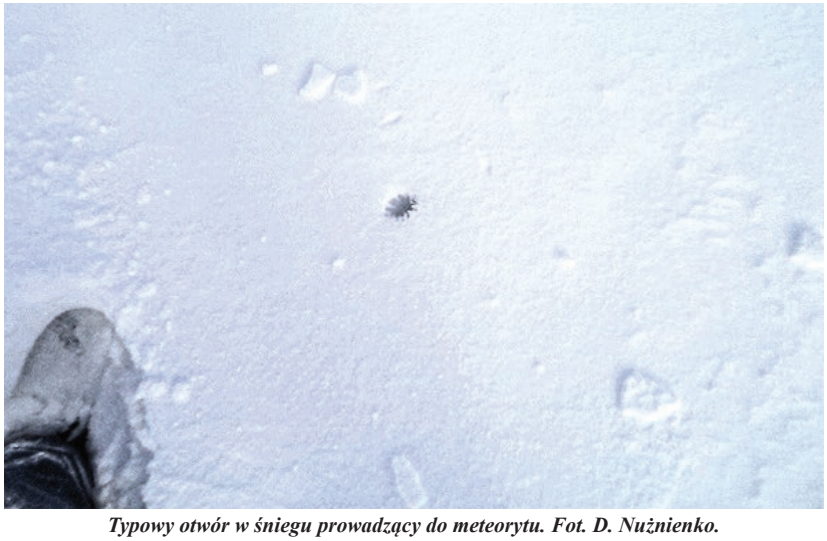
## Tunele impaktowe i lodowe rdzenie

Jednym z prywatnych zespołów poszukiwaczy, który odniósł największe sukcesy, był zespół kierowany przez Dmitrija Nużnienko, założyciela i właściciela pierwszego rosyjskiego sklepu meteorytowego ‚Meteorite'. Do 19 lutego ekipa Nużnienki znalazła około 160 meteorytów, z których wiele fotografowano na miejscu, w śniegu.

Od pięciu do dziesięciu dni po spadku przeciętny tunel impaktowy nad meteorytem był 3 do 4 razy szerszy niż sam meteoryt. W tym czasie sypki śnieg wypełnił dolną połowę tuneli impaktowych, po czym zagęścił się i zamarzł przechodząc w lód. Tak więc po zauważeniu dziurki w śniegu odnajdowano zwykle meteoryt odgarniając delikatnie górną warstwę śniegu aż do odsłonięcia zlodowaciałego rdzenia. Ten można było wyciągnąć ze śniegu i zazwyczaj do jego dolnego końca był przylepiony meteoryt. Ten sposób udokumentowało wiele zespołów i jesteśmy wdzięczni D. Nużnienko za serię zdjęć, które pokazują szczegółowo ten proces.

Rozważano kilka teorii na temat formowania się tych lodowych rdzeni w tunelach impaktowych. W tym przypadku najbardziej oczywiste wyjaśnienie jest zarazem tym, które najłatwiej odrzucić. Powszechna opinia — że meteoryty były jeszcze ciepłe, więc stopiły śnieg wypełniający tunel impaktowy — może być z całą pewnością wykluczona. Małe meteoryty, jakie znajdowano w pierwszych kilku dniach po spadku, mają zbyt małą masę, by zatrzymać trochę energii cieplnej wchłoniętej podczas atmosferycznej ablacji. Zamiast tego podczas spadania z wysokości co najmniej 15 km, co trwało kilka minut, kiedy temperatura otoczenia meteorytów była –85°F, one ostygły niemal momentalnie. Gdy uderzały w śnieg, już dawno były wystudzone do temperatury otoczenia — prawdopodobnie nawet niższej niż temperatura na powierzchni (5°F).

Znalazcy w Pierwomajskim mówili, że kamienie odnalezione 15 i 16 lutego znaleziono po prostu macając



*Typowy otwór w śniegu prowadzący do meteorytu. Fot. D. Nużnienko.*

w śniegu jakieś 20—50 cm poniżej widocznego otworu. Filmy ukazujące znalazców wydostających te kamyki spod śniegu potwierdzają, że meteoryty znalezione krótko po spadku były wolne od lodu. Tak więc jest prawdopodobne, że lodowe rdzenie utworzyły się z opóźnieniem przynajmniej dwóch do trzech dni po spadku.

Proces kontrolujący ich formowanie się jest tym samym, który jest odpowiedzialny za tworzenie się gruboziarnistej skorupy na śniegu. W wyniku fluktuacji temperatury kryształy śniegu na powierzchni ulegają nieustannej niszczącej metamorfozie. Kryształy zyskują bardziej zaokrąglone kształty i tracą dendrytową strukturę. Natomiast kryształy śniegu w głębszych warstwach ulegają metamorfozie wzrostowej i tworzą większe dendrytowe kryształy, których struktura jest dość krucha wskutek uwięzionego w nich powietrza. Oba mechanizmy działają w warunkach poniżej zera.

Tunele impaktowe, które były następnie wypełnione przez luźno upakowane osady naniesionych przez wiatr kryształów śniegu, przeniosły powierzchniowe procesy do głębszych warstw i kryształy śniegu były przekształcane w duże przeplatające się ziarna lodu. Ten mechanizm był jeszcze intensyfikowany przez większą wilgotność powietrza w tunelu, i w rezultacie powstawały lodowe

*Skorupa na ważącym 23 g okazie meteorytu Chelyabinsk.*

rdzenie wypełniające tunele impaktowe i sięgające do meteorytów, które przyklejały się do ich dna (proces ten zaproponował W. Groezinger na jgr-apolda.eu).

Około 25 lutego nowe opady śniegu zakryły małe otworki na powierzchni uniemożliwiając dalsze szukanie meteorytów.

## Zewnętrzna morfologia czelabińskich meteorytów

Wyniki pierwszej, wstępnej klasyfikacji opublikowała RIA Novosti 28 lutego. Michaił Nazarow, szef Instytutu Wiernadzkiego Geochemii i Chemii Analitycznej Rosyjskiej Akademii Nauk, powiedział mediom, że meteoryt, który spadł koło Czelabińska 15 lutego, jest chondrytem zwyczajnym typu petrologicznego LL5 o stopniu szokowym S4. Rosyjska Akademia Nauk zgłosiła nowy meteoryt o nazwie Chelyabinsk do Komisji Nazewnictwa Meteoritical Society i został on już oficjalnie zarejestrowany: http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=57165

Większość odnalezionych dotąd meteorytów uległa silnej ablacji i ma zaokrąglone krawędzie oraz wyraźną skorupę obtopieniową o grubości 0,2—0,5 mm. Wtórna, cieńsza skorupa jest częsta na wielu powierzchniach, nawet na najmniejszych okazach <1 g. Ponieważ rozpadanie się meteorytów trwało podczas ciemnej fazy spadania, wiele okazów ma rozłupane powierzchnie, na których są tylko słabe ślady ablacji atmosferycznej lub wcale ich nie ma.

Ogólnie zabarwienie skorupy obtopieniowej jest głównie funkcją zawartości żelaza, składu mineralogicznego meteorytu i zakresu temperatur topnienia i wynikającej z tego lepkości stopu na powierzchni meteorytu. Barwa skorupy obtopieniowej na wielu okazach meteorytu Chelyabinsk nie jest typowo matowo czarna lecz czerwonawo brązowa. Często na meteorytach Chelyabinsk widać kilka różnych odmian brązu na różnych powierzchniach jednego okazu. Ponieważ ta czerwono-brązowa barwa jest widoczna także na okazach znalezionych kilka godzin po spadku, sądzimy że w wielu przypadkach nie

*Skorupa z naciekami na okazie 112,2 g meteorytu Chelyabinsk.*

*Brekcjowa budowa okazu 122 g meteorytu Chelyabinsk.*

jest to efekt ziemskiego wietrzenia. Różnice barwy są natomiast spowodowane różną zawartością magnetytu (i wüstytu) w skorupie na przeciwnych stronach. Te z kolei są kontrolowane przez podaż atmosferycznego tlenu i temperaturę procesu utleniania. Na przykład wysoka próżnia na tylnej stronie redukuje lub blokuje dostarczanie atmosferycznego tlenu do reakcji. Ponieważ większość meteorytów chaotycznie koziołkuje podczas atmosferycznej ablacji, musimy oczekiwać, że różne barwy i tekstury występują na meteorycie naprzemiennie. Ponieważ skorupa obtopieniowa odnalezionego okazu zachowała tylko końcową sekwencję ablacji, to wzór, jaki obserwujemy, stanowi bardziej migawkę z tego procesu niż jego historię. W scenariuszu wielokrotnego rozpadu, gdzie dziesiątki tysięcy okazów są tworzone w ciągu sekund, i nadal sukcesywnie się rozpadają, jest prawdopodobne, że dla gromad meteorytów chwilowe środowiska o małej zawartości tlenu są także tworzone przez turbulencje i bliskie próżni ślady poprzedzających okazów.

*Chelyabinsk, 277 g.*

Rozłupane powierzchnie, które nie uległy ablacji atmosferycznej, często ukazują wyraźne żyłkowanie szokowe, zbrekcjowanie i spękania planarne. Częste są pojedyncze, centymetrowej wielkości kieszenie topnienia, które także występują jako odrębne okazy meteorytów. Liczne płaszczyzny szokowe, wzdłuż których meteoryt rozpadał się w atmosferze, często ukazują lustra tektoniczne. Na niektórych fragmentach te płaszczyzny szokowe stanowią całe powierzchnie.

## Dyskusja o własności

Okazy meteorytu Chelyabinsk były wymieniane i sprzedawane już 15 lutego, w dniu jego spadku. 16 lutego pierwsze okazy pojawiły się na rosyjskim portalu internetowym avito.ru i zostały sprzedane różnym nabywcom w Rosji i za granicą. 18 lutego strony internetowe rosyjskich mediów donosiły, że naukowcy uważają handel okazami tego meteorytu za nielegalny, i że w konsekwencji meteoryty znajdujące

się w rękach prywatnych będą konfiskowane. To z kolei zostało zdementowane przez rosyjskie firmy prawnicze i adwokatów, którzy wykazali, że nie istnieje obecnie prawo, które by zabraniało posiadania i sprzedawania meteorytów w Rosji i za granicę.

Chociaż jest prawdą, że kodeks praw byłej carskiej Rosji z roku 1832 deklaruje, że meteoryty są własnością rządu, to jest także prawdą, że ten kodeks stracił ważność z oczywistych powodów po rosyjskiej rewolucji w 1917 r. Od roku 1996 obowiązuje Kodeks Cywilny Rosyjskiej Federacji. Zawiera on paragraf o prawie górniczym (który istotnie wspomina o meteorytach), ale prawo górnicze dotyczy tylko zasobów znajdujących się pod glebą, co oznacza, że nie można go stosować do obiektów na powierzchni. Natomiast stosownym paragrafem jest § 2,129 Kodeksu Cywilnego. Nie wymienia on meteorytów w spisie obiektów, które automatycznie stają się własnością rządową. Tak więc adwokat i rosyjski ekspert prawniczy Rusłan Koblew wyjaśnił, że osoba znajdująca meteoryt w Rosji ma prawo zrobić z nim co tylko zechce.

***Przykładowa oferta krótko po spadku. Obecnie ceny na aukcjach są już dwukrotnie niższe.***

Jednak rosyjskim naukowcom nie podoba się pomysł, że prywatne osoby mogą zatrzymać, lub sprzedać meteoryty, które znalazły. Dyrektor Instytutu Wiernadzkiego Geochemii i Chemii Analitycznej, Erik Galimow, powiedział gazecie Izwiestia, że zabieranie okazów meteorytów utrudnia pracę naukowców. Członek Komitetu Nauki i Techniki rosyjskiej Dumy, Wiktor Grochowski, wyjaśnia dlaczego: *Jeśli zachodni naukowcy opublikują analizy czelabińskiego meteorytu przed naszymi badaniami, to generalnie zmniejszy to prestiż rosyjskiej nauki* — powiedział gazecie Izwiestia.

RIA Nowosti donosiła 26 lutego, że rosyjscy naukowcy zaapelowali do federalnej służby celnej, by nie pozwolić na eksport okazów meteorytu Chelyabinsk. Nie było jednak podstawy prawnej, by zakazać eksportu. Wobec tego zgłoszono w rosyjskiej Dumie propozycje ustawy, by zabronić eksportu meteorytów, które spadły na terytorium Rosji. Decyzja Komitetu Nauki i Techniki Dumy w tej sprawie miała być ogłoszona 6 lub 7 marca, ale ta data minęła i żadnej decyzji nie opublikowano. Zobaczymy, czy taki zakaz będzie korzystny dla celów Akademii Nauk, skoro tak wiele okazów już sprzedano przed jego wprowadzeniem.

*Dr Svend Buhl, poszukiwacz meteorytów, miłośnik pustyni, autor książek popularnonaukowych i fotograf, prowadzi stronę http://www.meteorite-recon.com/ na której opisuje meteoryty i swoje wyprawy. W „prawdziwym życiu" pracuje jako konsultant do spraw kontaktów z rządem w Hamburgu, w Niemczech.*

***Poszukiwacze w terenie.***

# Chondryty węgliste CV

**Alan Rubin**

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

Ósmego lutego 1969 roku, jeden z najważniejszych meteorytów, jakie spadły na Ziemię w najnowszych czasach, rozsypał się nad północnym Meksykiem koło wsi Pueblito de Allende. Jak się ocenia, na obszar rozrzutu o długości kilkudziesięciu kilometrów spadło około dwóch ton materii. Kilka muzeów (i dość dużo prywatnych grup) zorganizowało ekspedycje na miejsce spadku i odnaleziono tysiące pokrytych skorupą okazów. Meteoryt spadł pięć miesięcy przed lądowaniem na Księżycu Apolla 11 i wielu naukowców zajmujących się planetami, pragnących wypróbować swe najnowocześniejsze przyrządy, pospieszyło analizować ten nowy meteoryt. Allende stał się w końcu najbardziej intensywnie badanym meteorytem w historii, a wielu badaczy skupiło się na jego kolekcji rozmaitych CAI.

Allende jest najbardziej znanym członkiem grupy chondrytów węglistych CV, która obecnie liczy około 225 meteorytów (nie biorąc pod uwagę ewentualnego pochodzenia z tych samych spadków). Charakterystycznymi cechami tej grupy są duże chondry, duże CAI i dużo materii matrix (~35 vol.%). Jednak nie wszystkie chondryty CV są takie same. Niektóre, takie jak Vigarano (prototyp grupy), zawierają sporą ilość ubogiego w nikiel metalu i siarczku; inne, jak Allende, zawierają przeważnie metal i siarczek bogaty w nikiel oraz dużo magnetytu. McSween (1977) zauważył te różnice i podzielił chondryty CV na podgrupy zredukowanych i utlenionych.

Nowsze prace (Weisberg et al., 1997; Krot et al., 1998, 2005) pokazały, że w rzeczywistości są trzy podgrupy CV: (1) Podgrupa zredukowanych (CVW) jest identyczna z zaproponowaną przez McSweena. Należą do nie takie meteoryty jak Leoville, Efremovka, Arch i Vigarano, które cechuje dość wysoka zawartość metalu, mało niklu w metalu, mało niklu w siarczku, niewiele magnetytu i brak krzemianów warstwowych. (2) Główną cechą podgrupy utlenionych typu Allende ($CV3_{OxA}$) jest to, że pierwotne minerały chondr zostały zastąpione przez magnetyt, siarczek z dużą zawartością niklu, żelazowy oliwin (Fa 30-60) i skaleniowce. (3) Podgrupę utlenionych typu Bali ($CV3_{OxB}$) cechują liczne krzemiany warstwowe i chondry, w których pierwotne minerały zostały zastąpione przez krzemiany warstwowe, magnetyt, siarczek z dużą zawartością niklu, bardzo żelazowy oliwin (Fa 95-100) i hedenbergit. Z tych dwóch utlenionych podgrup $CV3_{OxB}$ jest tą, która w większym stopniu uległa przeobrażeniu; zawiera więcej materii matriks, mniej metalu, więcej magnetytu, bardziej żelazowy oliwin i więcej krzemianów warstwowych niż podgrupa $CV3_{OxA}$. Przyjmuje się powszechnie, że przeobrażenia, które dotknęły utlenione chondryty CV, zostały spowodowane upłynnieniem wody w ciele macierzystym (np. Krot et al., 1998).

Wszystkie te trzy podgrupy CV mają z grubsza podobny rozkład wieku ekspozycji na promieniowanie kosmiczne (Scherer and Schultz, 2000), co jest zgodne z tym, że pochodzą one z tej samej macierzystej planetoidy.

Badacze już dawno zauważyli, że chondry i CAI są wyraźnie uszeregowane w zredukowanym chondrycie CV Leoville, ale brak jest zauważalnego uszeregowania w niektórych innych okazach CV, takich jak Allende (Martin et al., 1975; Muller and Wlotzka, 1982; Kracher et al., 1985; Cain et al., 1986). Na podstawie moich własnych badań i danych z literatury stwierdziłem, że te chondryty CV, które mają silne uszeregowanie cząstek, niemal wszystkie maja stopień szokowy S3 albo S4. Należą do nich członkowie zredukowanej podgrupy ($CV_{3R}$) [Leoville, Vigarano, Efremovka, Arch, NWA 7107 i Y 981208] oraz członkowie utlenionej podgrupy Bali ($CV3_{OxB}$) [ALH 85006, Bali, Grosnaja i MCY 05219]. Jednak żaden z członków utlenionej podgrupy Allende ($CV3_{OxA}$), z których niemal wszystkie mają stopień szokowy S1, nie ma wyraźnego uszeregowania cząstek. Widać więc wyraźnie, że istnieje korelacja między stopniem szokowym, a stopniem uszeregowania cząstek w chondrytach CV.

Co powoduje uszeregowanie cząstek? Prawdopodobnie jest ono wytwarzane przez zderzenia. Wśród chondrytów zwyczajnych występują korelacje między stopniem zdeformowania pierwotnie kulistych chondr, uszeregowaniem ziaren metalu, a różnymi wskaźnikami szoku (takimi jak stopień zdeformowania ziaren oliwinu i zakres zmniejszenia zawartości rzadkich gazów w skale) (Sneyd et al., 1988; Gattacceca et al., 2005). Te korelacje zyskały potwierdzenie poprzez doświadczenia z Allende i CM2 Murchison, które pokazały, że umiarkowany szok może spłaszczyć chondry i wytworzyć uszeregowanie cząstek (Nakamura et al., 1995; Tomeoka et al., 1999). Następuje to ponieważ pory w matriks zapadają się wskutek ciśnienia szokowego i chondry są wciskane w te pory (Scott et al., 1992; Nakamura et al., 1995).

Istnieją różnice między zredukowanymi i utlenionymi podgrupami jeśli chodzi o porowatość w całej skale. Macke et al. (2011) stwierdzili, że porowatość zredukowanych chondrytów CV jest dość niska (0,6—8%), podczas gdy porowatość utlenionych chondrytów CV jest znacznie wyższa (typowo 20—28%).

## Co to wszystko znaczy?

Rubin (2012) zaproponował, że zredukowane chondryty CV uformowały się z materii, która uprzednio została zagęszczona na macierzystej planetoidzie przez zderzenia. Uderzenia z prędkością kosmiczną w ten już zagęszczony materiał zszokowały wiele zredukowanych chondrytów CV do stopnia S3-S4 i wytworzyły

*NWA 4446 CV3 1093g. Fot. Tomasz Jakubowski*

w nich uszeregowanie cząstek — dość mała liczba porów została spłaszczona wskutek ciśnienia szokowego, a chondry zostały wciśnięte w dostępne pory. Te zredukowane chondryty $CV3_R$ pozostały stosunkowo mało przeobrażone i nie zostały utlenione nawet gdy woda została upłynniona przez uderzeniowe ogrzanie krzemianów warstwowych czy lodu w ciele macierzystym. Stało się tak dlatego, że niewielka porowatość tych skał pozwoliła przesączyć się dość małej ilości wody powodującej przeobrażenia.

W przeciwieństwie do nich dwie utlenione podgrupy CV utworzyły się z bardziej porowatej, mniej zgęszczonej materii (np. MacPherson and Krot, 2002). Niektóre z tych bardziej porowatych chondrytów CV (tj. te, z których miały powstać okazy $CV3_{OxB}$, typu Bali) doznały znacznych przeobrażeń szokowych, z reguły osiągając stopień szokowy S3. Pojawiły się w nich liczne spękania i silne uszeregowanie cząstek. Gdy potem została upłynniona woda, doznały one znacznych przeobrażeń, ponieważ było wiele miejsc, gdzie woda mogła się zatrzymać. Okazy $CV3_{OxA}$ typu Allende uformowały się z podobnie porowatego materiału, ale nie doświadczyły znacznego szoku. Nie pojawiły się w nich liczne spękania ani zauważalne uszeregowanie. Niemniej, z powodu znacznej porowatości, okazy $CV3_{OxA}$ zostały w znacznym stopniu przeobrażone, gdy później została upłynniona woda. Zostały jednak mniej przeobrażone niż zszokowane i popękane okazy $CV3_{OxB}$, typu Bali.

Jeśli ta interpretacja jest poprawna, to zderzenia są główną siłą sprawczą odpowiedzialną za wytworzenie tych trzech podgrup CV. Zderzenia były przyczyną początkowego zagęszczenia ciała macierzystego, zderzenia spowodowały spękanie części materii CV (sprawiając, że stała się ona podatna na późniejsze przeobrażenia) i zderzenia spowodowały upłynnienie wody powodując stopienie lodu lub odwodnienie krzemianów warstwowych.

**Bibliografia**

Cain P., McSween H. Y. and Woodward N. B. (1986) Structural deformation of the Leoville chondrite. Earth Planet. Sci. Lett. 77, 165-175.

Gattacceca J., Rochette P., Denise M., Consolmagno G. and Folco L. (2005) An impact origin for the foliation of chondrites. Earth Planet Sci. Lett. 234, 351-368.

Kracher A., Keil K., Kallemeyn G. W, Wasson J. T., Clayton R. N. and Huss G. I (1985) The Leoville (CV3) accretionary breccia. Lunar Planet. Sci. Conf. 16th, D123-D135.

Krot A. N., Petaev M. I., Scott E. R. D., Choi B.-G., Zolensky M. E. and Keil K. (1998) Progressive alteration in CV3 chondrites: More evidence for asteroidal alteration. Meteorit. Planet Sci. 33, 1065-1085.

Martin P. M., Mills A. A. and Walker E. (1975) Preferential orientation in four C3 chondritic meteorites. Nature 257, 37-38.

McSween H. Y. (1977) Petrographic variations among carbonaceous chondrites of the Vigarano type. Geochim. Cosmochim. 41, 1777-1790.

MacPherson G. J. and Krot A. N. (2002) Distribution of Ca-Fe-silicates in CV3 chondrites: Possible controls by parent-body compaction (abstract). Meteorit. Planet. Sci. 37, A91.

Rubin A. E. (2012) Impact-induced aqueous alteration of CM and CV carbonaceous chondrites. Lunar Planet. Sci. 43, abstract#1058, Lunar and Planetary Institute, Houston.

Scherer P. and Schultz L. (2000) Noble gas record, collisional history, and pairing of CV, CO, CK, and other carbonaceous chondrites. Meteorit. Planet Sci. 35, 145-153.

Scott E. R. D., Keil K. and Stoffler D. (1992) Shock metamorphism of carbonaceous chondrites. Geochim. Cosmochim. Acta 56, 4281-4293.

Sneyd D. S., McSween H. Y., Sugiura N., Strangway D. W and Nord G. L. (1988) Origin of petcofabrics and magnetic anisotropy in ordinary chondrites. Meteoritics 23, 139-149.

Tomeoka K., Yamahana Y. and Sekine T. (1999) Experimental shock metamorphism of the Murchison CM carbonaceous chondrite. Geochim. Cosmochim. Acta 63, 3683-3703.

Weisberg M. K., Prinz M., Clayton R. N. and Mayeda T. K. (1997) CV 3 chondrites: three subgroups, not two (abstract). Meteorit. Planet. Sci. 32, A138-A139.

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

# Niespodziewane odnalezienie kowadła z Gibeona

**Qynne Arnold**

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

Od przynajmniej piętnastu lat, co roku, w lutym, mój mąż, Steve Arnold, odwiedzał targi minerałów w Tucson. Przez ostatnich kilka lat miałam szczęście mu towarzyszyć. Jest to bardzo przyjemne wydarzenie dla nas obojga, ponieważ możemy tam spotkać wielu naszych kolegów poszukiwaczy meteorytów, dealerów, kolekcjonerów i miłośników meteorytów z całego świata. Przez ostatnie dwadzieścia lat mieliśmy przyjemność nawiązać trochę wspaniałych przyjaźni w tej niewielkiej społeczności. Wiele z nich wytrzymało próbę czasu.

Jednym z takich przyjaciół jest Blaine Reed, meteorytowy dealer z Delta w Colorado. Gdy Steve startował w meteorytowym biznesie ponad dwadzieścia lat temu, Blaine okazał mu ogromną pomoc. Gdy go poznaliśmy, odkryliśmy, że zawsze możemy liczyć na jego uczciwość, doświadczenie i umiarkowane ceny. Nie zmieniło się to przez wiele lat, w ciągu których robiliśmy interesy z Blaine. W rezultacie żaden wyjazd na targi nie może się obyć bez kilku wizyt w jego pokoju, w hotelu Ramada Limited, by przejrzeć niebiańskie skarby, opowiedzieć kilka kawałów i wypić szklankę wina czy dwie, w towarzystwie Blaine'a, jego brata bliźniaka, Blake'a i Mike'a Martineza.

***Fot. 2. Przed cięciem był to jeden z najmniej interesujących zewnętrznie i najbardziej pozbawiony utworów powierzchniowych okazów jednego z najbardziej licznych meteorytów żelaznych świata, jaki widzieliśmy... doskonały do robienia kul lub podpórek do książek, chociaż tworzył dość ładną „głowę aligatora", gdy patrzeć pod odpowiednim kątem.***

Podczas tegorocznego wyjazdu Steve miał kilka celów, które zamierzał zrealizować. Po pierwsze chciał kupić piłę, by móc przeciąć więcej naszego inwentarza meteorytowego, zamiast wysyłać go do kogoś innego, by przygotował dla nas płytki. Odpowiednia piła zaoszczędziłaby nam i czas i pieniądze, więc był to dla niego priorytet. Następnie chciał nauczyć się wszystkiego, co można, na temat robienia kul. To było coś, co pociągało nas oboje i chcieliśmy zobaczyć, jaki sprzęt jest dostępny i ile kosztuje. I na koniec, choć z pewnością nie było to mniej ważne, Steve musiał kupić meteoryty potrzebne, by robić płytki i kule, które chciał dodać do naszej oferty. Jeśli nigdy nie byliście na targach w Tuscon, to uwierzcie mi, że meteorytów tam nie brakuje.

***Fot. 1. Po fakcie, jak to mówią, jest 20/20. Kształt tego meteorytu łatwo sugerował kowadło, gdy już wiedzieliśmy na co patrzymy, ale dla nas i dla wielu innych, którzy oglądali meteoryt wcześniej, rozpoznanie nie było łatwe.***

Tego roku, podczas jednej ze wspomnianych wizyt w pokoju Blaine'a, Steve pokazał mi dość brzydki okaz meteorytu Gibeon, o dziwnym kształcie, leżący na podłodze przy drzwiach. Pamiętam, że pomyślałam, iż jest to najbardziej dziwacznie wyglądający meteoryt, jaki kiedykolwiek widziałam. Był długi i niezwykle płaski, inaczej niż większość meteorytów. Blake Reed położył kulkę w jednym z nielicznych regmagliptów, tak że przypominała oko, przez co jego wygląd „głowy aligatora" stał się bardziej widoczny i dość zabawny. Śmieszyło mnie to, może z powodu wina.

W meteorytowym świecie Gibeon jest doskonale znany jako znakomity kandydat do cięcia, ponieważ jego figury drobnoziarnistego oktaedrytu pięknie się prezentują na trawionych kulach i płytkach. Ten okaz Gibeona, który Blaine wystawił na sprzedaż, prawie nie miał regmagliptów ani żadnych innych cech, które by uczyniły jego zewnętrzny wygląd atrakcyjnym. To sprawiło, że wydawał się odpowiedni do tego, co wraz ze Stevem zamierzaliśmy z nim zrobić. Ponieważ koniec targów szybko się zbliżał, sądzę że myśl, by nie zabierać tego 51 kg żelaza z powrotem do domu, była dla Blaine'a coraz bardziej pociągająca. Panowie więc wkrótce się dogadali i Blaine załadował meteoryt do naszego samochodu. Co za okazja! Teraz, z naszym najnowszym nabytkiem, byliśmy ze Stevem gotowi do powrotnej drogi do Arkansas.

Długie podróże samochodem ze Stevem zawsze są interesujące i tym razem nie było inaczej. Mój mąż jest wizjonerem, więc wciąż przychodzą mu do głowy nieprawdopodobnie twórcze pomysły, szczególnie podczas prozaicznych czy rutynowych czynności, jak kierowanie autem. Dla takich mało impulsywnych osób, jak ja, które działają rutynowo i mają skłonności do nadmiernego zastanawiania się nad zmianami, naprawdę może to być czasem dość przerażające. Tymczasem jego pomysły wciąż się pojawiają, a ja wciąż słucham.

Przeważnie słucham.

To właśnie podczas tej długiej jazdy do domu, w typowy dla siebie sposób Steve zaczął rozważać, jakie powinno być nasze następne przedsięwzięcie.

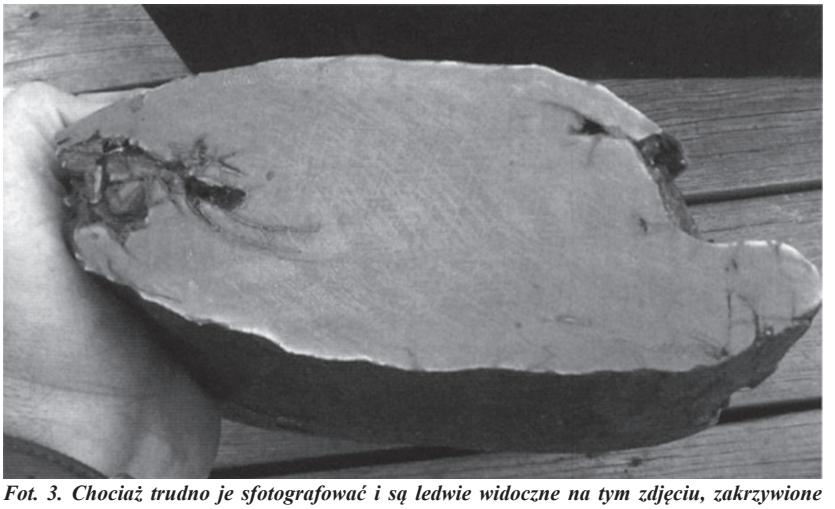
***Fot. 4. Dolna strona kowadła z Gibeona jest skuta na płasko tak jak górna, ale okaz jest opasany dobrze zachowanymi regmagliptami po bokach.***

Nasza sprzedaż na eBayu sporo wzrosła, ale nie wymagała zajmowania się nią przez cały czas. Steve był zajęty przez trzy sezony rolą współgospodarza telewizyjnego serialu Meteorite Men realizowanego dla Science Channel, ale nie było gwarancji, że ten serial będzie kontynuowany. Mając to wszystko na uwadze zaproponował najpierw, że powinniśmy otworzyć detaliczny sklep meteorytowy. Chciałabym powiedzieć, że poparłam ten pomysł z entuzjazmem, ale nie zrobiłam tego. Musiałabym być bardziej przekonana, a prawdę mówiąc w tym momencie marzyłam tylko, by dotrzeć do domu, do naszych dwóch córek.

Nie był to pomysł, który szybko wywietrzał Steve'owi z głowy, chociaż miałam w duchu nadzieję, że tak będzie. Gdy dotarliśmy do domu, zaczął rozglądać się za lokalem do wynajęcia w Branson, Missouri, i w Eureka Springs, Arkansas, oba około godziny jazdy od naszego domu. Im bardziej się rozglądał, tym bardziej zaczynały go pociągać możliwości i tym bardziej zaczynałam obawiać się, że naprawdę może mu się to udać. Pamiętajcie, że ja lubię spokój, a Steve jest Pan Impulsywny. Czasem to sprawia, że nasze życie małżeńskie jest bardzo ciekawe.

Po licznych rozmowach na temat tego pomysłu i planowaniu szczegółów, zgodziłam się zaryzykować (jak wiele razy w ciągu 22 lat naszego małżeństwa!) i w maju otworzyliśmy w Eureka Springs, Arkansas, nasz stacjonarny sklep Arnold Meteorites and More! Eureka Springs jest cudownie eklektycznym, turystycznym miastem w północno-zachodnim Arkansas, które idealnie pasuje dla naszego niezwykłego sklepu z kosmicznymi kamieniami. Wraz ze Steve'm spędzamy wspaniale czas dzieląc się naszą wiedzą i zamiłowaniem do meteorytów z ludźmi o najróżniejszym przygotowaniu z całych Stanów Zjednoczonych. Niektórzy są ogromnymi fanami Steve'a i Geoffa z serialu, a inni nigdy nie widzieli i nie trzymali w ręku meteorytu i chcą dowiedzieć się jak najwięcej. Widok zachwytu i fascynacji na twarzy klienta, który kupuje swój własny kosmiczny kamień, sprawia, że jest to bardzo satysfakcjonujące przedsięwzięcie.

Gdy sklep został już oficjalnie otwarty, Steve jeszcze raz przyjrzał się temu Gibeonowi. Postanowił przeciąć go i przygotować płytki do sprzedaży w naszym sklepie. Kupił na targach piłę tarczową i był w końcu gotów zrobić z niej użytek. Plan był taki, by odciąć jedną czwartą bryły, a potem pociąć ją na wysokie, cienkie podpórki do książek. Bez dłuższych rozważań Steve zrobił cięcie. Gdy wziął piętkę i zobaczył wygląd przekroju, dosłownie go zatkało.



***Fot. 3. Chociaż trudno je sfotografować i są ledwie widoczne na tym zdjęciu, zakrzywione figury Widmanstättena zawijają się ku końcom tego świeżo przeciętego Gibeona. Gdy ten okaz został przecięty po raz pierwszy, Steve przyglądał mu się przez kilka minut z niedowierzaniem.***

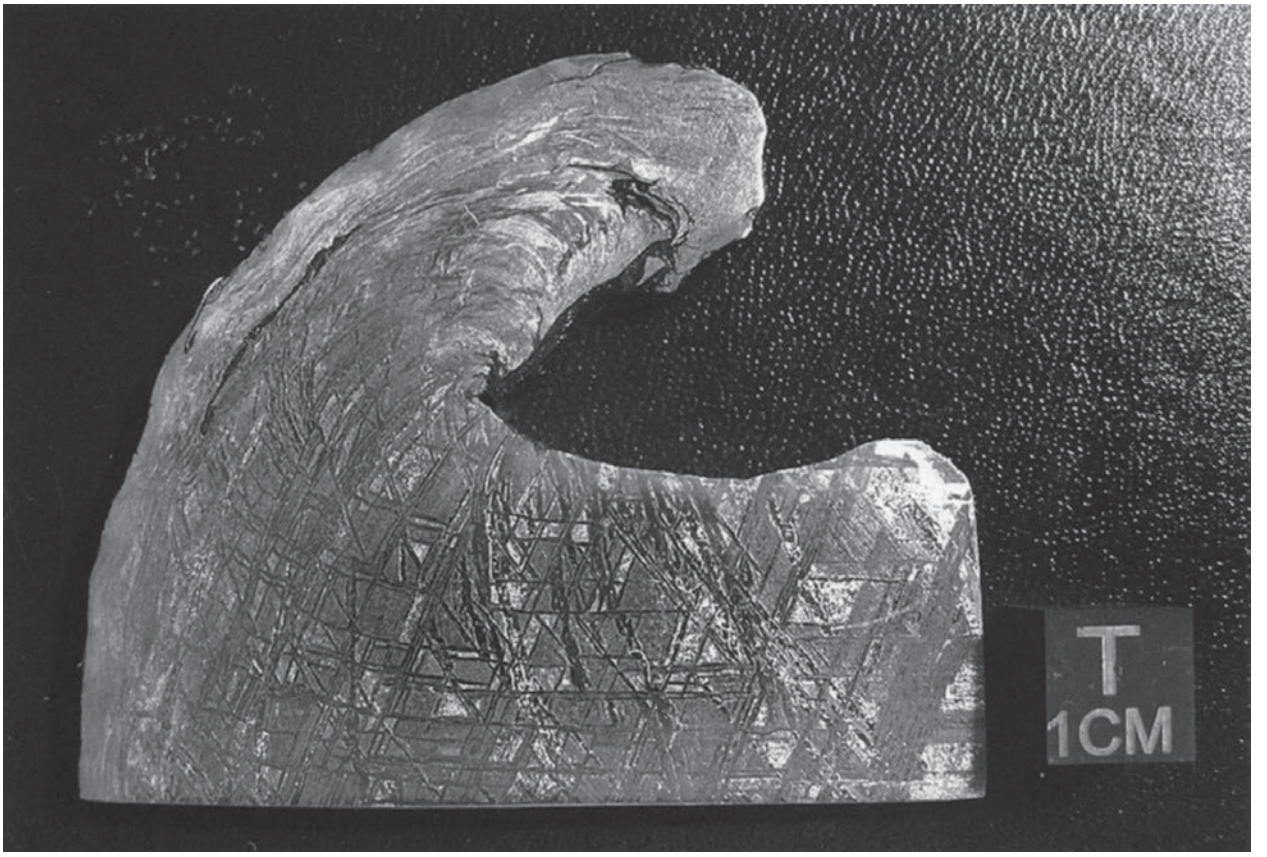
Teraz, zanim przejdziemy dalej, chciałabym sięgnąć do badań wysoko cenionego O. Richarda Nortona. W Cambridge Encyclopedia of Meteorites stwierdza on, że jest możliwe, iż w niektórych meteorytach żelaznych figury Widmanstättena mogą być zdeformowane w wyniku zderzenia w kosmosie lub w zderzeniu kraterotwórczym tu, na Ziemi. Także w majowym numerze „Meteorite!" z 1998 r., w artykule zatytułowanym „Tucson '98", Norton pisze o krystalicznych strukturach okazów Gibeona, że one „utraciły liniowość i zakrzywiły się wokół punktu na dolnym brzegu." Sugeruje, że w tym, co nazwał mechaniczną dystorsją, odegrały rolę silne ogrzewanie i spękanie.

Możemy zauważyć w źródłach Richarda Nortona, na zdjęciach i na przykładach dostarczonych przez innych kolegów (zob. zdjęcie od Big Kahuna Meteorites), że wywołane uderzeniem zniekształcenia figur Widmanstättena na ogół widać tylko na jednym narożniku wytrawionej powierzchni przekroju meteorytu żelaznego. Być może zdarzają się one na dwóch narożnikach, ale nie zdołałam znaleźć na to dowodu. Pamiętając o tym wróćmy do tego, co zobaczył Steve, gdy zabrał piętkę z piły.

Mówi on, że wszystko stało się tak wyraźne, jak w zwolnionym filmie. W chwili, gdy podniósł piętkę z piły, Steve zobaczył bryłę żelaza, która wyraźnie została zagięta na wszystkich czterech narożnikach. Wyobraźcie sobie, że zgniatacie koniec sześciennej kostki do formy bułki hamburgera. Tak właśnie wyglądała odcięta piętka. Każdy z czterech rogów był zakrzywiony w dół, zależnie od tego, jak obrócić bryłę. Gdy Steve to zobaczył, zrozumiał że góra i dół bryły doznały wystarczająco dużo powtarzających się uderzeń, by powstały te zakrzywienia i stwierdził, że musiała ona być używana jako kowadło.

Przez dłuższą chwilę mój mąż patrzył na meteoryt z niedowierzaniem. Powtarzał „Dlaczego tego wcześniej nie widziałem?" Steve przyglądał się górnej i dolnej powierzchni obu części okazu i teraz, poniewczasie, od razu widział, że na powierzchni były i płaskie i zakrzywione części, dokładnie takie, jakie spodziewalibyście się zobaczyć na kowadle. Tak więc teraz, gdy patrzył na meteoryt z nowej perspektywy, zauważył, że jedyne widoczne regmaglipty były wszystkie usytuowane centralnie na bokach bryły i wokół tylnej strony „głowy aligatora". Potem wziął odciętą piętkę i przemył powierzchnię przekroju chlorkiem żelazawym. Wynik pokazał, że zakrzywienie figur Widmanstättena zgadzało się z odgięciem na zewnątrz wszystkich czterech narożników. Taka deformacja jest nietypowa dla mechanicznych zniekształceń, jakie pokazywał Richard Norton, które zaburzają krystaliczną strukturę jakiegoś fragmentu meteorytu wskutek natężenia ciepła i szoku, jakiego doznał. Gdy Steve zobaczył przed sobą skutki, nie było wątpliwości, że ten meteoryt żelazny był używany jako kowadło i teraz musiał pogodzić się z faktem, że właśnie rozłupał go na dwie części.

Historycy wielokrotnie odnotowywali przypadki wyrabiania z meteorytów kowadeł i narzędzi. Najsłynniejszymi przykładami są Tucson Ring i bryła Tucson Carlton. Obie znaleziono w połowie XIX w., gdy były używane jako kowadła przez miejscowych kowali. Na okazach Cape York z Grenlandii także widać rozległe ślady obijania, chociaż gdy weźmiemy pod uwagę ich imponującą wielkość i kształt, to jest nieprawdopodobne, by były używane jako kowadła. Inuici zdołali jednak odłupać kawałki jednego z dużych okazów meteorytu




***Fot. 5. Przykład tego, co uważa się za mechaniczne zniekształcenie wywołane przez zderzenie, widać na tej płytce odciętej z innego okazu meteorytu Gibeon. To zdjęcie zrobił Gary Fujihara z Big Kahuna Meteorites, właściciel okazu. Publikacja za zgodą pana Fujihara.***

***Fot. 6. Z piętką przyłożoną na miejsce i linią cięcia zasłoniętą przez rączkę młotka to zdjęcie daje dość dobry obraz oryginalnego kształtu kowadła, tak jak wyglądało ono dla nas i jak musiało wyglądać dla innych ludzi, którzy pierwotnie robili z niego użytek. Mała część po prawej stronie rączki została pocięta na płytki, które wytrawiono na wystawę przekrojów. Mamy nadzieję znaleźć instytucję, która zechce zakupić lub wymienić się za pozostałą część, jako nietknięty okaz.***

Cape York nazywanego Kobietą. Wykorzystywali te kawałki do wyrobu noży, harpunów i grotów strzał. Ponadto, chociaż zapisano, że znaleziono go w Meksyku w roku 1776, meteoryt Toluca był używany od dawna przez miejscowych ludzi do wyrobu różnych narzędzi. Może jeden z tych okazów też był używany do wyrobu narzędzi.

Pierwsze zapiski o meteorycie Gibeon pojawiły się w roku 1836, chociaż sądzi się, że spadł on w prehistorycznych czasach i był znajdowany przez ludy Nama. Od momentu jego odnalezienia i rozpoznania z rozległego, pustynnego obszaru rozrzutu zebrano ponad 20 ton materii! Ta obfitość żelaza zapewniła mieszkańcom tego regionu ogromną podaż materiału nadającego się do wykonywania narzędzi i kowadeł. Niewątpliwie pojawia się pytanie, jak dużo innych obiektów, takich jak broń, narzędzia, młoty i kowadła, wykonanych z Gibeona czy innych meteorytów żelaznych, gdzieś tam jest. Jest prawdopodobne, że trochę ich już czeka w światowych zbiorach i że niektóre z nich po prostu nie zostały jeszcze rozpoznane.

Jednym z ulubionych powiedzonek Steve'a jest, że nie da się zrobić z powrotem jajek z jajecznicy. Nie ma niestety sposobu, by scalić to historyczne kowadło. Steve wiedział od razu, że znalezienie muzeum, które by zechciało kupić czy wymienić zabytek w całości, to jedna sprawa, ale próbowanie wzbudzenia zainteresowania połową zabytku, to prawdopodobnie inny problem. Wysłał on emaile do kustoszy kilkunastu instytucji i wyróżniających się zbiorów prywatnych. Zrozumiałe, że nie było zainteresowania, więc Steve postanowił wysłać mniejszy kawałek do Marlina Cilza, by ten pociął go na płytki. Nawet jeśli prawdopodobnie mógłby to zrobić sam, to chcieliśmy, by zostały zrobione najlepsze możliwe cięcia w nadziei, że dostępne fragmenty tego okazu z ciekawą przeszłością, pomogą zachować i przekazać zapisaną w nim historię.

Chociaż ten okaz został najpierw niepotrzebnie przecięty, myślę, że to jednak przydało się, by potwierdzić, że ten meteoryt żelazny Gibeon rzeczywiście był używany jako kowadło. Przedtem można było spekulować na podstawie kształtu obiektu, ale teraz nie ma wątpliwości. Błąd może być korzystny. Wiele kolekcji będzie mogło pozyskać przystępną, graficzną, pełną płytkę z okazu pokazującego, co ten zdumiewający dar niebios dał ludom Nama, a potem światu.

*Qynne Arnold pracuje na własny rachunek w domu od 13 lat ucząc zarazem w domu swe dzieci. Jest doświadczonym poszukiwaczem meteorytów i uczestniczyła w tym czasie w kilku ekspedycjach. Mieszka w Kingston, Arkansas z mężem i dwiema córkami.*

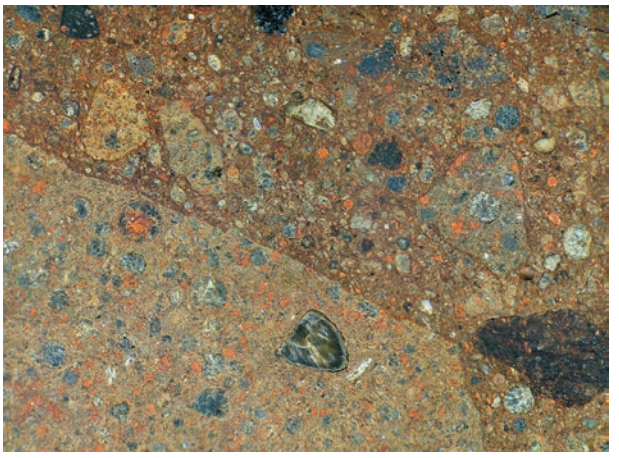
# Chondryty typu Rumuruti

**Roger Warin i John Kashuba**

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

W roku 1994 zidentyfikowano małą grupę nietypowych chondrytów, które znacząco różniły się i od chondrytów zwyczajnych i od węglistych. Wówczas znano tylko kilka takich meteorytów. Dziś nietrudno kupić płytkę tego ciekawego typu meteorytów. Pustynie ujawniają swe skarby i dealerzy na całym świecie z przyjemnością nam je oferują.

Pustynie, i zimne i gorące, dostarczyły nam pierwszych takich interesujących meteorytów, które później wyodrębniono jako nowy typ. Allan Hills 85151 i Yamato 75302 z Antarktydy oraz ważący 50 gramów kamyk z okolicy Carlisle Lakes w Australii Zachodniej utworzyły podgrupę typu Carlisle Lakes. Później zostały wyodrębnione jako grupa inne meteoryty z Antarktydy i Sahary oraz mały okaz z Kenii. Ten kenijski meteoryt, Rumuruti, jest reprezentowany przez zaledwie 67 gramów, które pozostały z kilku funtów, jakie spadły 28 stycznia 1934 r. Od 1937 roku znajdowały się one



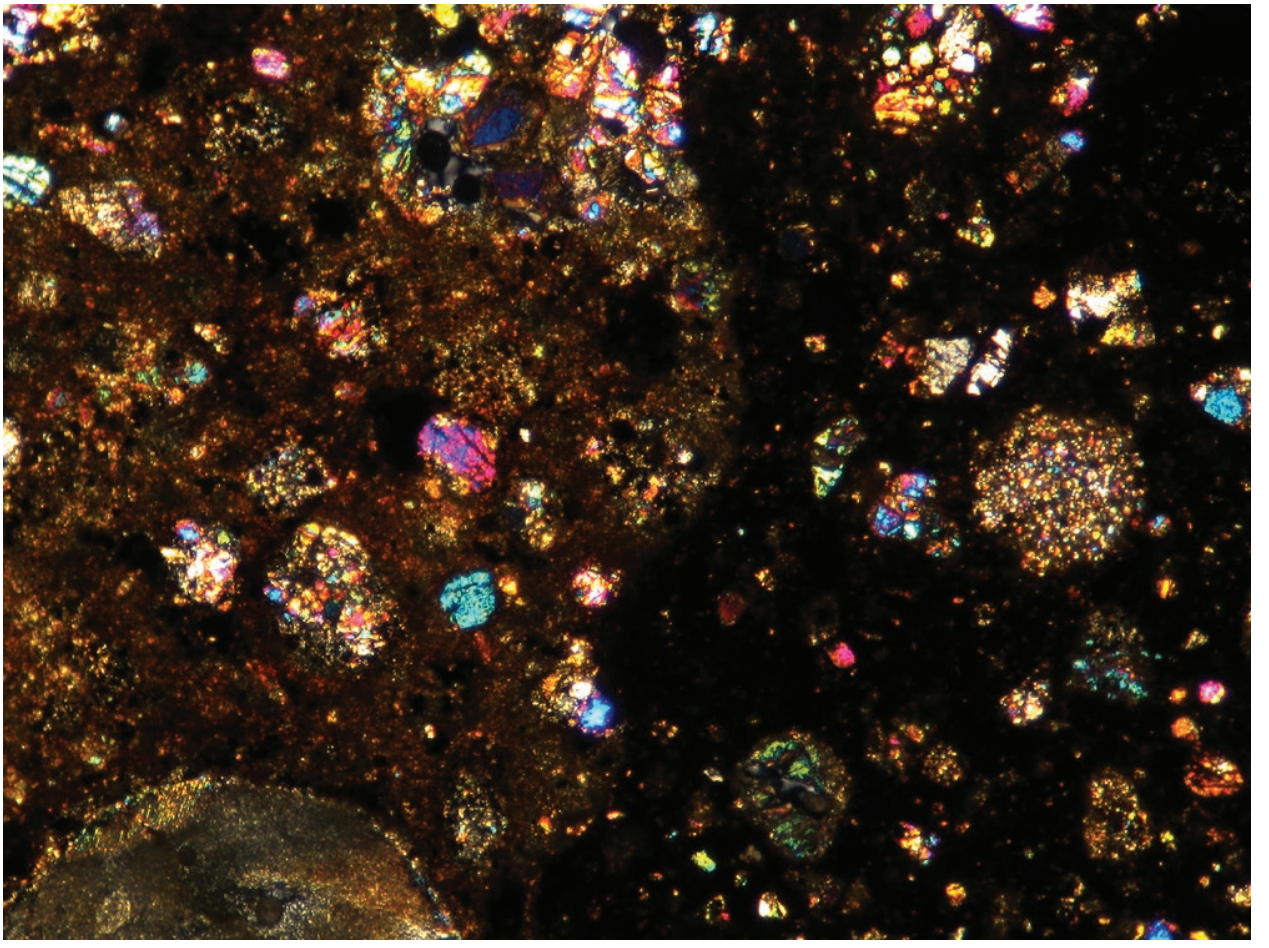
*Fot. 1. Większość chondrytów R to brekcje. Okruchy o jaśniejszej barwie są bardziej zmetamorfizowane. Najciemniejsze są niezrównoważone okruchy typu 3. Inne ciemne okruchy mogą być wynikiem pociemnienia szokowego. Typowe pomarańczowe zabarwienie pochodzi od wietrzenia zawartych siarczków. Ten obraz płytki NWA 4814, R3-6, ma 23 mm wysokości.*

*Fot.2. Szare i białe odcienie NWA 5035 (nazwa tymczasowa) R3-6 mówią nam, że jest on świeży, to znaczy nie doświadczył wietrzenia, które wytwarza pomarańczowy odcień u większości chondrytów R. Ta płytka ma 40 mm szerokości.*

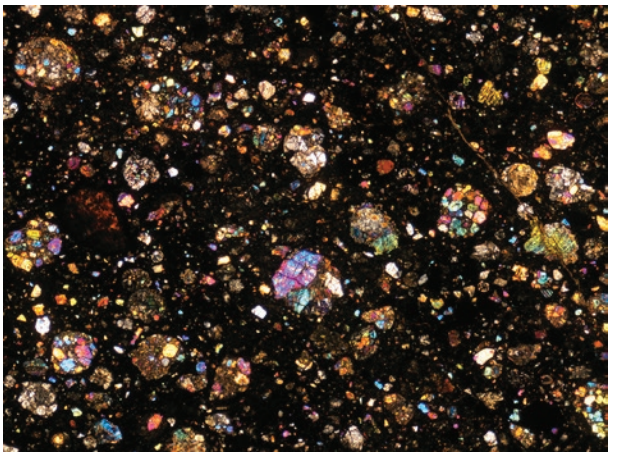
w zbiorach Uniwersytetu Humboldta w Berlinie. Gdy zbadano ten meteoryt w roku 1993, zauważono, iż jest on podobny do okazów wcześniejszej podgrupy Carlisle Lakes. Utworzono więc nową grupę chondrytów typu Rumuruti albo chondrytów R od nazwy jedynego meteorytu w tej grupie, którego spadanie obserwowano.

Większość chondrytów R, choć nie sam Rumuruti, jest brekcjami. Są to skały, które zostały pokruszone i przeorane przez zderzenia, a następnie scementowane w skałę przypominającą wyglądem puzzle. W te części skały, które pozostawały na pozbawionej atmosfery powierzchni planetoidy, wniknęły rzadkie gazy słoneczne. Nazywamy te części „brekcją regolitową". Niektóre chondryty R zostały pogrzebane dostatecznie głęboko, by uniknąć tego ataku. Nie zgromadziły one implantowanych gazów słonecznych i nazywamy je po prostu „brekcją okruchową".

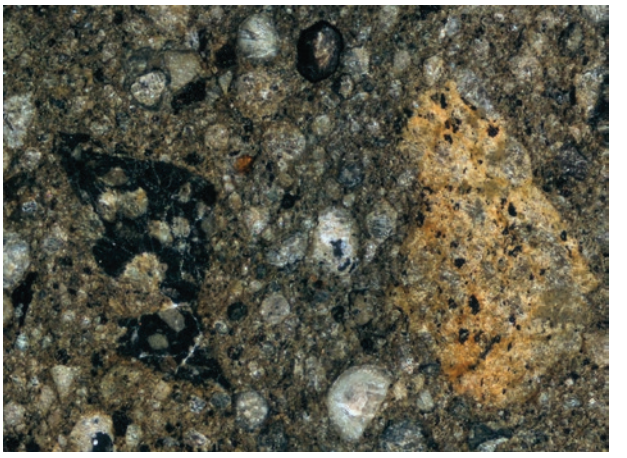
Nie zidentyfikowaliśmy jeszcze prawdopodobnej macierzystej planeto-



*Fot. 3. Matriks z lewej jest jaśniejsza, ponieważ jest bardziej zmetamorfizowana niż matriks z prawej. Masa drobnych ziarenek będzie skutecznie blokować światło. Większe ziarna formują się podczas metamorfizmu w stanie stałym i przepuszczają więcej światła, jak widać tutaj. Pole widzenia ma 3 milimetry szerokości i jest w świetle przechodzącym przy skrzyżowanych polaroidach. NWA 1774 R3.8-6.*



*Fot. 4. Chondryty R zawierają więcej matriks w stosunku do chondr niż chondryty zwyczajne; około 35 procent matriks w chondrytach R wobec 12 procent w chondrytach zwyczajnych. To typowe pole widzenia NWA 978 R3.8 w płytce cienkiej, w świetle przechodzącym przy skrzyżowanych polaroidach, ma 7,4 milimetra szerokości.*



*Fot. 5. Blue Eagle R3-6 jest pierwszym udokumentowanym chondrytem R znalezionym w Stanach Zjednoczonych. Ta część płytki cienkiej o szerokości 6,5 milimetra zawiera jasne i ciemne okruchy w przeważnie ciemnoszarej litologii. Światło odbite.*

idy chondrytów R, ale przypuszczalnie uformowała się ona dalej od Słońca, niż ciała macierzyste chondrytów zwyczajnych. Wysoki stopień utlenienia chondrytów R sugeruje, że uformowały się one blisko linii śniegu, czy też mrozu, czyli tej odległości około 2,7 AU od Słońca, gdzie temperatura spadała poniżej punktu zamarzania wody i gdzie w skład formujących się ciał mogły wchodzić ziarna lodu. Ta woda mogła ułatwiać utlenianie. Rezultatem jest bardzo mała zawartość metalicznego żelaza, oliwin z dużą zawartością żelaza, siarczki żelaza pirotyn i pentlandyt oraz trochę metalu z wysoką zawartością niklu — awaruitu. Ten proces utleniania prawdopodobnie wystąpił i w mgławicy słonecznej i na ciele macierzystym. Jest on odmienny od metamorfizmu cieplnego w ciele macierzystym. Stopień utlenienia meteorytów zmniejsza się od silnie zredukowanych chondrytów enstatytowych, które zawierają dużo wolnego żelaza, poprzez chondryty zwyczajne do chondrytów R i chondrytów węglistych.

Chondryty R różnią się od innych grup chondrytów także zawartością izotopu $^{17}O$. Jest ona wyższa niż w chondrytach zwyczajnych i to również sugeruje, iż chondryty R formowały się dalej od Słońca niż chondryty zwyczajne. Dodatkowo mają one niższy stosunek chondr do matriks — zawierają mniej chondr niż chondryty zwyczajne czy enstatytowe. Niektóre zawierają CAI — inkluzje bogate w wapń i glin, które różnią się pod względem wielkości i składu od tych spotykanych w innych grupach.

Pomarańczowy odcień, który widzimy w wielu chondrytach R, jest wynikiem ziemskiego wietrzenia i rozproszenia siarczków: pirotynu i pentlandytu. Określenie stopnia zwietrzenia w chondrytach R nie jest łatwe. Typowa skala do oceny stopnia zwietrzenia meteorytów opiera się głównie na wietrzeniu zawartych w nich ziaren metalu. Chondryty R i CK zawierają bardzo mało metalu i dlatego trudno ich stopień zwietrzenia ocenić według normalnych standardów. Dla grup chondrytów zawierających mało metalu zaproponowano odrębny wskaźnik bazujący głównie na obecności zabarwionych krzemianów obserwowanych w płytkach cienkich.

Na trzymanej w ręku płytce jednego z takich, zazwyczaj zabarwionych na pomarańczowo, meteorytów często można zauważyć zbrekcjowanie z okruchami o różnej jasności, reprezentującymi różne stopnie metamorfizmu cieplnego na macierzystym ciele. Na ogół jaśniejsze okruchy reprezentują wyższy stopień zmetamorfizowania aż do typu 6. Na tym poziomie matriks będzie „zrekrystalizowana" i chondry znikną. Na drugim krańcu są okruchy typu 3 z ciemną matriks i wyraźnie wyodrębnionymi chondrami. Wysoki stopień zbrekcjowania i rozmaitość okruchów obserwowana w chondrytach R sugeruje, że w historii ciała macierzystego były liczne zderzenia oraz metamorfizm cieplny na odległym globie, który niegdyś zawierał wodę. Ta rzadka i interesująca grupa zasługuje na uwagę zarówno dlatego, że różni się od innych grup chondrytów jak i z powodu jej własnych zalet — czy to przy oglądaniu makroskopowo czy pod mikroskopem.

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

# Kopalne meteoryty

**Tomasz Brachaniec, Adam Broszkiewicz**

Codziennie na Ziemię spada wiele meteorytów. Sytuacja ta nie ulega zmianie od miliardów lat. Mimo to trwająca bezustannie erozja, pogrzebanie na dnie zbiorników wodnych, ruchy sejsmiczne i inne czynniki endo- i egzogeniczne całkowicie niszczą znaczny procent przybyłych skał kosmicznych. Najczęściej jedynym świadectwem ich dawnej obecności są zatarte przez czas kratery meteorytowe. Środowisko naukowe cieszy zatem niezmiernie fakt, iż kopalne meteoryty mimo wszystko zostały odnalezione (tab. 1).

*Fot. 1. Meteoryt Österplana 1. Źródło zdjęcia: Schmitz i in., 2001.*

Poniżej zestawiono dane dotyczące dwóch najsłynniejszych kopalnych meteorytów: grupy Osterplana oraz Lake Murray.

## Szwedzkie wapienie

Na początku lat 80-tych XX wieku Per Thorslund i Frans Wickman w magazynie Nature donieśli, że zidentyfikowali znaleziony w 1952 roku kilkucentymetrowy obiekt w wapieniu z kamieniołomu Brunflo w centralnej Szwecji, jako meteoryt kamienny.

Fakt ten stanowił nie lada sensację, jako że meteoryty kamienne bardzo łatwo i szybko ulegają wietrzeniu i rozpadowi w ziemskich warunkach. Jego wiek określono na ok. 460 mln lat, przez co wnioskuje się, że spadł w ordowiku.

Szwecja wydaje się idealnym miejscem do szukania kopalnych meteorytów. Profesor Birger Schmitz (Uniwersytet w Lund, Szwecja) wraz ze swym zespołem zbadał ponad 40 meteorytów kopalnych znalezionych w szwedzkich wapieniach ordowiku. Są to głównie chondryty typu L (oliwinowo-hiperstenowe). Udało się również przeprowadzić analizy ziaren chromitu towarzyszącego wspomnianym meteorytom. Identyczność badanego materiału zdaniem Schmitza wskazuje na wytrącenie kilkunastu mniej więcej identycznych okruchów skalnych z pasa asteroid, a następnie ich wspólny spadek do płytkiego, ciepłego morza, znajdującego się ówcześnie na terenie południowej Szwecji.

Niesmak budzi fakt, że jak wykazano na drodze „śledztwa" naukowców, wiele płyt wapienia było wyrzucanych przez robotników kamieniołomów, ze względu na bliżej niezidentyfikowane, nic nie znaczące ciemne plamy, będące skazą na cennym surowcu.

Także z ordowickich wapieni kamieniołomu Thorsberg w Kinnekulle pochodzi kolejny znaleziony w 1988 meteoryt kopalny nazwany Osterplana 1 (fot. 1). Jest starszy od Brunflo o ok. 5 mln lat. Systematyczne poszukiwania kopalnej materii kosmicznej w stanowisku Thorsberg zaczęło się początku lat 90tych XX wieku. Pomiędzy rokiem 1992 a 1997 wydobyto kolejne meteoryty, które obecnie znajdują się w Centrum Paleogeologicznym Stiftelsena w Lidköping w Szwecji. Łącznie odkryto 47 okazów wchodzących w skład grupy Osterplana. Mają one od 1 do

*Tab. 1. Zestawienie kopalnych meteorytów. Należy zwrócić uwagę na przewagę żelaznych meteorytów nad kamiennymi, co wiąże się z ich dużo większą odpornością na procesy geologiczne. Źródło danych http://levee.wustl.edu/~visscher/research/fossil_files/frame.htm.*

| Nazwa | Lokalizacja | Data znalezienia | Okres | Wiek | Typ |
|---|---|---|---|---|---|
| Lujan | Argentyna | 1878 | Czwartorzęd | < 2 Ma | żel. (oktaedr) |
| Gay Gulch | Kanada | 1901 | Pliocen | 2–5 Ma | żel. (oktaedr) |
| Tamarugal | Chile | 1903 | Pliocen ? | 2–5 Ma ? | żel. (oktaedr) |
| Skookum | Kanada | 1905 | Pliocen | 2–5 Ma | żel. (ataksyt) |
| bez nazwy | Texas (USA) | 1930 | Eocen | 35–55 Ma | żelazny |
| Lake Murray | Oklahoma (USA) | 1933 | Kreda | 110 Ma | heksaoktaedr. |
| Sardis | Georgia (USA) | 1940 | Miocen | 5–25 Ma | żel. (oktaedr) |
| bez nazwy | Ural (Rosja) | 1948 | Mezozoik | 65–250 Ma | chondryt |
| Ider | Alabama (USA) | 1957 | Pliocen ? | 2–5 Ma | żel. (oktaedr) |
| Brunflo | Szwecja | 1952 | Ordowik | 460 Ma | chondryt H |
| Osterplana | Szwecja | 1988 | Ordowik | 465 Ma | chondryt L |
| bez nazwy | Hawaje | 1998 | K/T | 65 Ma | chondryt CM |
| Mar'inka | Ukraina | 1976 | Karbon | 290–360 Ma | żel. (oktaedr) |

*Fot. 2. Zdjęcie przedstawiające meteoryt Lake Murray tkwiący w kredowym piaskowcu. Zdjęcie pochodzi ze starej pracy L. Lapaza z 1953.*

*Fot. 3. Meteoryt Lake Murray wiszący na dźwigu samochodowym. Zdjęcie pochodzi ze starej pracy L. Lapaza z 1953.*

20 cm długości. Na podstawie analiz sedymentologicznych ustalono, że masowe nagromadzenie meteorytów nie jest spowodowane procesami geologicznymi (Schmitz i in., 2001).

## W kredowym piaskowcu

W 1933 roku farmer J. C. Dodson jako pierwszy zauważył ciemną, metaliczną bryłę w płytkim wąwozie na swej farmie przy Lake Murray w Oklahomie (fot. 2, 3).

Kamieniem tym nie zainteresował się na poważnie nikt aż do września 1952, kiedy niejaki Allen Graffham został dyrektorem Muzeum Tucker Tower w Lake Murray. Jako że posiadał on kontakty w Instytucie Meteorytyki Uniwersytetu Nowego Meksyku zaintrygowało go tajemnicze znalezisko sprzed 19 lat. Od momentu odnalezienia meteorytu do pierwszych prób jego badań minęło sporo czasu, wskutek czego wąwóz był już znacznie pogłębiony na skutek erozji. Dała się również zauważyć gruba zwietrzelinowa otulina pokrywająca metaliczną bryłę. Badania potwierdziły wcześniejsze przypuszczenia o kosmicznym pochodzeniu obiektu i nadano mu oficjalną nazwę Lake Murray.

Fakt odnalezienia nie byłby niczym zaskakującym, ponieważ wiele innych meteorytów odkryto w podobny sposób. Jednak Lake Murray jest wyjątkowym meteorytem pod paroma względami. Badania pozwoliły określić jego wiek na ok. 110 mln lat, co pozwala stwierdzić, że spadł w okresie kredowym. Dodatkowo piaskowce, w których spoczywał, świadczą o spadku do przybrzeżnej strefy ciepłego i płytkiego morza.

*Fot. 4. Fragment meteorytu Lake Murray. Waga okazu 7,38 g. Okaz z prywatnej kolekcji Adama Broszkiewicza.*

W 1952 Lake Murray został sklasyfikowany jako heksaedryt, czyli rodzaj meteorytu żelaznego z dużymi kryształami minerału kamacytu, o strukturze sześciobocznej (hexaedron). Wykazywał jednak zwiększone zawartości minerału taenitu nad heksaedrytami, co jest typowe dla innego rodzaju meteorytów żelaznych, a mianowicie oktaedrytów. Ostatecznie uznano go za heksaoktaedryt. Kamacyt wykształcony w postaci belek i taenit jako cienkie laminki tworzą po wytrawieniu powierzchni kwasem charakterystyczną mozaikę zwaną figurami Widmanstättena. Największy heksaoktaedryt odnaleziony w Oklahomie, jakim jest LM pierwotnie ważył ok. 700 kg, choć niezależne od siebie źródła podają tu różne wartości. Metaliczna struktura meteorytu poddana niszczycielskiemu ziemskiemu wietrzeniu z upływem lat przeistaczała się w swego rodzaju zerodowaną skorupę, która w 1952 ważyła ok. 450 kg, zmniejszając tym samym wagę czystego meteorytowego metalu do ok. 250 kg (fot. 4). Kolekcjonerom oferowane są najczęściej fragmenty wyżej wspomnianej rdzawej otuliny. Przypuszcza się, że fragmenty znalezionej masy głównej mogą znajdować się w pobliskim jeziorze, jednak próby ich pozyskania są nieopłacalne.

Wyżej opisane przykłady odnalezienia kopalnych meteorytów pokazują, że były to czyste przypadki. Twierdzenie Prof. Schmitza jakoby w ordowiku nastąpił deszcz chondrytów o zasięgu być może globalnym zainicjowało projekt, polegający na penetracji stanowisk całego świata z równowiekowymi do szwedzkich wychodniami wapieni. Niewątpliwie badania kopalnych meteorytów są ważnym aspektem meteorytyki, gdyż dostarczają m.in. informacji na temat przemian mineralogicznych zachodzących w strukturze meteorytu w ciągu milionów lat.

### Literatura


Lapaz, L. 1953. Preliminary Note on the Lake Murray, Carter County, Oklahoma, Siderite (CN = + 0970,341). Meteoritics and Planetary Science, v. 1, s. 109-113.

Schmitz, B., Tassinari, M. 2001. Fossil meteorites, [w:] B. Peucker-Ehrenbrink, B. Schmitz (red.), Accretion of Extraterrestrial Matter Throughout Earth's History. Kluwer Academics. New York, s. 319-331.

Schmitz, B., Tassinari, M., Peucker-Ehrenbrink, B. 2001. A rain of ordinary chondritic meteorites in the early Ordovician. Earth and Planetary Science Letters, v. 194, s. 1-15.

Schmitz, B., Häggström, T., Tassinari, M. 2003. Sediment-dispersed extraterrestrial chromite traces a major asteroid disruption event. Science, v. 300, s. 961-964.

Thorslund, P., Wickman F. E. 1981. Middle Ordovician chondrite in fossiliferous limestone from Brunflo, central Sweden. Nature, v. 289, s. 285-286.



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

*Adam Broszkiewicz jest wieloletnim kolekcjonerem meteorytów. Poza nimi interesuje się także paleontologią i archeologią. Członek PTMet.*

# Doniesienia z Wiki (marzec 2013)

## Szukając skamieniałości

Historię znalezienia meteorytu **Krzadka** znamy wszyscy. Pracownik naukowy Uniwersytetu Poznańskiego, geolog Józef Gołąb przebywał w 1929 roku na ćwiczeniach wojskowych na poligonie w Krządce. Na stosie kamieni, zebranych przez żołnierzy, którzy ćwiczyli rzucanie sfingowanymi granatami, zobaczył kawałek skamieniałego drewna. Zachęcony znaleziskiem wykonał kilka odkrywek w pobliskich żwirowiskach. Na głębokości 2—2,5 m znalazł okrągłą bryłę żelaza. Miała ona ślady skorupy obtopieniowej, była czarna, chropowata i ważyła 2—3 kg. Okaz przewieziono do Poznania i zbadano. Meteoryt przechowywano na Uniwersytecie Poznańskim. Niestety, w wyniku alianckich bombardowań w 1944 r. budynek uniwersytetu został zburzony, a kamień zaginął. Krządka to meteoryt żelazny, prawdopodobnie oktaedryt gruboziarnisty.

Dzisiaj wieś nazywa się Krzątka.

## Przerwany trop

Meteoryt zgłosił do Meteoritical Bulletin Pokrzywnicki i jedyne informacje o tym meteorycie pochodzą od niego. Meteoryt Krzadka uważa się za zaginiony. Jak pisze Pokrzywnicki (1964):

> (...) Okaz meteorytu Krządka przechowywany był do wybuchu II wojny światowej w zbiorach Zakładu Geologii i Paleontologii Uniwersytetu Poznańskiego na ul. Grunwaldzkiej, zniszczonego przez bomby lotnictwa angielskiego w 1944 r. (...) Niemcy, wkrótce po zawaleniu się budynku Zakładu Geologii rozkopali gruzowisko. Czy wśród wydobytych przedmiotów znajdował się okaz z Krządki, stwierdzić się nie udało. Nie znaleziono go również w żadnym ze zbiorów w Polsce. Jeśli nie został on zabrany przez Niemców należy go uznać za stracony.

Nie udało się również ustalić, czy po wojnie prowadzono w okolicach Krząki poszukiwania innych odłamów tego meteorytu, ani tym bardziej czy cokolwiek znaleziono?

Meteoryt zaginął! Taka wersja obowiązywała dotychczas. Do dnia, gdy na stronach Anne Black (Impactika.com) na początku grudnia 2012 roku pojawiła się oferta sprzedaży okazów ze starej kolekcji. Anne Black często pośredniczy w sprzedaży meteorytów, tym razem oferowała wiele okazów rzadkich, starych i „z historią":

> *I am delighted to have acquired this collection from a person who has been collecting for over 20 years, who built up connections and relationships in the Meteorite World over the years and was able to acquire some extremely rare pieces, and they are even more rare now; ever heard of Bald Eagle, Bohumilitz, El Qoseir or Krzadka. And this is just to name a few.*

Oferta rzeczywiście atrakcyjna dla kolekcjonera. Ale co zwróciło naszą uwagę? Wśród wymienionych meteorytów pojawiła się nazwa **Krzadka**! Zapachniało sensacją. Czy oferowany fragment pochodził z zaginionego okazu? Czy może z okazu znalezionego później? Może jednak w zbiorach niemieckich zachował się zaginiony okaz z Poznania?

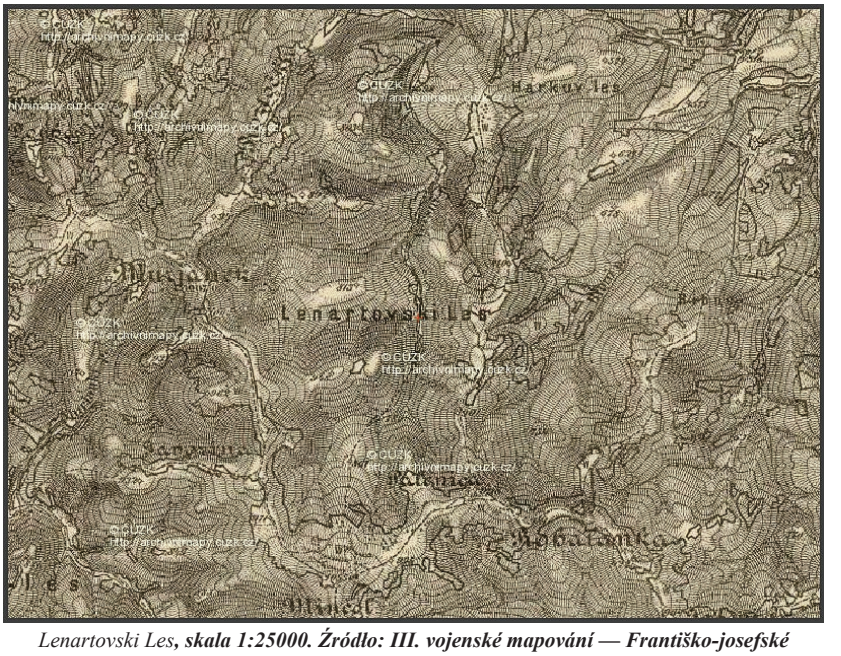
Zapytaliśmy kustosza kolekcji berlińskiej Ansgara Greshake, czy w zbiorach Museum für Naturkunde w Berlinie znajduje się meteoryt Krzadka? W odpowiedzi otrzymaliśmy informację, *że nie, że meteoryt zaginął podczas wojny* — czyli to co ustalił Pokrzywnicki. Napisaliśmy również do Anne Black. Niestety okazało się, że fragment meteorytu o nazwie Krzadka został już sprzedany. Nie udało nam się niestety uzyskać informacji kto był pierwotnym właścicielem sprzedawanej kolekcji, ani kto nabył ten wyjątkowo „cenny" fragment. Nie można zatem ustalić, skąd do oferowanej przez Anne Black kolekcji trafił fragment? Jakie było jego pochodzenie? Ślad się urwał.

Szkoda. Czy tajemnica handlowa wzięła górę, czy też pochodzenie tego fragmentu nie jest do końca dobrze udokumentowane? Nie wiemy. **Meteoryt Krzadka zaginął po raz drugi.**

*Woreczko*

***Fragment meteorytu Krzadka. Fot. Anne Black.***

# *Lenartovski Les* odnaleziony. Czy są tam jeszcze meteoryty?




*Lenartovski Les**, skala 1:25000. Źródło: III. vojenské mapování — Františko-josefské***

Historia odnalezienia meteorytu Lenarto pełna jest nieścisłości i fałszywych tropów. Ta ponad 100 kg bryła meteorytu żelaznego znaleziona w 1814 roku w okolicach wsi Lenartov na Słowacji nie miała dotąd szczęścia. Określenie precyzyjnego miejsca jej znalezienia sprawiało wiele trudności, w katalogach meteorytów są podawana bardzo różne lokalizacje. Również Jerzy Pokrzywinicki, mając bardzo ograniczony dostęp do źródeł, próbował rozwikłać zagadkę.

Kilka lat temu Magdalena Pilska-Piotrowska odnalazła artykuł z Literackiej Gazety Halskiej nr 243 z 1815 roku o meteorycie Lenarto. Opisane tam okoliczności znalezienia meteorytu, rzuciły nowe światło na to zagadnienie. W artykule pojawia się na określenie miejsca nazwa „las Lenartówka". Również w katalogu meteorytów imperium węgierskiego (József Török 1882) pada nazwa „Lenartowka nevű erdőben" (węg. las zwany Lenartowka).

Opracowując hasło Lenartow na http://wiki.meteoritica.pl postanowiłem odszukać to miejsce na starych mapach. Po przejrzeniu dostępnych w internecie standardowych map, skierowałem swoje poszukania w kierunku starych map wojskowych, na których często dla potrzeb wojska umieszczano informacje „nieoficjalne", w tym lokalne nazwy obiektów, nazwy funkcjonujące tylko w lokalnych społecznościach. Taka informacja dla operujących w danym terenie wojsk jest bardzo istotna. Najobszerniejszym zbiorem starych map wojskowych tych terenów są tzw. III. vojenské mapování — Františko-josefské. Przeszukałem czeskie serwery na których można obejrzeć te mapy i bingo!!! Na arkuszu 4266-3 mapy w skali 1:25000 z ok. 1876 roku, kilka kilometrów na południe od wsi Lenartov figuruje nazwa Lenartovski Les.

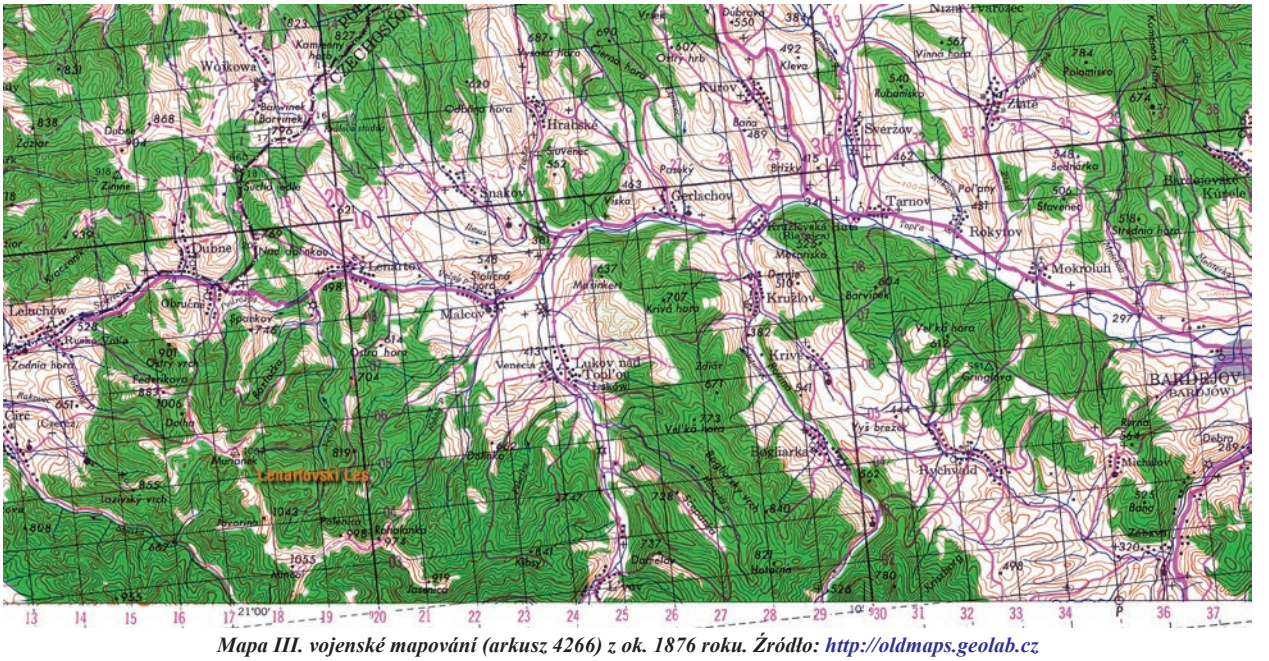
Czy to w tym lesie, nad którymś z przepływających przez niego strumieni, w 1814 roku spragniony owczarz natknął się na bryłę meteorytu żelaznego? Czy leżą tam jeszcze inne fragmenty? Czas pokaże.

Więcej na wiki.meteoritica.pl — Lenarto

*Woreczko*

**Literatura:**

Artykuł z *Literackiej Gazety Halskiej* nr 243 z 1815 roku o meteorycie Lenarto,




*Mapa III. vojenské mapování (arkusz 4266) z ok. 1876 roku. Źródło: http://oldmaps.geolab.cz*

*Masa główna meteorytu Lenarto w Muzeum Historii Naturalnej w Budapeszcie. Fot. Wadi & Jan Woreczko.*

który odnalazła Magdalena Pilska-Piotrowska.

Pokrzywnicki Jerzy, (1964), **I. Meteoryty Polski. II. Katalog meteorytów w zbiorach polskich.** *Studia Geologica Polonica*, vol. XV, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1964,

Török József, (1882a), **A Magyar Birodalom meteoritjei (I. rész).** *Természettudományi Közlöny*, XIV, 1882, s. 433–442.

Török József, (1882b), **A Magyar Birodalom meteoritjei (II. rész).** *Természettudományi Közlöny*, XIV, 1882, s. 497–514.

# Kosmiczna papryczka

**Patrycja Athina Kotowiecki**

Właśnie minęło 5 lat od ciekawego eksperymentu, o którym warto wspomnieć, nazwanego przeze mnie „Kosmiczna Papryczka".

Pomysł przeprowadzenia tego unikalnego eksperymentu zrodził sie przypadkiem. Nasz kolega, członek Polskiego Towarzystwa Meteorytowego, Marcin Cimała, zajmuje się profesjonalnie obróbką meteorytów. Po każdorazowym cięciu i szlifowaniu różnych rodzajów meteorytów pozostaje mu pył, który skrzętnie zbiera do specjalnego pojemnika.

We wrześniu 2007 roku poprosiłam go o udostępnienie mi około 1 kg tego pyłu przypominającego „ziemię". Postanowiłam spróbować przeprowadzić eksperyment z wyhodowaniem na tej „ziemi" kilku rodzajów roślin. Eksperyment miał za zadanie sprawdzenie, czy jest możliwym, w trakcie długotrwałych lotów kosmicznych, wyhodowanie roślin na „ziemi meteorytowej" z pozyskanych z przestrzeni kosmicznej meteorytów oraz czy wyhodowane rośliny byłyby zdatne do spożycia.

O eksperymencie powiadomiłam prof. Łukasza Karwowskiego i prof. Andrzeja Maneckiego, którzy przyjęli tę wiadomość pozytywnie zachęcając mnie do jego przeprowadzenia. Marcin Cimała, od którego otrzymałam prawie 1 kg „ziemi", zażyczył sobie, abym specjalnie dla niego wyhodowała miniaturowe papryczki, co uwzględniłam w swoim projekcie.

Przygotowałam cztery pojemniczki szklane, przypominające doniczki, z otworami w dnie na wypływ wody. Pojemniczki postawiłam na podstawkach. Do każdego pojemniczka odważyłam po 215 gram „ziemi", przy czym w pojemniczku nr IV, przy pomocy mocnego magnesu, starałam się wydzielić jak najwięcej metali i usunęłam je z tej próbki.

Eksperyment rozpoczęłam w dniu 23 września 2007 roku. W pierwszej doniczce zasadziłam rzeżuchę, w drugiej koper, w trzeciej papryczki, a w czwartej, w której zostało mniej metali ciężkich, wszystkie razem po trochu.

*Przygotowanie „ziemi" pod uprawy.*

*Rzeżucha po 11 dniach od zasiania.*

*Papryczki po 11 dniach od zasiania.*

Doniczki podlałam 100 ml wody destylowanej. Przez cały czas trwania eksperymentu kontrolowałam wilgotność gleby (podlewając wodą), powietrza oraz temperaturę gleby i otoczenia. Do próbek nie dodawałam nawozów.

Doświadczenie odbywało się w moim domu, w częściowo nasłonecznionym miejscu. Eksperyment został zakończony po 36 dniach z uwagi na częściowe obumieranie roślin oraz zmianę kolorów roślin na żółty i brunatny.

Dzięki uprzejmości Prof. Andrzeja Maneckiego, któremu przesłałam próbki gruntu, a następnie wysuszonych roślin, zostały one przebadane na zawartość Ni w laboratorium Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Niestety nie miałam możliwości przebadania próbek na zawartość innych związków chemicznych i zanieczyszczeń powstałych po obróbce meteorytów.

Wyniki zawartości Ni w % wagowych:
Przed eksperymentem
I – 0,47 %
II – 2,57 %
III – 1,81 %
IV – 0,26 %
Po eksperymencie zawartość Ni w % wagowych w próbkach roślin
I – rzeżucha 0,41 %
II – koper 1,32 %
III – papryczki 1,07 %
IV – (I,II,III razem) 0,18 %

Jak widać z powyższego zestawienia, próbki charakteryzowały się wysoką zawartością niklu a dla takiego „środowiska" najlepszym do upraw zgodnie z literaturą byłby skrzyp polny, ale czy byłby smaczny?

Nikiel jest pierwiastkiem wyjątkowym i kłopotliwym. Ten wysoce reaktywny metal należący do grupy przejściowej pierwiastków, jest piątym pod względem obfitości występowania pierwiastkiem na Ziemi. Metal ten jest trudny do wyeliminowania z bezpośredniego otoczenia, ponieważ stanowi składnik wielu narzędzi oraz niezliczonych przedmiotów dnia codziennego. Wysoka reaktywność chemiczna i efekty biologiczne niklu wydają się wynikać z jego struktury atomowej. Mimo, że jego rola w fizjologii zwierząt pozostaje niejasna, nikiel jest zaliczany do pierwiastków śladowych. Z drugiej strony, metal ten wykazuje działanie immunotoksyczne i rakotwórcze. Jednak na plan pierwszy wysuwa się ryzyko uczulenia na nikiel. Biorąc pod uwagę powszechność uczulenia, nikiel jest najważniejszym alergenem kontaktowym: 50—60 milionów Europejczyków jest uczulonych na nikiel

Dotychczas wykazano, że szkodliwa dawka niklu metalicznego ma bardzo dużą wartość, gdyż LD50 dla szczurów to 2 g/kg, a posługując się wartościami przeliczeniowymi, to około 120 g Ni dla 60 kg człowieka. Pojawia się pytanie czy ktoś rozsądny jest w stanie zjeść taką dawkę bez rozerwania ściany jelit? Dla konkretnych soli niklu wartości te określają dawkę w mg/kg lub µg/kg, ale w środowisku sporadycznie obserwuje się przypadki nadmiernego zgromadzenia badanego związku chemicznego. Pojawia się pytanie, czy powyższe dane wskazują na zagrożenie? Wydaje mi się, że dalsze badania już w specjalistycznym laboratorium oraz obróbka „oczyszczająca" z zawartości niklu, może potwierdzić tezę o możliwości hodowli roślin na tzw. „ziemi meteorytowej".

*Patrycja Athina Kotowiecki, członek PTMet-u, z zawodu kosmetolog (studia licencjackie; w tym roku rozpoczynająca studia magisterskie), sekretarz Zarządu Głównego Polskiego Stowarzyszenia Kosmetologii i Medycyny Estetycznej, miłośniczka biologii i meteorytów.*

# Wykrywanie spadających meteorytów przy pomocy radarów meteorologicznych – szybkie odnalezienie Sutter's Mill

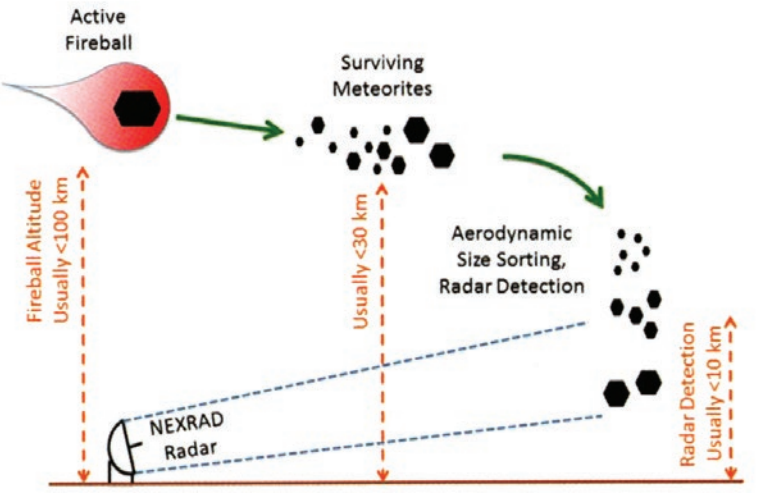
**Marc Fries i Jeff Fries**

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

Pomysł wykorzystania radarów meteorologicznych do zlokalizowania i badania spadków meteorytów zrodził się w roku 2005 na spotkaniu rodzinnym. Jeden z nas (IF) jest meteorologiem, a drugi bada meteoryty. Gdy w pewnym momencie zażartowaliśmy, że najwidoczniej mamy zakodowane w genach wspólne zamiłowanie do spadających obiektów, zapaliła się przysłowiowa lampka. Radary, które meteorolodzy wykorzystują na co dzień, zostały zaprojektowane do wykrywania spadających obiektów. Meteoryty są spadającymi obiektami, więc dlaczego spadające meteoryty nie mogłyby pojawić się w danych z radarów meteorologicznych? Analizując niedawne spadki zebraliśmy nieco wskazówek, jak powinien wyglądać deszcz meteorytów, po czym zaczęliśmy przeglądać dane z radarów towarzyszące relacjom świadków o jasnych meteorach. Było to cztery lata przed spadkiem meteorytu „Ash Creek" w miasteczku West, w Teksasie, 15 lutego 2009 r. To zdarzenie było doskonałym testem — nastąpiło przy bezchmurnym niebie, w środku dnia, były nagrania video i relacje świadków o głośnych gromach dźwiękowych, a meteoryty spadły niemal dokładnie między dwa radary WSR-88D radarowej sieci Narodowej Służby Pogodowej (NWS) NEXRAD. Był to także dość prosty spadek. Bolid leciał niemal prosto z przeważającym wiatrem, co minimalizowało wpływ wiatru i ukazywało czysty obraz spadania meteorytu pod wpływem dość prostych praw fizyki. Trudno uwierzyć, ale jak na ironię, co było dla nas dość szokujące, mniej więcej w tym samym czasie, gdy lokalizowaliśmy deszcz meteorytów w danych radarowych, pewien pracownik regionalnego centrum pogody NWS' Fort Worth zauważył dziwny zestaw wskazań radarów w środku słonecznego teksańskiego dnia, odnotował szum w Internecie na temat możliwego deszczu meteorytów w tej okolicy i skojarzył te fakty. Jeden post na blogu pogodowym NWS i wyszło szydło z worka. Mniej więcej

*Radar NEXRAD w Radarowym Centrum Operacyjnym WSR-88d w Norman (Oklahoma). Źródło: Wikimedia*

w tym samym czasie dwaj astronomowie z uniwersytetu z okolicy Dallas wracali z bezowocnych poszukiwań meteorytów z obserwowanego bolidu. Po drodze do domu przypadkiem zatrzymali się koło sklepu z kołaczami w West, w Teksasie, i paru miejscowych zapytało ich, czy astronomowie nie szukają „tych kamieni, które spadły na moją stodołę", czy coś w tym rodzaju. Między tym przypadkowym spotkaniem, a postem na blogu NWS ukazującym deszcz kamieni w danych z radaru meteorologicznego, do West spłynęli poszukiwacze meteorytów. Pojawiły się znaleziska i w dość krótkim czasie zebrano około 10 kg meteorytów „Ash Creek". Były to pierwsze poszukiwania meteorytów, które skorzystały z danych radarów meteorologicznych.

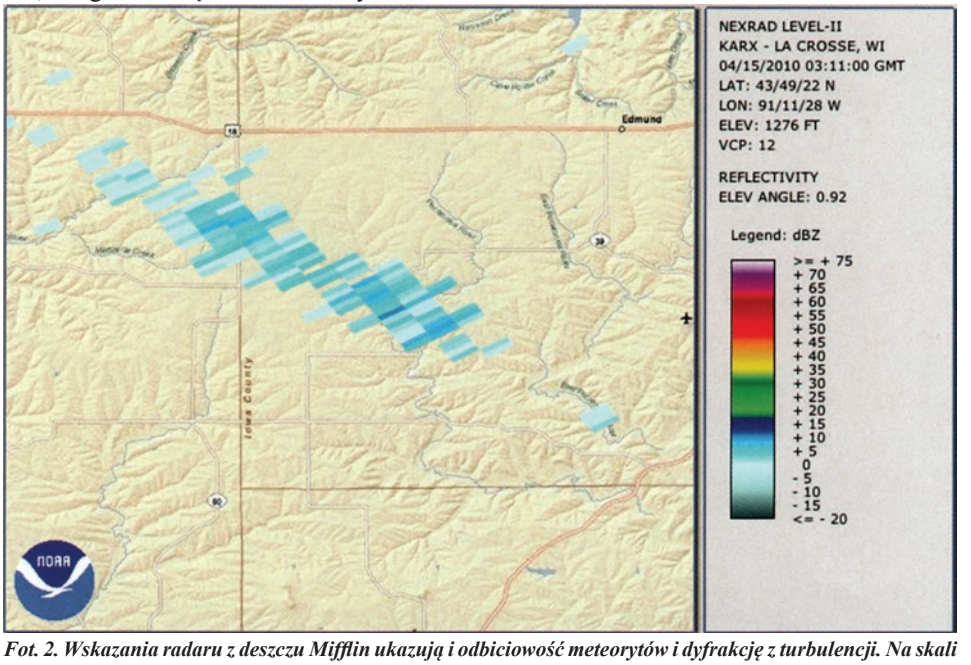



***Fot. 1. Geometria wykrywania meteorytów przez radar meteorologiczny. Zauważmy, że radary meteorologiczne nie wykrywają meteorytów, gdy bolid jest optycznie jasny, czy nawet wkrótce potem. Wykrycie następuje, gdy meteoryty spadną na wysokość poniże 10 km AGL (zazwyczaj). To oznacza, że te meteoryty miały już czas posortować się w trakcie spadania ze względu na wielkość, i że wskazania radaru z reguły nakładają się na (lub są blisko) miejsce, gdzie meteoryty spadły na ziemię.***

Kolejny deszcz meteorytów, który ukazał się na radarach, spadł w Mifflin, w Wisconsin, 14 kwietnia 2010 r. Setki świadków obserwowały długo trwający meteor spadający pod małym kątem. Zanim dowiedzieliśmy się o tym zdarzeniu kilka godzin po jego wystąpieniu, pracownik NWS, mający już doświadczenie ze spadkiem w West, znów umieścił na blogu post z obrazami spadających meteorytów z radarów meteorologicznych i poszukiwacze meteorytów już pakowali sprzęt, by wyruszyć na miejsce spadku. Analiza danych z radarów wskazywała na bardzo długi obszar rozrzutu meteorytów, co zgadzało się z obserwowanym małym kątem wejścia w atmosferę. Meteoritical Bulletin podaje, że odnaleziono 3,58 kg meteorytu Mifflin, ale z danych radarowych wynika, że kilogramowej wielkości bryły mogły spaść jeszcze dalej niż odnotowane znaleziska. Tych meteorytów nie odnaleziono, ale jest możliwe, że zostaną wyorane podczas prac polowych.

Najnowszym deszczem meteorytów, w którym poszukiwacze skorzystali ze wskazań radarów, był Sutter's Mill. To zdarzenie nastąpiło 22 kwietnia 2012 r. i podobne jak w przypadku West w Teksasie był to jasny bolid dzienny. Mieszkańcy miasta Coloma w Kalifornii i okolic mówili o gromach dźwiękowych, jakaś pani w Nevadzie zrobiła trzy zdjęcia bolidu, który był też przez chwilę widoczny na video nakręconym przez grupę wędrowców. Nie było jednak doniesień o znalezieniu meteorytów. Trudno by było ten spadek zlokalizować, gdyby nie to, że był pięknie widoczny w danych z trzech różnych radarów meteorologicznych. Meteoryt Sutter's Mill jest podobny do chondrytów węglistych typu CM, co czyni go wyjątkowym. W Stanach Zjednoczonych chondryty CM spadały wcześniej tylko dwukrotnie (Crescent w 1936 r. i Murray w 1950 r.).

We wszystkich trzech powyższych przypadkach dane radarowe ukazujące spadające meteoryty były udostępniane publicznie jeszcze podczas trwania spadania, a pełny obraz radarowy każdego zdarzenia był dostępny w ciągu kilku minut od jego zakończenia. W optymalnych warunkach powinno być możliwe zidentyfikowanie spadku i zebranie ekipy do zbierania meteorytów w ciągu kilku godzin, co pozwala na szybkie odnalezienie okazów z przyszłych deszczy meteorytów. Znalezienie okazów szybko po spadku minimalizuje ziemskie zanieczyszczenia meteorytów i umożliwia zrobienie analiz, w których czas ma decydujące znaczenie,




***Fot. 2. Wskazania radaru z deszczu Mifflin ukazują i odbiciowość meteorytów i dyfrakcję z turbulencji. Na skali barw z prawej proszę zauważyć ciemnoniebieskie, dodatnie wartości wskazujące odbicie impulsu radarowego od stałych obiektów i białe piksele pokazujące ujemne wartości, czyli ugięcie radarowego impulsu wskutek turbulencji atmosferycznej.***

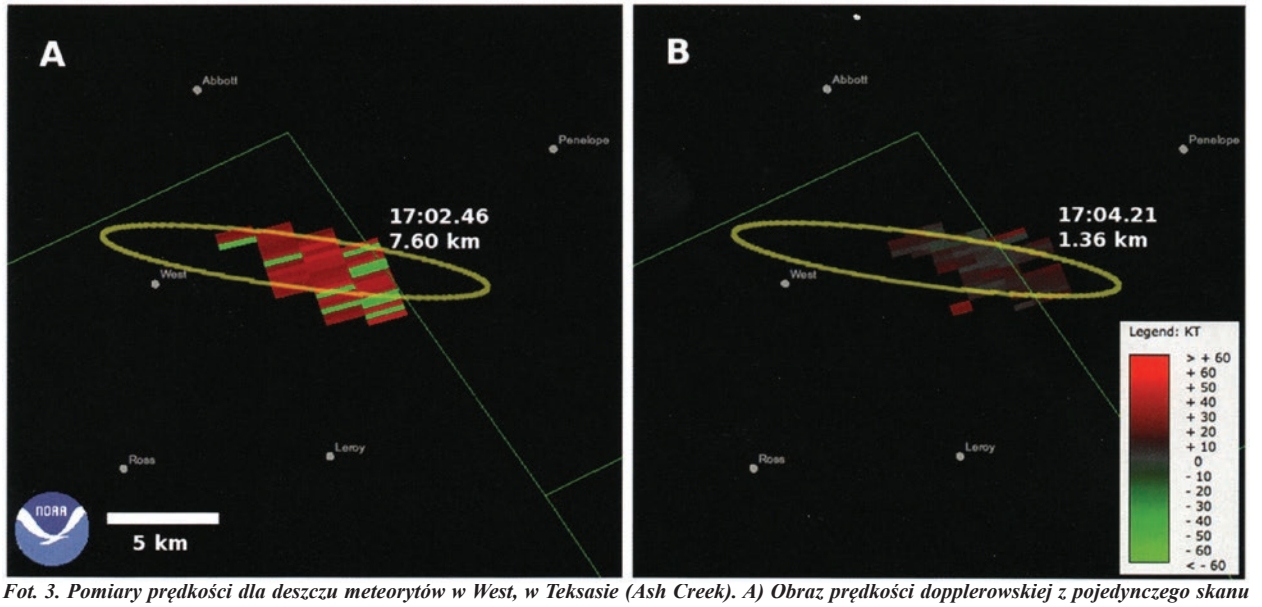
jak badanie krótko żyjących izotopów. Mogą też zachować się niektóre łatwo wietrzejące minerały. Na przykład w co najmniej jednym meteorycie znalezionym zaraz po spadku w Sutter's Mill stwierdzono obecność oldhamitu (siarczku wapnia CaS). Oldhamit nie był dotąd obserwowany w meteorytach typu CM, bo ten minerał rozpada się szybko pod wpływem wilgoci. Późniejsze znaleziska w Sutter's Mill mogły utracić oldhamit wskutek deszczy, które rozpadały się kilka dni po spadku i gdyby meteoryty nie zostały szybko pozbierane, to dowody występowania oldhamitu mogłyby zostać całkowicie zatarte.

## Budowa i zastosowanie radarów meteorologicznych

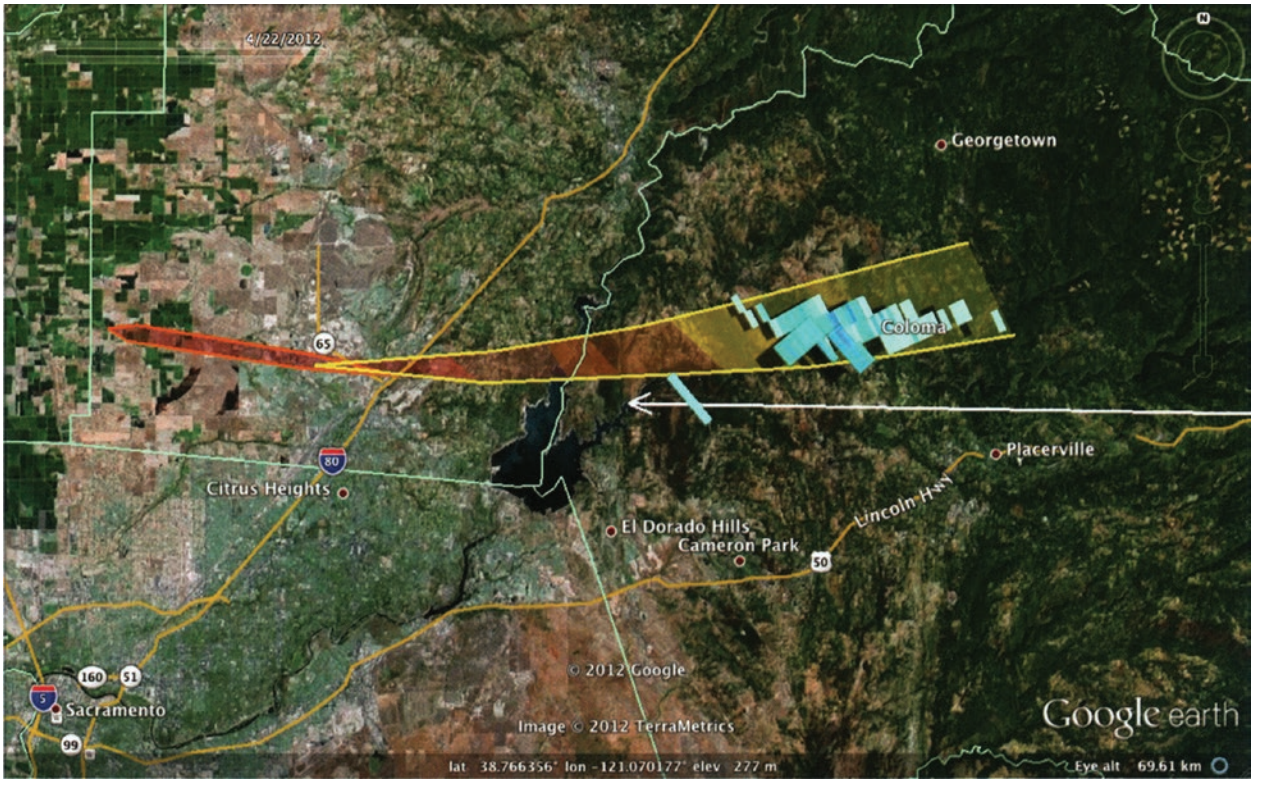
Radary wykorzystuje się do badań meteorów od pewnego czasu, ale wcześniej wykorzystywano do tego celu skierowane ku górze wyspecjalizowane radary i są i podobieństwa i różnice między tymi metodami, a użyciem radarów meteorologicznych. Obie metody wykorzystują do wykrywania meteorytów odbicie wiązki radarowej od aktywnego przekaźnika. Największa różnica między tymi dwiema metodami jest w geometrii schematu wykrywania (fot. 1). Radary skierowane w górę wykrywają meteoryty, gdy te są na dużej wysokości (do 100 km ponad poziomem gruntu czyli AGL) i najsilniejsze sygnały uzyskują od zjonizowanych gazów otaczających świecące meteoryty aktywnie ulegające ablacji. Radary meteorologiczne natomiast są nakierowane na obserwowanie zjawisk pogodowych blisko powierzchni gruntu. Zanim meteoryty osiągną obszar działania radarów meteorologicznych, ich prędkość maleje do wielkości określanej przez grawitację, przestają być jasne optycznie, i nie ma już otoczki plazmy odbijającej wiązkę radarową. Cała odbita energia wykrywana przez radar meteorologiczny albo odbija się od samych meteorytów, albo jest załamywana przez turbulentny ślad za nimi. Sygnały radarów meteorologicznych pojawiają się, gdy meteoryty są zwykle mniej niż 10 km AGL, a więc sygnały radarów z reguły nakładają się (albo są blisko) na miejsce, na które meteoryty spadły. Ponieważ radary meteorologiczne wykorzystuje się do ostrzegania przed groźnymi zjawiskami, ich dane są przedstawiane na dokładnej mapie terenu. Pozwala to na pokazanie końcowej fazy spadania deszczu meteorytów powiązanej z dokładnymi współrzędnymi geograficznymi miejsc na ziemi.

W Stanach Zjednoczonych sieć radarów dopplerowskich zapewnia niemal ciągłe pokrycie. Składa się na nią 159 radarów WSR-88D o dalekim zasięgu (Weather Surveillance Radar 1988 — Doppler, powszechnie nazywany NEXRAD), radary Terminal Doppler Weather Radars (TDWR) dostarczające dane pogodowe krótkiego zasięgu o wysokiej rozdzielczości przestrzennej dla większych lotnisk, i prywatne radary, z których większość należy do lokalnych stacji telewizyjnych. Wyniki z komercyjnych, telewizyjnych radarów z reguły nie są archiwizowane ani udostępniane publicznie poza wiadomościami telewizyjnymi, ale NEXRAD WSR-88D i radary TDWR przesyłają kompletne skany objętościowe do Narodowego Ośrodka Danych Klimatycznych (NCDC) w Asheville, w Karolinie Północnej, które są dostępne publicznie poprzez Internet. I urządzenia WSR-88D i TDWR działają wykonując pełny obrót, zmieniając wysokość i powtarzając pewną liczbę skanów by objąć zaprogramowany Volume Coverage Pattern (VCP) wokół radaru. Radary WSR-88D zmieniają VCP zależnie od lokalnej pogody, przyspieszając i zwiększając liczbę skanów, by zoptymalizować pokrycie podczas złej pogody, i obracając się powoli z mniejszą liczbą skanów, by oszczędzać urządzenia podczas ładnej pogody. Pod koniec każdego VCP, kompletny zestaw danych jest opracowywany przez miejscowy komputer i przekazywany elektronicznie do archiwów NW5 w NCDC.

Wśród danych z radarów meteorologicznych jest kilka rodzajów danych, które mogą być wykorzystane do zlokalizowania spadków meteorytów. Wśród tych danych są odbiciowość, prędkość dopplerowska, szerokość widma i inne wytwarzane przede wszystkim w celu analizowania groźnych zjawisk pogodowych. Dane z odbiciowości




***Fot. 3. Pomiary prędkości dla deszczu meteorytów w West, w Teksasie (Ash Creek). A) Obraz prędkości dopplerowskiej z pojedynczego skanu radaru nałożony na lokalną mapę i orientacyjna elipsa rozrzutu meteorytów (żółta). Zauważmy jasnoczerwone (prędkość w kierunku radaru) i zielone (od radaru) wartości wskazujące silną turbulencję w małej skali. B) Dane prędkości z innego, późniejszego skanu, ukazujące ten sam wzór o mniejszej intensywności, ponieważ meteoryty zwolniły w trakcie spadania. Na biało podano czas i wysokość AGL tych dwóch skanów.***




***Fot. 4. Na mapie z Google Earth dla deszczu Sutter's Mill pokazano wskazania radaru (jasnoniebieskie), naziemną trasę meteoru (biała strzałka) i orientacyjny obszar rozrzutu (barwy od żółtej do czerwonej pokazują rosnącą wielkość meteorytów).***

radarowej porównują energię odbitego impulsu dla każdego piksela obrazu z wyliczoną wartością oczekiwaną dla znanego zjawiska odbiciowości w ziemskiej atmosferze. W tych danych dodatnie wartości oznaczają energię odbitą od obiektu, a ujemne wartości oznaczają energię, która nie wróciła do radaru, bo uległa odchyleniu zwykle z powodu turbulencji. Do oznak spadania meteorytu należą obie te wartości, bo meteoryty odbijają wiązkę radarową, a turbulentny ślad po ich przelocie odchyla i rozprasza wiązkę radarową (fot. 2). Komplikuje to zadanie obliczenia objętości materii meteorytowej odpowiedzialnej za wartość piksela obrazu z danego radaru. Dane z pomiarów prędkości dopplerowskiej określają ruch odbijającego obiektu od radaru lub ku niemu. Te dane są użyteczne, by odróżnić poruszające się meteoryty od dość wolno poruszających się chmur, innych odbijających obiektów czy szumu radaru. Ukazują one także krótkotrwałą turbulencję spowodowaną przez spadające meteoryty, która daje charakterystyczny prążkowany wzór "candy-stripe" (fot. 3), co pomaga odróżnić meteoryty od zjawisk pogodowych. Wreszcie dane z szerokości widma ukazują zakres prędkości zmierzonych w danym pikselu obrazu. Spadające meteoryty zwykle wytwarzają duże, ale szybko zmieniające się wartości szerokości widma, ponieważ z wiązką radaru oddziałują meteoryty różnej wielkości i ich turbulentne ślady. Ten rodzaj danych nie jest zbyt użyteczny sam w sobie, ale wykrycie dużych wartości szerokości widma zwiększa prawdopodobieństwo, że dany sygnał pochodzi od spadających meteorytów.

## Deszcz meteorytów Sutter's Mill

Tak jak w przypadku innych deszczy meteorytów, dane z radaru meteorologicznego pokazały spadek Sutter's Mill podczas okresu, który wcześniej był dla badaczy niewidoczny — ograniczonej aerodynamicznie końcowej części „ciemnego lotu". "Ciemny lot" otrzymał taką nazwę, ponieważ jest to część trajektorii meteorytu następująca po tym, jak meteor „gaśnie". Deszcz Sutter's Mill pojawia się najpierw w danych z radaru KRGX w Reno, w Nevadzie. To wskazanie radaru pojawia się na 16,75 km powyżej poziomu gruntu (AGL) dokładnie o 14:51.57 UTC, 22 kwietnia 2012 r. (fot. 4). Ten sygnał jest jedynym, który rzeczywiście wskazuje na naziemny ślad bolidu, ponieważ wszystkie późniejsze sygnały wykrywają meteoryty, które spadły do 8 km od niego, bo zostały zniesione na północny wschód przez wiatr. Szereg innych wskazań radaru widać w danych z radarów KGRX, KBBX (Beale AFB, CA) i KDAX (Sacramento, CA) WSR-88D z odległości 165, 100 i 70 km. Sygnały te mieszczą się w przedziałach wysokości od 2,92 do 7,25 km AGL, i czasu od 14:56.49 do 14:58.40 UTC. Kierunki wiatru z balonu meteorologicznego NWS wypuszczonego z Reno, NV, o 1200 UTC 22 kwietnia 2012 r. wykorzystano do obliczenia trajektorii spadania meteorytów wykrytych przez te radary, z wykorzystaniem zasad fizyki spadających obiektów. Masy spadających meteorytów można ocenić na podstawie czasu ich ukazania się — meteoryty widziane na określonej wysokości w określonym momencie musiały dotrzeć do tego punktu przebywając określoną odległość od końca meteoru do miejsca sygnału radaru. Ponieważ wszystkie ciała wyhamowują na końcu do prędkości swobodnego spadania, to jakakolwiek różnica czasu potrzebnego do pokonania tej odległości jest najsilniej związana z masą i wielkością obiektu. Krótko mówiąc, im więcej czasu potrzebuje meteoryt, by pojawić się w danych radarowych, tym mniejszy musi on być. Kilogramowe meteoryty spadną na ziemię z wysokości 25 km AGL w ciągu 90–120 sekund, ale meteoryty ważące

l g mogą potrzebować 8-10 minut, by spaść z tej samej wysokości. Tak więc ponieważ mniejsze bryły potrzebują więcej czasu na dotarcie do gruntu, wiatr ma więcej czasu na przesunięcie drogi spadania meteorytu. Dlatego właśnie wyliczony obszar rozrzutu pokazany na fot. 4 jest zakrzywiony pod wpływem wiatru z WSW. Biorąc pod uwagę te ograniczenia meteoryty widoczne na późniejszych obrazach radarowych mieszczą się w przedziale od pojedynczych gramów do niewielu dziesiątek gramów. Dotąd znaleziono ponad 65 meteorytów Sutter's Mill i wszystkie z nich są w granicach przewidywanego obszaru rozrzutu. Bardziej masywne meteoryty mogły spaść dalej na zachód, ale nie widać ich na danych radarowych. Może to oznaczać, że albo nie było kilogramowych brył meteorytów, albo nie udało się radarom zobrazować ich podczas ich drogi ku ziemi.

### Przyszłość: Modernizacja NEXRAD i sieci radarów meteorologicznych na świecie

Sieć radarów NEXRAD przechodzi obecnie modernizację, która dostarczy nowych narzędzi do wykrywania i analizy spadków meteorytów. Radary WSR-88D zaprojektowano pierwotnie do przekazywania impulsów radarowych , które są spolaryzowane w jednym kierunku. Zmodernizowane radary będą transmitowały impulsy z podwójną polaryzacją, czyli bliźniacze impulsy radarowe, które są spolaryzowane prostopadle do siebie. Dzięki pomiarom różnic natężenia sygnału między tymi dwoma modami polaryzacyjnymi te zmodernizowane radary mogą bezpośrednio mierzyć wielkość kropel deszczu i kulek gradu. Może być także możliwy bezpośredni pomiar wielkości spadających meteorytów. Najlepszy test tej możliwości pojawi się wtedy, gdy deszcz meteorytów spadnie w zasięgu takiego podwójnie spolaryzowanego radaru, co w czasie pisania artykułu się nie zdarzyło. Urządzenia TDWR także są modernizowane, by dołączyć je do publicznie dostępnego strumienia danych NCDC, by polepszyć zasięg i rozdzielczość przestrzenną połączonej sieci radarowej.

Sieci radarów meteorologicznych istnieją na całym świecie więc jest potencjalna możliwość wykrywania deszczy meteorytów nad większością lądów. Aby narodowa sieć radarów meteorologicznych była przydatna do odnajdywania meteorytów, musi: 1) archiwizować dane radarowe a nie tylko wyświetlać je i usuwać, 2) udostępniać dane radarowe publicznie, i 3) zapisywać dane w formacie możliwym do odczytania. Działanie radarów meteorologicznych, sprzęt i oprogramowanie oraz dostępność danych różnią się w poszczególnych krajach, co utrudnia wykorzystanie tych danych. Na przykład Australijskie Biuro Meteorologiczne utrzymuje sieć radarów meteorologicznych złożoną z więcej niż jednego modelu radaru i dostarcza dane radarowe za opłatą, ale te dane są zapisywane we własnym formacie, co utrudnia ich wykorzystanie. Urząd Środowisko Kanady utrzymuje kanadyjską narodową sieć radarów meteorologicznych i udostępnia dane publicznie przez portal internetowy, ale publikuje tylko przeliczone wyniki opadów. Te wyniki otrzymuje się z wykorzystaniem algorytmu, który eliminuje wszelkie zjawiska nie związane z pogodą do tego stopnia, że nie pojawia się w tych danych nawet duży deszcz meteorytów Buzzard Coulee, który dostarczył ponad 41 kg meteorytów. W innych krajach udostępnia się dane nieformalnie z ograniczoną pomocą dla finalnego użytkownika. Sieci radarów meteorologicznych obejmują jednak obecnie ogromne połacie lądów na całym świecie i jeśli będzie możliwe uzyskiwanie stałego spływu danych radarowych możliwych do wykorzystania, to istnieje potencjalna możliwość znacznego wzrostu liczby świeżych spadków meteorytów dostępnych do badań naukowych. Istotnym czynnikiem w wykorzystywaniu tych danych radarowych będzie nakłonienie narodowych służb meteorologicznych do poprawienia dostępności i użyteczności ich danych.

### Wnioski

Wykorzystanie radarów meteorologicznych jest ważnym nowym przyczynkiem do odnajdywania meteorytów i ich dalszych badań. Wizja szybkich, kierowanych radarami, poszukiwań meteorytów nie jest tylko „szczęśliwym przypadkiem", jak pokazały to trzy deszcze meteorytów — Ash Creek, Mifflin i Sutter's Mill. Sytuacja będzie się tylko poprawiać ponieważ i system NEXRAD w USA jest ulepszany i więcej badaczy meteorytów na całym świecie zacznie wykorzystywać, mam nadzieję, dane radarowe z ich lokalnych, narodowych służb meteorologicznych.

# Wstępna relacja o nowym spadku w Oslo, w Norwegii

**Morten Bilet**

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

Wślad za fantastycznym spadkiem chondrytu węglistego CO3.6 w Moss, w 2006 roku, znów zdarzyło się w Norwegii coś, w co trudno uwierzyć: inny meteoryt, piętnasty w Norwegii, spadł na miasto, tak samo, jak stało się to w Moss. Tym razem była to nasza stolica, Oslo. Kawałek meteorytu uderzył w dach, a fragmenty zostały znalezione przez kilka osób.

Zaczęło się, gdy właścicielka domku, Anne-Margrethe Thomassen, znalazła 12 marca 2012 r. czarny kamień i dziurę w dachu swego domku, na terenie ogródków działkowych w Rodelokka, blisko centrum Oslo.

Jeszcze kilka dni wcześniej nie było ani kamienia ani dziury w dachu.

Nie zaobserwowano żadnego bolidu związanego z tym spadkiem, który, jak wskazują okoliczności, nastąpił 9 lub 10 marca. Nad znaczną częścią Skandynawii niebo było pochmurne i bolid byłby zasłonięty grubą pokrywą chmur. Jeśli spadek nastąpił w dzień, to nie byłoby łatwo zauważyć jakiegokolwiek dudnienia w atmosferze w zgiełku dużego miasta takiego jak Oslo, gdzie wiele się buduje, czemu towarzyszy duży hałas. Otrzymałem jednak dwie relacje o odgłosach grzmotów wieczorem, 9 marca. Muszę jednak podkreślić, że ten spadek nie ma żadnego związku z bolidem, który widziano nad znaczną częścią południowo-wschodniej Norwegii 1 marca, nad obszarem Sigdal/Eggedal w powiecie Buskerud, chociaż mam nadzieję, że będzie można znaleźć okazy tam lub koło Valdres.

Meteoryt uderzył w krawędź dachu i rozpadł się na dwie prawie jednakowe części, które razem ważą około 550 gramów. Na zdjęciach w gazetach nietrudno zauważyć, że jest to typowy meteoryt kamienny. Miałem okazję to potwierdzić, gdy oglądałem go w Muzeum Przyrodniczym w Tøyen, w Oslo, razem ze znalazcą, Anne-Margrethe Thomassen i innymi osobami. Meteoryt wygląda na zbrekcjowany chondryt H lub L, co oznacza, że w wyniku wcześniejszych zderzeń w kosmosie, składa się z fragmentów kilku różnych kamieni. Tak samo jak na Ziemi, w kosmosie brekcje są dość pospolite. Szczegółowa klasyfikacja musi być zrobiona w meteorytowym laboratorium i to powinno być zrobione w ciągu roku.

*Anne Grethe Thomassen, Morten Bilet i trafiony dach.*

## Więcej znalezisk

Kilka dni po odkryciu Anne-Margrethe, Liv Kibsgaard spacerowała z psem po Ekebergsletta, porośniętej trawą równinie we wschodniej części Oslo, i nagle zauważyła w trawie czarny kamień. Ważący 700 gramów meteoryt uderzył w zamarzniętą trawę i przy uderzeniu odłupał się mały fragment. Ten mały kawałek ważył 26 gramów i znalazł go kilka dni później mój przyjaciel Martin Holst. Zaczęliśmy się teraz zastanawiać, czy to był duży, czy mały deszcz meteorytów. Rozpoczęły się zorganizowane poszukiwania i gdyby to był rzadki typ meteorytu, tak jak w Moss, to podążyli by w to miejsce miłośnicy meteorytów z całego świata. W poszukiwaniach wzięła udział mała grupa przyjaciół z Polski (Polska Sieć Bolidowa). Pod koniec marca znaleziono sporo fragmentów ważącego około 150 gramów kamienia, który uderzył w asfalt obok przedszkola. Później mieliśmy tam prelekcję dla dzieci, które przyjęły ją z wielkim entuzjazmem. Było to 800 metrów od znaleziska na Ekebergsletta. Ponadto w tej samej okolicy znaleziono cały okaz ważący 115 gramów. Ten mniejszy kamień szybko został sprzedany znanemu kolekcjonerowi meteorytów w Anglii.

## Duży spadek

Zorganizowane poszukiwania zaczęły ukazywać nam obraz spadku. Okazało się, że elipsa rozrzutu rozciąga się z południa na północ, przy czym najmniejsze okazy znaleziono na południowym krańcu, co wskazuje, że kierunek spadania był ku północy (najmniejsze okazy spadają pierwsze). Odnalezione okazy układają się wzdłuż linii, co jest typowe zwłaszcza dla małych spadków. W przypadku większych spadków rozrzucone fragmenty tworzą wydłużony owal czy też elipsę.

*Liv Kibsgaard z ważącym 700 gramów meteorytem, który znalazła spacerując z psem na Ekebergsletta. Fot. Morten Bilet.*

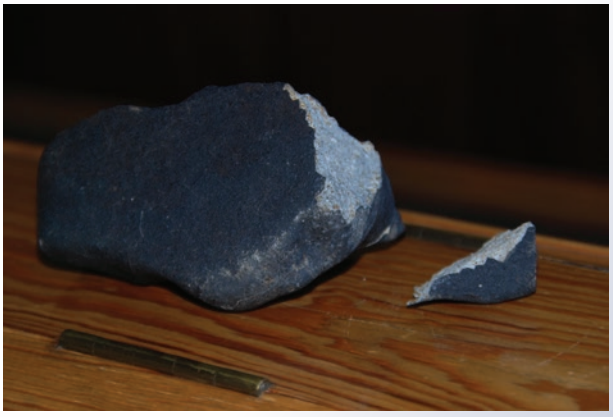
Po tygodniach intensywnych poszukiwań bez żadnych wyników doszliśmy do wniosku, że był to mały spadek meteorytu, i że nie byłby potrzebny koszyk do zbierania okazów, chociaż sądzimy, że jeszcze ze 2 czy 3 okazy dałoby się znaleźć. Zgodnie z rozkładem wynikającym z naszych wcześniejszych znalezisk i naszym przypuszczeniem, że zostało jeszcze coś do znalezienia, został znaleziony fantastyczny meteoryt w Grefsen, trochę na północ od Oslo. Jest on duży jak na norweskie standardy: 4,6 kg! Ten kamień uderzył w porośnięte trawą zbocze i rozpadł się na kilka kawałków, z których największy waży ponad 3 kg. Jak poinformował Knut Jørgen Røed Ødegaard, znalazca woli pozostać anonimowy.

Podsumowanie znalezisk z przybliżonymi wagami:

1. Rodeløkka, 2 fragmenty, łącznie 550 g.
2. Ekebergsletta, 1 kamień, 700 g + 26 g fragment.
3. Przedszkole/Barnehagen, w sumie około 150 g.
4. Nieznane (okolica Ekeberg), cały okaz, 115 g.
5. Grefsen, kilka fragmentów, w sumie około 4,6 kg.

Przy łącznej wadze około 6,141 kg (jak dotąd), jest to trzeci co do wielkości meteoryt znaleziony w Norwegii. Dwa większe, wcześniejsze znaleziska to Finmarken (78,6 kg) i Tysnes Island (21,7 kg).

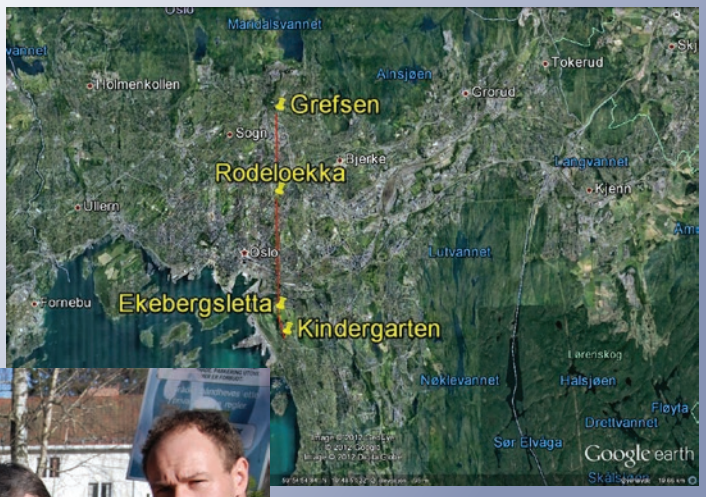
*Fot. 1. Meteoryt odnaleziony 12 marca 2012 r. blisko centrum Oslo, uderzył i uszkodził dach domku.*



*Fot. 2. Dwa okazy zostały znalezione w Ekebergsletta. Pierwszy, ważący 700 g, znalazła Liv Kibsgaard. Mniejszy kawałek, który odłupał się od pierwszego, waży 26 gramów i znalazł go Martin Holst.*

*Fot. 3. Anne Margrethe Thomassen z meteorytem, który zrobił dziurę w dachu jej domku w Rodeløkka. Fot. Morten Bilet.*

*Fot. 4. Kamień z Rodeløkka ukazuje zbrekcjowane wnętrze i, przy oglądaniu z bliska, widoczne chondry. Fot. Morten Bilet.*



*Fot. 5. Norwesko-polska ekipa poszukiwawcza demonstruje swoje znaleziska z Oslo. Morten Bilet pierwszy od lewej.*

*Morten Bilet jest członkiem IMCA (#1690). Interesuje się geologią od początku lat siedemdziesiątych. Jest autorem publikacji, sprzedawcą i poważnym kolekcjonerem minerałów i meteorytów, interesującym się bardzo astronomią. Morten ma znaczny wkład w popularyzowanie tych zagadnień w szkołach i w mediach, jak TV, gazety i czasopisma krajowe i międzynarodowe (włącznie z wcześniejszym artykułem w Meteorite).*