

METEORYT

Nr 4 (92) Grudzień 2014 ISSN 1642-588X

W numerze:

- Konferencja w setną rocznicę znalezienia pierwszego okazu meteorytu Morasko
- Morasko — znaki zapytania
- Kosmochemia metali
- Najstarsze skały w Układzie Słonecznym
- Brytyjski meteoryt z epoki żelaza



100 lat
meteorytu
Morasko

METEORYT

kwartalnik
dla miłośników meteorytów

ISSN 1642-588X

Wydawca:

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

tel. (89) 533 49 51

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 2015 roku 48 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. Piłski
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.

Od Redaktora:

„Meteorite” przestaje istnieć, więc kończy się wykorzystywanie przez nas materiałów z tego kwartalnika. Dalej musimy radzić sobie sami. Pożegnanie nie następuje gwałtownie, bo dzięki temu, że w tym numerze mamy sporo własnych materiałów, artykuły z „Meteorite” pojawią się jeszcze w numerze marcowym. Pora jednak na podziękowania dla redaktorów „Meteorite” i autorów tłumaczonych artykułów.

Serdecznie dziękuję wszystkim osobom, dzięki którym, przez 20 lat współpracy, mieliśmy co czytać w „Meteorycie”. Czuję jednak, że niektóre z nich zasłużyły na szczególną wdzięczność za wyjątkowo życzliwe podejście. Przede wszystkim Joel Schiff, twórca „Meteorite”, który z życzliwością podszedł do prośby mało znanego wówczas miłośnika meteorytów z Polski i zgodził się na tłumaczenia artykułów bez żadnych warunków finansowych. Co więcej, przekazując „Meteorite” polecił mnie swemu następcy. Potem Larry Lebofsky, z którym współpraca była przyjemnością i który najwięcej pomagał udostępniając także źródłowy materiał ilustracyjny. Wreszcie Robert Beauford, który na zakończenie zarekomendował jednemu z autorów publikowanie dalej swych artykułów w „Meteorycie”.

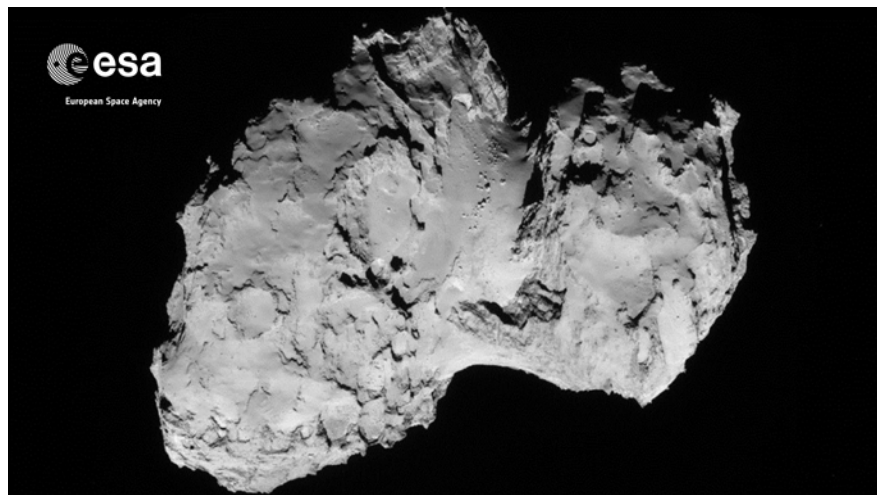
Spośród autorów na myśl przychodzi mi przede wszystkim Geoff Notkin, który zaszkodził mnie przysyłając swoje zdjęcie pomnika katyńskiego w Nowym Jorku na tle płonących wież po zamachu 11 września. Kilkanaście jego znakomitych artykułów w „Meteorycie” doprowadziło w efekcie do przyjazdu „Meteorite Men” do Polski. O Richard Norton i Dorothy Norton, która po śmierci Richarda wciąż życzliwie odnosi się do „Meteorytu”. John Kashuba, który wciąż chętnie udostępnia zdjęcia z Centerpiece, zawsze z miłym komentarzem. Kevin Kichinka, zawsze z ciekawymi, ale trudnymi do tłumaczenia artykułami. Wspominam autorów, z którymi udało mi się nawiązać osobistą znajomość, ale dziękuję wszystkim, których artykuły ukazywały się w „Meteorycie”.

W bieżącym numerze dominuje Morasko, do czego zobowiązuje nas setna rocznica znalezienia pierwszego okazu. O Morasku niemało w „Meteorycie” pisano i zapewne nadal pisać się będzie, ponieważ podejmowane są dalsze badania i pojawiają się nowe informacje. W ostatnich dniach wpadła mi w ręce praca o kraterze Whitecourt, który powstał w takim samym podłożu, jak krater w Morasku, więc daje możliwość porównań. Wokół tego krateru, o średnicy 36 m, znaleziono znacznie więcej szrapneli w stosunku do indywidualnych okazów meteorytu niż przy kraterach w Morasku. Może więc jednak deszcz meteorytów Morasko spadł na istniejące już zagłębienia?

O meteorycie Danebury pisałem kilka numerów temu, ale ponieważ mogłem postawić swoją bosą stopę w miejscu jego znalezienia i czuję do niego szczególną sympatię, więc polecam obszerniejszy artykuł na jego temat. Także ten kamyk może coś wnosić do dyskusji o Morasku, ponieważ pokazuje, że meteoryt może być mało zwietrzały nawet po ponad dwóch tysiącach lat pobytu na Ziemi.

Andrzej S. Piłski

Na okładce: Memorss wystawiony przed Pracownią Muzeum Ziemi WNGiG (fot. P. Ryder). Wyżej: znaleziony 100 lat temu pierwszy okaz meteorytu Morasko, obecnie w zbiorach Instytutu Nauk Geologicznych PAN w Krakowie. Fot. Marek Doktor.



Podczas gdy w Poznaniu odbywały się uroczystości związane z setną rocznicą znalezienia pierwszego okazu meteorytu Morasko, świat ekscytował się misją sondy Rosetta i lądowaniem próbnika Philae na powierzchni jądra komety Churiumowa-Gierasimienki. Obok jedno ze zdjęć dostarczonych przez Rosettę. W najszerszym miejscu obiekt ma rozmiar 4,1 km. Jego masę określono na 10 mld ton. Pomimo, że jest głównie zbudowany z lodów i pyłów o dość porowatej strukturze (gęstość ok. 470 kg/m³) jego powierzchnia okazała się zbyt twarda dla MUPU-Sa — specjalnego młota skonstruowanego przez pracowników CBK w Warszawie, którego zadaniem było dostać się kilkadziesiąt centymetrów w głąb.

Konferencja w setną rocznicę odkrycia pierwszego okazu meteorytu Morasko

Andrzej Muszyński, Monika Nowak

Głównym wydarzeniem związanym z obchodami 100-lecia odkrycia pierwszego okazu meteorytu Morasko była Konferencja jubileuszowa, która odbyła się 12 listopada 2014 r. na terenie Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Obchody te uświetniła także wizyta światowej sławy badacza meteorytów, profesora Johna T. Wassona z Uniwersytetu Kalifornijskiego (UCLA) (Meteoryt 3/2014). W czasie Nocy Naukowców 2014 na terenie Wydziału Nauk Geologicznych i Geograficznych prezentowano wystawę przedstawiającą historię meteorytu Morasko oraz można było oglądać największe fragmenty meteorytu Morasko wraz z znalezionym w 2012 roku Memorsem. Polskie Towarzystwo Astronomiczne udostępniło wspólną wystawę o Kosmosie. Na wiosnę 2015 planowane jest odsłonięcie nowych tablic informacyjnych na terenie Rezerwatu Przyrody Meteoryt Morasko. Szczegóły wydarzeń są dostępne na stronie domowej jubileuszu (<http://meteorytmorasko.amu.edu.pl/>)

Konferencja była podzielona na sesję referatową, która miała miejsce w godzinach między 9:00 a 13:30, i zwiedzanie, tuż po wykładach, Rezerwatu Przyrody Meteoryt Morasko. W trakcie sesji referatowej wygłoszonych zostało osiem wykładów popularnonaukowych. Sesja referatowa była podzielona na dwie części tematyczne, rozdzielone przerwą kawową. Pierwsza część była poświęcona ogólnie tematyce związanej z pochodzeniem i spadaniem meteorytów, natomiast druga część była ściśle związana z meteorytem Morasko.

Odczyty wygłosili Prezes Polskiego Towarzystwa Astronomicznego dr hab. Agnieszka Kryszczyńska,

przedstawiciel Polskiego Towarzystwa Meteorytowego prof. dr hab. Łukasz Karwowski z Sosnowca, gość zagraniczny z Muzeum Historii Naturalnej w Berlinie — dr Kai Wünnemann, Nadleśniczy Nadleśnictwa Łopuchówko mgr Zbigniew Szelaż oraz Prezes Polskiego Towarzystwa Ochrony Przyrody Salmandra dr inż. Andrzej Kepel. Instytut Geologii UAM reprezentowali prof. dr hab. Andrzej Muszyński, prof. dr hab. Wojciech Stankowski oraz dr Witold Szczuciński.

Wprowadzenia do konferencji dokonał Dziekan Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych prof. dr hab. Leszek Kasprzak, który w barwnych słowach przybliżył gościom, co wydarzyło się na terenach otaczających Morasko w dziejach geologicznych.

Dr hab. Agnieszka Kryszczyńska rozpoczęła sesję konferencyjną wykładem o pochodzeniu meteorytów i planetoid zbliżających się do Ziemi. Podane zostały podstawowe definicje związane z omawianym tematem oraz szczegółowo opisany został pas planetoid, który jest głównym źródłem meteorytów. Interesująco potraktowany był efekt Jarkowskiego i mechanizm wyrzucania meteoroidów na orbity prowadzące ku Ziemi. Wrażenie zrobiło pokazanie zderzenia komety z Jowiszem.

Prof. dr hab. Łukasz Karwowski opowiadał o meteorytach w historii Ziemi. Nawiązał do powstania Księżyca i do Wielkiego Bombardowania Ziemi meteorytami w archaiku. Ciekawe były zdjęcia dokumentujące przykłady meteorytów w różnowiekowych osadach. Jest to kolejny dowód upadków meteorytów na powierzchnię Ziemi, który pojawia się niezależnie od kraterów impaktowych. Ważną częścią wykładu było przedstawienie klasyfikacji i typów meteorytów.

Bardzo interesujący okazał się wykład dr Kaia Wünnemanna o tym, jak impakty meteorytów wpływały na ewolucję planet. Wykład był wygłoszony w języku angielskim i był symultanicznie tłumaczony na język polski przez pana Radka Kosarzyckiego. Wykład rozpoczął się od omówienia problemu akrecji planet i powstania Księżyca. To ostatnie wydarzenie zostało nazwane matką wszystkich wydarzeń impaktowych i miało miejsce ok. 4,5 mld lat temu. Była to kolizja Ziemi z planetoidą wielkości Marsa (tzw. Theia), co prelegent zademonstrował wyrazistą animacją komputerową. Ciekawe zagadnienie dalszej poimpaktowej genezy Księżyca prelegent rozważał przy pomocy porównania izotopowego składu skał księżycowych i składu skał płaszcza Ziemi. Ten izotopowy problem nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśniony do dzisiaj. W dalszym rozwoju Księżyca powstało 45–60 wielkich basenów impaktowych. Można z tego odczytać czas i intensywność okresu wczesnego bombardowania. Tego rodzaju kolizje dostarczyły istotnych źródeł ciepła we wczesnych stadiach ewolucji planet. Mogły wtedy powstać we wnętrzu ciał planetarnych tzw. hot spoty, tj. plamy gorąca, które rozprzestrzeniały się ku wnętrzu tych ciał. Kolizje na niezdyferencjonowanych asteroidach (bez żelaznego jądra) dawały ogrzewanie wnętrza w zależności od kąta kolizji — tutaj przedstawione były animacje dla kątów 15°, 30°, 60°, 90°.

W dalszym ciągu prelegent omówił rozwój i ewolucję powierzchni planet na podstawie rozmieszczenia impaktów. W czasie tworzenia planet w naszym Układzie Słonecznym wystąpiło ok. 3,9 mld lat temu tzw. Wielkie Bombardowanie (LHB — Late Heavy Bombardment). Po tym czasie strumień impaktorów znacznie



Dr Witold Szczuciński przedstawia prof. Wassonowi prace prowadzone i planowane w rezerwacie. Fot. Andrzej S. Pilski.

osłabł. Wielkość i morfologia kraterów zależą w dużej mierze od wielkości impaktora, który wpływa na średnicę, głębokość i objętość krateru. W związku z tym istnieją: krater prosty, krater kompleksowy, krater z centralnym wyniesieniem oraz basen z wieloma pierścieniami. Zademonstrowane zdjęcia przykładów konkretnych kraterów pochodziły głównie z Księżyca i Marsa.

Ciekawy fragment omawianej prelekcji dotyczył możliwości badania impaktów w warunkach laboratoryjnych. W tym wypadku pojawiają się jednak dwa istotne problemy. Wyzwaniem jest bowiem uzyskanie przyspieszenia pocisku do prędkości ponaddzwiękowej, co w przypadku laboratorium jest możliwe w zakresie 5–10 km/s. Drugim problemem jest pytanie jak przejść ze skali laboratoryjnej wymiarów kraterów do naturalnych rozmiarów. Dr Wünnemann zaprezentował tutaj niemiecki program badawczy MEMIN (Multidisciplinary Experimental and Modeling Impact crater research Network) w którym używają do przyspieszenia pocisku dwustopniowego działu lekkiego gazu. W badaniach tych używają żelaznej kulki o średnicy 1 cm, którą przyspieszają do prędkości 5,5 km/s i uderzają w porowaty piaskowiec. Sfilmowany

eksperyment w zwolnionym czasie był niesamowicie instruktywny. Jednak porównanie z prostym kraterem pokazało, że brak jest między nimi podobieństwa z uzyskanego laboratoryjnie krateru. Dlatego następny pokazany eksperyment demonstrował uderzenie w miękki ziarnisty materiał, jakim jest piasek. Użyty został pocisk z materiału plastikowego o średnicy 6 mm i wadze 0,23 grama, który przyspieszono do prędkości 1,4 km/s i dla lepszej obserwacji zastosowano szklany pojemnik. Na pokazanym świetnym filmie, widać było wszystkie stadia formowania się prostego krateru typu księżycowego. Stadium inicjalne kontaktowe, stadium kompresyjne i stadium kolapsu. Niestety dla większych kraterów (niż prosty) musimy używać modelowania komputerowego, bo istotnej roli grawitacji w tworzeniu kraterów nie możemy uzyskać w warunkach laboratoryjnych. Zatem dla wyjaśnienia genezy krateru kompleksowego używamy modelowania numerycznego na komputerze, co zostało zademonstrowane na przykładzie kolizji skośnej filmikiem w zwolnionym czasie.

Ostatni poruszony temat dotyczył skutków impaktu na życie na Ziemi. Szczególną uwagę zwrócono na wielkie impakty, które spowodowały masowe wymieranie świata żywego,

takie jak na przykład ok. 65 mln lat temu. Porównane zostały parametry kraterów Chicxulub i Ries oraz na podstawie symulacji numerycznej pokazane efekty środowiskowe wielkiego impaktu. Konsekwencjami dużego impaktu są: powstanie krateru, fala szokowa, fala ciśnieniowa i termiczna, trzęsienia ziemi, tsunami, wyrzucenie materiału drobnego do stratosfery, pożary, ciemności i wielkie zmiany klimatyczne, które doprowadzają do tzw. zimy nuklearnej. Częstość spadku dużych meteoroidów o średnicy 10 km przypada raz na 100 mln lat, a meteoroidów o średnicy dziesiątków metrów raz na 10–100 lat.

Upadek meteoroidu Czelabiński w dniu 15.02.2013 pokazał dobitnie, że małe meteoroidy dość często zderzają się z Ziemią.

W zakończeniu dr Wünnemann podkreślił, że zdarzenia impaktowe są podstawowym procesem na wszystkich planetach. Na „deser” została pokazana animacja upadku małego meteoroidu na Berlin w okolicach Tiergarten.

Po przerwie prof. dr hab. Andrzej Muszyński opowiadał o historii badań meteoroidu Morasko. Pierwsze znalezisko tego żelaznego meteoroidu miało miejsce w dniu 12 listopada 1914 roku podczas kopania rowów strzeleckich w czasie I wojny światowej. Konfe-

rencja odbyła się dokładnie w 100 lat po tym wydarzeniu. Dalszym istotnym momentem w omawianej historii badań był okres lat 50-tych, kiedy dr Jerzy Pokrzywnicki powiązał w spójną hipotezę znaleziska meteorytów wokół wsi Morasko wraz z występującymi nieopodal bezodpływowymi zagłębieniami w lesie. Nazwał te zagłębienia kraterami meteorytowymi. W latach 70-tych badania w tym terenie prowadziła szeroka grupa uczonych pod kierownictwem prof. dr hab. Hieronima Hurnika. A sam meteoryt, w ramach pracy doktorskiej, badała pani Bogna Dominik pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Andrzeja Maneckiego. Lata 90-te charakteryzują się wyraźnym wzrostem ilości znalezisk odłamków meteorytów, spowodowanym rozwojem technicznym wykrywaczy metalu. Wielu prywatnych poszukiwaczy przyczyniło się do wzrostu wiedzy o meteorytach z Moraska dostarczając informacji i materiału do badań. Lata dwutysięczne obfitowały zarówno w nowe znaleziska na terenie rezerwatu, jak również wzrostem publikacji naukowych przedstawiających wyniki badań.

Prof. dr hab. Wojciech Stankowski referował zagadnienie morfogenezy obszaru upadku meteorytu Morasko. Teren ten jest obszarem polodowcowym z wyraźną kulminacją moreny czołowej z ostatniego zlodowacenia. Opowiedział on o niezwykle złożonej budowie geologicznej tego obszaru i zarysował rozwój tego terenu w czasie geologicznym. Szczególnie ważne było udokumentowanie czasu upadku meteorytu Morasko. Dzięki zastosowaniu różnorodnych technik badawczych udało się udowodnić wiek upadku na ok. 5-6 tysięcy lat temu, co jest znacznie młodsze od czasu ustąpienia lądolodu z tej części Wielkopolski.

Dr Witold Szczuciński opowiedział o wpływie impaktu meteorytu Morasko na środowisko przyrodnicze. Przedstawił aktualny projekt badawczy NCN prowadzony przez niego w Instytucie Geologii UAM. Odniósł się do dotychczasowych wyników badań i przedstawił perspektywę prac szerokiego grona specjalistów z różnych dziedzin nauki, w tym udział badaczy z zagranicy. Badany jest rejon badań wokół samych kraterów oraz miejsca w odległości kilku kilometrów od kraterów. Ideą przewodnią jest to, że taka

katastrofa środowiskowa, związana z impaktem, musiała się także zapisać w innych archiwach geologicznych jak na przykład w osadach jezior i torfowisk. W badaniach zaangażowaniu są doktoranci z geologii, geomorfologii, palinologii oraz astronomii. Ponadto planowane są badania sedymentologiczne, mineralogiczne, paleośrodowiskowe oraz archeologiczne. Niezwykle ważne będą prace nad modelowaniem numerycznym impaktu meteorytu Morasko, które pozwolą także na dalsze poszukiwania większych fragmentów meteorytów.

Ostatnie dwa wykłady poświęcone były obszarowi samego Rezerwatu Przyrody Meteoryt Morasko i występującej w nim florze i faunie. Dr inż. Andrzej Kepel oraz mgr Zbigniew Szelań przedstawili unikalne kolorowe i interesujące zdjęcia poszczególnych gatunków zwierząt i roślin z terenu rezerwatu. Omówili także zagrożenia i problemy płynące z ingerencji człowieka w ten obszar.

Udział w konferencji jubileuszowej był całkowicie bezpłatny po uprzednim zarejestrowaniu na stronach konferencji. Ostatecznie wzięło udział ponad 500 osób (z ponad 600 zarejestrowanych), w tym uczniowie i nauczyciele z 14 szkół z Poznania i Wielkopolski (m.in. Śremu, Puszczykowa, Wolsztyna, Słupi i Obornik Wielkopolskich). W wycieczce terenowej udział wzięło ponad 200 osób, a ze względu na rozmiary zwiedzanego terenu oraz jego chroniony charakter, zwiedzanie odbywało się w grupach około 20–25 osobowych. Studenci z Kół Naukowych Geologii i Astronomii oprowadzali uczestników po rezerwacie „Meteoryt Morasko”, gdzie w sześciu punktach objaśniali różne elementy związane z impaktem żelaznego meteorytu. Wszyscy uczestnicy otrzymali materiały informacyjne i szkic rezerwatu „Meteoryt Morasko”.

Organizatorami konferencji byli Uniwersytet im. Adama Mickiewicza (Instytut Geologii oraz Instytut Obserwatorium Astronomiczne), Polskie Towarzystwo Astronomiczne oraz Polskie Towarzystwo Meteorytowe. Patronat honorowy nad wydarzeniem objęli JM Rektor UAM prof. dr hab. Bronisław Marciniak, Marszałek Województwa Wielkopolskiego Marek Woźniak oraz Prezydent Miasta

Poznania Ryszard Grobelny. Patronat medialny nad imprezą objęli IKS, Radio Afera, Telewizja Wielkopolska oraz Wielkopolski Serwis Informacyjny Wielkopolska24. Konferencja była współfinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z funduszy uzyskanych przez Polskie Towarzystwo Astronomiczne.

Fakt, że konferencja jubileuszowa miała miejsce, jest zasługą ogromnej pracy całego dziesięcioosobowego komitetu organizacyjnego składającego się z pracowników Instytutu Geologii (A. Muszyńskiego, M. Nowak, B. Sternal, M. Szokaluk, J. Jaworskiej, R. Jagodzińskiego, W. Szczucińskiego) i Instytutu Obserwatorium Astronomicznego (A. Kryszczyńskiej, J. Gołębiewskiej, D. Oszkiewicz). Ogromną pomoc udzielili również studenci zrzeszeni w Kole Naukowym Geologów oraz członkowie Koła Naukowego Astronomów; w dniu konferencji w działania organizacyjne zaangażowanych było ponad czterdziestu studentów, a specjalne słowa uznania za ogromną pomoc należą się P. Urbankowi, M. Kowalczykowi i M. Matuszak. Zresztą organizatorzy w trakcie przygotowań spotykali się głównie z życzliwością i pomocą w trakcie organizacji.

W Poznaniu fragmenty meteorytu Morasko, w tym dwa obecnie największe Rudy i Memorss, można oglądać w Pracowni Muzeum Ziemi WNGiG, w godzinach dyżurów pracowni (<http://muzeumziemi.amu.edu.pl/>).

Prof. dr hab. Andrzej Muszyński jest absolwentem Uniwersytetu Wrocławskiego. Zajmuje się zagadnieniami mineralogii, petrologii i geochemii skał krystalicznych. Ostatnio interesuje się również meteorytami i zagadnieniami impaktów. Jest pracownikiem Instytutu Geologii w Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Hobby: ezoteryka i podróże.

Dr Monika Nowak — Absolwentka Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Zatrudniona na stanowisku adiunkta w Zakład Mineralogii i Petrologii Instytutu Geologii od 2013 roku. W swojej pracy naukowej zajmuje się głównie petrologią i mineralogią skał wulkanicznych i skał płaszcza. W wolnym czasie pomaga przy badaniach nad Meteorytem Morasko, oraz w Pracowni Muzeum Ziemi. Pozanaukowo zainteresowana historią, filmem oraz podróżami.



Morasko — znaki zapytania

Andrzej S. Pilski

Dwunastego listopada minęło sto lat od odnalezienia pierwszego okazu meteorytu Morasko. Dla uczczenia tej rocznicy zorganizowano jubileuszową konferencję, na którą przybyli niemal wszyscy zaangażowani w badania tego deszczu meteorytów żelaznych geolodzy, astronomowie i poszukiwacze meteorytów. W pierwszej części przedstawiono kosmiczne tło, czyli pochodzenie meteorytów i skutki zderzeń ciał w Układzie Słonecznym. Drugą część poświęcono historii badań meteorytu Morasko i miejsca, gdzie spadł ten deszcz meteorytów. Zaprezentowano też rezerwat „Meteoryt Morasko”, na którego zwiedzanie zaproszono po zakończeniu konferencji.

I na konferencji, i w wydanej wcześniej książce „Morasko. Największy deszcz meteorytów żelaznych w Europie środkowej.”, zaprezentowano to, co wiemy obecnie o tym wydarzeniu. Dla badacza ciekawsze jest jednak uświadomienie sobie, czego jeszcze nie wiemy, bo to otwiera perspektywę dalszych dociekań. Morasko bawi się z nami w chowanego i niechętnie ujawnia swoje sekrety, a być może podsuwa też fałszywe tropy.

Przyzwyczajiliśmy się do twierdzenia, że deszcz meteorytów Morasko spadł około 5000 lat temu, ale to twierdzenie oparte jest na bardzo kruchych podstawach. Zakładamy, w ślad za Jerzym Pokrzywnickim, że uderzenia największych meteorytów z tego deszczu wybiły kratery na północnej stronie Moraskiej Góry, na terenie objętym dziś rezerwatem. Datowanie próbek osadów z tych kraterów pokazało, że osady te zaczęły gromadzić się nie wcześniej niż 5000 lat temu, a więc kratery te są zbyt młode, by powstały jako pozostałości po zlodowaceniu, czyli muszą być meteorytowe. Ponieważ w ich pobliżu znajdują się meteoryty, uznano, że powstały one w wyniku spadania tychże meteorytów.

W rzeczywistości wiemy tylko, że zagłębienia na terenie rezerwatu

są zbyt młode na ich pochodzenie polodowcowe, bo powstały około 5000 lat temu. Reszta, to są domniemania i założenia. Obecność meteorytów w pobliżu kraterów ma takie samo znaczenie dowodowe, jak nóż leżący w pobliżu ciała denata. Trzeba by dopiero wykazać, że właśnie ten nóż był narzędziem zbrodni.

Fakt, że największe okazy meteorytu Morasko znaleziono w pobliżu kraterów, jest obiecującą poszlaką, ale przydałyby się jakieś dowody. Kratery mogą być dwojakiego rodzaju: wybuchowe i uderzeniowe. Te pierwsze powstają, gdy energia uderzenia jest tak duża, że następuje eksplozja, w wyniku której meteoryt zostaje zniszczony. Kratery takie mają większe średnice i w nich, czy w ich pobliżu, można znaleźć impaktyty, czyli przeobrażone w wyniku eksplozji fragmenty skał z miejsca uderzenia. Wydaje się, że największe kratery w rezerwacie Morasko można zaliczyć do tej kategorii, ale impaktytów dotąd nie znaleziono.

Kratery uderzeniowe, mające mniejsze średnice, to po prostu zagłębienia wytworzone przez meteoryty wbijające się w ziemię. Zwykle grunt, czy fragmenty skał z obrzeża takiego zagłębienia osypują się do środka przykrywając meteoryt, ale ten meteoryt pozostaje pod dnem krateru. Tak było w przypadku deszczu meteorytów Sikhote-Alin, gdzie największe okazy znaleziono zasypane w kraterach. Średnice mniejszych kraterów w Morasku sugerują, że są to kratery uderzeniowe, czyli muszą w nich być meteoryty. Dlaczego dotąd ich nie znaleziono? A może ich tam nie ma, a deszcz meteorytów spadł na teren zryty już kraterami? Taki przypadek znamy z Agoudal w Maroku, gdzie meteorytowe pochodzenie krateru jest udowodnione przez obecność stożków uderzeniowych, ale leżące wokół meteoryty żelazne najprawdopodobniej spadły na istniejący już krater. Przede wszystkim wydają się zbyt młode.

Podobnie może być z meteorytami Morasko. Stopień ich korozji zależy wyraźnie od tego, w jakim gruncie zostały znalezione, ale wiele okazów pokrytych jest tylko naskorupieniem piasku scementowanego wodorotlenkami żelaza, pod którym jest niewiele zmieniona skorupa obtopieniowa. Przykładem jest choćby największy znaleziony okaz Moraska. W wielu okazach, które zostały przecięte, a ich przekroje wytrawione, zaobserwowano warstwę rekrytalizacji pod skorupą, gdzie linie Neumanna zostały zniszczone pod działaniem wysokiej temperatury. Takie warstwy rekrytalizacji obserwuje się w świeżo spadłych meteorytach żelaznych (Sikhote-Alin, Braunau), natomiast nie widać ich w meteorytach, których wiek ziemski ocenia się na ok 4000 lat (Campo del Cielo, Henbury). Nawet meteoryt Nantan, który spadł w XVI wieku w Chinach, jest znacznie bardziej zwiertzały niż Morasko.

Sugestię, że meteoryty Morasko mogły spaść niedawno, nawet w XIX wieku, przedstawił najpierw Krzysztof Socha, ale trudno przypuszczać, że tak ogromny deszcz meteorytów nie pozostawił żadnych śladów w zapiskach historycznych. Zwłaszcza teraz, gdy deszcz meteorytów koło Czelabińska unaocznili wszystkim, jak potężne są skutki dla środowiska. Mamy jednak w kronikach z początku XIV wieku opisy spadających z nieba kamieni na terenach obecnych Niemiec, na które zwrócił uwagę już Chladni, ale nie znaleziono żadnych meteorytów mogących pochodzić z tej katastrofy. Wiesław Czajka wysunął tezę, że opisy te mogą dotyczyć deszczu meteorytów Morasko. Przypadek Czelabińska podpowiada, że opisy z terenu Niemiec mogą przedstawiać skutki działania fali uderzeniowej, a nie samych meteorytów, które spadły dalej, podobnie jak to było w Czelabińsku.

Jeśli ta koncepcja odpowiada prawdzie, to wynika z niej, że meteoryty leciały z zachodu na wschód.

Natomiast rozmieszczenie znalezisk Moraska na mapie wykonanej dzięki benedyktyńskiej pracy Moniki Nowak, na podstawie informacji udostępnionych przez poszukiwaczy meteorytów, sugeruje, że meteoryty spadały od wschodu na zachód, ponieważ największe okazy są na zachodnim krańcu.

Aby jeszcze bardziej zagmatwać obraz, analizy rozmieszczenia pyłu meteorowego, prowadzone przez Honoratę Korpikiewicz, pokazały, że największe ilości pyłu występują wzdłuż kierunku odchylonego o 15 stopni na wschód od północy. Potwierdzało to tezę Pokrzywnickiego, który na podstawie doniesień o przypuszczalnym odnalezieniu meteorytów koło Obornik Wielkopolskich (zaginięły zanim je zbadano) i obserwacji, że wał przy największym kraterze jest najwyższy po stronie południowej, sugerował, że meteoryty Morasko nadleciały z północy.

Obszar rozrzutu, to osobny problem. Nie wszyscy poszukiwacze udostępnili dane o swych znaleziskach i nie wszyscy, którzy udostępnili, przedstawili dokładne dane. Widać, że większość poszukiwaczy była nastawiona tylko na znalezienie okazu i nie notowała szczegółów dotyczących

znaleziska, a jeśli nawet, to nie wiązała trwale informacji z konkretnym okazem, przez co trudno było później ustalić na przykład, gdzie znaleziono szrapnele. Mamy więc informację, gdzie znaleziono meteoryty, ale nie mamy informacji, gdzie ich nie znaleziono mimo poszukiwań, czyli nie mamy wiarygodnych granic obszaru rozrzutu. Ponadto nie wszystkie tereny są dostępne dla poszukiwań. Pomijając rezerwat, gdzie potrzebne jest specjalne zezwolenie, trudno szukać na terenach zabudowanych, na niektóre tereny nawieziono ziemię, z innych ją wywieziono, zrobiono miejskie wysypisko. I tak mamy szczęście, że rozbudowa Poznania nie postępowała szybciej. Nie mamy więc pewności czy, gdyby teren spadku był dostępny bez ograniczeń, obszar rozrzutu nie wyglądałby inaczej.

Znane są przypadki odwrotnych elips rozrzutu, gdzie widziano meteoryt lecący od zachodu, a największe okazy znaleziono po zachodniej stronie. Najbliższym przykładem jest meteoryt Łowicz. Widać więc, że rozmieszczenie meteorytów różnej wielkości nie przesądza o kierunku spadania. Ponadto dopiero niedawno zaczęto znajdować okazy na dużej głębokości i nie można wykluczyć, że jest

ich tam więcej, więc dalsze znaleziska mogą trochę zmienić obraz. Nie jest też tak, że na jednym końcu są tylko duże okazy, a na drugim małe. Na terenie rezerwatu znajdowano meteoryty różnej wielkości, od największych, do zaledwie kilkugramowych, niemal całkowicie zwiędzłych, ale będących całkowitymi okazami z zachowanym kształtem. Tak więc kierunek spadania też pozostaje problemem do rozwiązania.

Określenie wieku ziemskiego meteorytów żelaznych, czyli stwierdzenie, jak dawno one spadły, jest bardzo trudne, ponieważ izotopy promieniotwórcze, jakie można by do tego wykorzystać, mają długi czas połowicznego rozpadu. Można więc stwierdzić, ile milionów lat temu spadł meteoryt, ale gdy chodzi o tysiące lat, błąd pomiaru jest zbyt wysoki. Szuka się więc metod pośrednich. Do Moraska zastosowano datowanie luminescencyjne oparte na stwierdzeniu, że spadające meteoryty były dostatecznie gorące, by wyzerować luminescencję przylegającego gruntu i wytworzyć spiek przylegający do skorupy. Datowanie to dało wynik porównywalny z ocenianym wiekiem kraterów.

Pech chciał, że w skorupie wietrzeniowej jednego z meteorytów zauważono okrusz węgla drzewnego pozwalający na datowanie metodą C14. Okazało się, że węgiel ma niespełna 2000 lat i skoro trudno sobie wyobrazić, by przykleił się po spadku do meteorytu zagrzebanego w ziemi, to meteoryt musiał spaść na węgiel już po jego powstaniu. Co więcej datowanie materii organicznej w pobliżu węgla dało wiek mniejszy od tysiąca lat. Wojciech Stankowski sugeruje, że ten meteoryt mógł spaść później, co jest możliwe, ale wydaje się mało prawdopodobne, że byłby on znów tego samego typu, co meteoryty spadłe wcześniej.

Jubileusz minął, ale próby znalezienia odpowiedzi na te i inne pytania związane z deszczem meteorytów Morasko trwają nadal. Prowadzone i planowane są nowe projekty badawcze, o których wspominają autorzy rocznicowego artykułu w tym numerze. Ciekawe, jakie niespodzianki jeszcze na nas czekają.



Przekrój przez jeden z okazów meteorytu Morasko znalezionych przez Andrzeja Owczarzaka, którego znaleziska poszerzyły znany obszar rozrzutu. Pisalismsy o tym w „Meteorycie” nr 1/2014. Fot. Andrzej S. Pilski.

Rozważania nad bolidem wielkopolskim — model rdzewienia kuli żelaznej

Wiesław Czajka

Z praktycznym zastosowaniem wiedzy o rozpadzie konstrukcji żelaznych zetknąłem się na przełomie lat 80-tych i 90-tych XX wieku jako kartograf i redaktor map morskich. Sprawa dotyczyła zaznaczania odpowiednimi sygnaturami wraków na mapach i zasad ich opisywania w sposób odpowiadający bezpieczeństwu żeglugi. Międzynarodowa Organizacja Hydrograficzna (IHO) w swych wytycznych przyjęła zasadę, według której bezpieczny prześwit żeglugowy nad zatopionym statkiem uwarunkowany jest czynnikiem czasu. Zależnie od wielkości i rodzaju wraku, po upływie określonej liczby lat, bezpieczny prześwit był zwiększany według tabel, co należało uwzględnić w kolejnych edycjach mapy. Po dziesięcioleciach wskutek korozji taki wrak rozpada się i nie stanowi na ogół zagrożenia żeglugi, co znajduje odzwierciedlenie w przekwalifikowaniu niebezpieczeństwa i w zastosowaniu na mapie odpowiedniego znaku kartograficznego.

Jakaż szkoda, że takie pouczające dyskusje nie są prowadzone w sprawie meteorytów. Co prawda model ich korozji jest inny, przede wszystkim środowiskowo, ale metodykę, która zauważa wpływ czasu w stosunku do badanego obiektu, warto przemyśleć.

Impulsem do spisania zarysu problemu była dyskusja, jaką prowadziliśmy z prof. Wojciechem Stankowskim (UAM) po konferencji z okazji jubileuszu 100-lecia badań Moraska, w której wzajemnie próbowaliśmy znaleźć argumenty dla hipotez moraskiego deszczu meteorytowego. Przypomnijmy, że chronologicznie pierwszą jest lansowana przez ośrodek poznański hipoteza, która mówi o wydarzeniu około 5000 lat temu, w czasie którego powstały tak zwane kratery Moraska.

Druga hipoteza, bolidu wielkopolskiego, mówi, że deszcz meteorytów wystąpił przed Wielkanocą 1305 roku, co w konsekwencji oznacza, że kratery Moraska nie są meteorytowe. W przypadku pierwszej hipotezy, jej zwolennicy, ciągle nie odpowiadają na pytanie, dlaczego moraskie meteoryty są tak mało skorodowane. Warto zatem rozważyć temat rdzewienia.

Model rdzewienia kuli żelaznej.

Podczas modernizacji drogowej sieci świetlnej na warszawskiej Wiślostradzie w drugiej połowie 2014 roku podniosłem zrudziały kawał żelaza wykopany w trakcie tych prac. Wydłużony owalny kształt długości około 15 cm zupełnie nie wskazywał, co kryło się w środku. Został zabrany do rozpoznania. W takich znaleziskach nigdy nie wiadomo do końca, co się kryje w środku. Niebawem wzięty pod młot okazał się zwykłym kwadratowym bolcem z nadspawanym hakiem. Zaskoczyła mnie za to grubość skorupy wietrzeniowej, miejscami licząca ponad 1 cm. Niby nic wielkiego, ale ...po pobycie na konferencji związanej ze 100-leciem badań meteorytu Morasko w Poznaniu, na której istniała jedynie teza o tym, że znajdowany deszcz meteorytów ma 5000 lat, bolc i doświadczenia z opracowań map morskich stały się dla mnie głęboką inspiracją logiczną.

Uświadomiłem sobie, że nikt nie odważył się do tej pory na oszacowanie znikania metalu (meteorytów żelaznych) w gruncie pod wpływem naturalnych czynników. Nie pozostało zatem nic innego jak ustalić najprostszy model rdzewienia żelaza i oszacować wartości.

Założono zatem najprostszy model, że meteoryt w kształcie kuli

rdzewieje z roku na rok o stałą warstewkę, z zewnątrz do środka. Należało oszacować roczny ubytek żelaza nieskorodowanego. Z pomocą przyszedł bolc z Wiślostrady, który musiał być zakopany w czasach jej budowy. Nie było innej możliwości. Znam ten fragment drogi od dziecka. Czas rdzewienia oszacowałem na 40 lat. Grunty występujące to piaski drobne i pylaste tarasu zalewowego Wisły, co mniej więcej odpowiada gruntem w Morasku. Z oglądu bolca założyłem, że przez czas przebywania w gruncie ubyło na ściance około 1 mm metalu. Oszacowana wartość obciążona jest największym błędem, ale jest dość realna.

Podzielenie 1 milimetra przez 40 lat oznaczało, że warstewka żelaza o grubości 25 tysięcznych milimetra rocznie przechodzi w wodorotlenki i inne związki żelaza. Z tym założeniem otrzymano następujące wyniki dla dwóch hipotez dotyczących Moraska (tabela 1):

Wynik wskazuje, że po około 700 latach meteoryty żelazne z Moraska, których średnica była mniejsza od 3,5 cm skorodowały. Mogą być znajdowane obecnie okazy 3-centymetrowe, ale z przedstawionego modelu wynika, że ich pierwotna średnica powinna wynosić około 7 cm. Analizując znikanie kuli po 5 tysiącach lat można stwierdzić, że być może założona wartość ubytku warstwy żelaza była zawyżona. Wynik wskazuje, że z dużego meteorytu powinna zniknąć warstwa grubości 12,5 cm. Dużo.

Warto zatem spojrzeć jak będzie się to układało dla rdzewiejącej warstewki żelaza o grubości 1 setnej milimetra rocznie. Oznacza to, że w modelu zmniejszamy korozję roczną o 2,5 raza. Otrzymujemy wartość w tabeli 2:

Tabela 1

Hipoteza datowania spadku	Lata	Grubość znikającej warstewki żelaza w mm	Co odpowiada średnicy kuli żelaznej w mm
Średniowiecze	700	17,5	35
Neolit	5000	125	250

Tabela 2

Hipoteza datowania spadku	Lata	Grubość znikającej warstwy żelaza w mm	Co odpowiada średnicy kuli żelaznej w mm
Średniowiecze	700	7	14
Neolit	5000	50	100

Uzyskane wartości są bardzo interesujące, szczególnie dla dużych fragmentów meteorytu Morasko. Jedną ze ścian MeMorSSa, najbardziej masywnego dotychczas znalezionego meteorytu o wadze ponad ćwierć tony, objawia charakter oryginalnej ściany istniejącej jeszcze przed wejściem asteroidy w atmosferę ziemską. Nazwijmy ją ścianą pierwotną. Jej relief cechuje się dużą gładkością i łagodnymi zagłębieniami o deniwelacji nie większej niż 15 mm. Pozostałe krawędzie wyglądają na odspojone od innych fragmentów w czasie eksplozji w środowisku ziemskim. A zatem ściana pierwotna będąc poddana na czynniki agresywne w gruncie powinna skorodować po 5 tysiącach lat. Innymi słowy po odkuciu zwietrzliny powinniśmy widzieć wewnątrz meteorytu, a nie jego relief. Relief jest jednak wyraźny i widoczny. Powstaje szereg pytań, czy umożliwiły to czynniki chemiczne, czy stosunkowo krótki okres przebywania okazu w gruncie. Znajdowane są liczne meteority z jeszcze świeżym charakterem metalu. Powstaje paradoks, dlaczego ich tak dużo znajdujemy po pięciu tysiącach lat. Jaki czynnik zdecydował, że meteority z Moraska zachowały taką świeżość. Oglądając MeMorSSa w trakcie konferencji na 100-lecie badań meteorytu Morasko w Poznaniu w listopadzie 2014 roku, zauważyłem na nim identyczną „zarazę” jaka toczy mój 1-kilogramowy okaz. Łuszczenie meteorytu odbywa się mimo zabiegów pielęgnacyjnych i przechowywaniu w suchym środowisku. Nic nie powstrzymuje korozji moraskich meteorytów. A zatem koroduje w środowisku ziemskim, czy nie? Dlaczego w czasie konferencji w Poznaniu, prowadzonej ostatecznie przez mineralogów, nikt najmniejszym słowem nie skomentował powyższego paradoksu. Może jednak meteority z Moraska są młode w środowisku ziemskim.

Relacje poszukiwaczy wybrane z kwartalnika METEORYT

Warto czytać wielokrotnie artykuł Krzysztofa Sochy „Morasko — inne

spojrzenie” (METEORYT 1 (49) 2004). Autor konsekwentnie powtarza, że meteority zalegają płytko i nie ma zależności, że im głębiej, tym trafia się na większe fragmenty (wyłączając oczywiście te największe). Jeśli zalegają płytko to czynnik zmienności środowiska się potęguje, co z kolei oznacza, że w części powierzchniowej korozja meteorytów jest największa. Po 5000 lat powinny się wszystkie rozsypać.

W 2004 r. w Dominik Padirac zrelacjonował w METEORITE swą wyprawę do Moraska w 2003 r. Przekład ukazał się z METEORYCIE pod tytułem „Nowe znaleziska w Morasku” (nr 3 z 2004 r.) Pierwszym znalezionym meteoritem okazał się okaz „mały i zardzewiały”. Towarzysz Dominika, Sławomir Derecki miał więcej szczęścia, wykopał okaz 375-gramowy. Znalazcy nie podają większej ilości informacji o gruncie i znaleziskach.

W METEORYCIE o numerze 4 z 2004 r. po „znalezieniu” Jankowa Dolnego w artykule „A nie mówiłem” Andrzej S. Pilski pod presją hipotez lodowcowych pisze: „Pewien problem stanowią... meteority, które są mało zwietrzałe, a nawet mają zachowaną we wgłębieniach pod zwietrzeliną skorupę obtopieniową. Potwierdzają, że powierzchnia meteorytu nie została zniszczona przez korozję... Z drugiej jednak strony znajdowane są także okazy bardzo zwietrzałe, co sugeruje, że spadek nastąpił dawno, a stan zachowania zależy od tego, czy dany okaz był w przepuszczalnych dla wody żwirach, czy też w warstwie zatrzymującej wilgoć”. Widać pewne niezdecydowanie autora, choć nurtuje go problem dobrego zachowania stanu meteorytów. Oprócz „zdrowych” okazów były jednak zardzewiałe, ale tak nie do końca. Znowu pytanie, czy gdyby korodowały w tysiącach lat, to by nie „zmurszały”?

W METEORYCIE o numerze 4 z 2006 r. znajduje się artykuł — relacja „Dwa lata w rezerwacie Morasko” autorstwa Andrzejów Muszyńskiego i Pilskiego oraz Krzysztofa Sochy. Tekst jest refleksją ze znalezienia

160-kilogramowego okazu w 2006 roku. W końcowych akapitach można znaleźć stwierdzenie: „Większość znalezionych okazów pokryta jest grubą warstwą rdzy, ale znaleziono przynajmniej dwa okazy tkwiące w piaszczystym gruncie, na których warstwa zwietrzliny jest bardzo cienka i wstępne oględziny sugerują, że skorupa obtopieniowa została dość dobrze zachowana. Okazy te nie zostały jeszcze przecięte i nie można wykluczyć, że nie należą one do deszczu Morasko, ale już wcześniej znajdowano okazy z dobrze zachowaną skorupą, których struktura nie różniła się od typowej dla meteorytów Morasko. Wydaje się więc, że stopień zwietrzenia nie jest jednoznacznie wskazówką sugerującą wiek ziemski meteorytu”. Bardzo ciekawe zdanie, rdzewienie nie powinno być metodą datowania spadku. Datowania nie, ale ogólnej diagnozy chyba jednak tak. Dowodem na to są stosowane powszechnie przepisy i normy ochrony przed korozją metalowych konstrukcji podziemnych, głównie rurociągów, których terminy eksploatacji nie oblicza się na tysiące lat, a tylko na dziesiątki. Najstarsze użytkowane konstrukcje stalowe mają około 150 lat i jest z nimi problem. Zwolennicy teorii 5000 lat nie mają z tym żadnych problemów.

Kłopotów w zakresie wietrzenia (rdzewienia) dostarczył meteoryt znaleziony przez ekipę „Meteorite Men”. W METEORYCIE o numerze 4 z 2011 r. Andrzej S. Pilski sprawozdaje, jak odbijał ze zwietrzliny znaleziony okaz, a po przecięciu opisał okaz tak: „Zwietrzelina bardzo nierównomiernie wchodzi w głąb meteorytu. Miejscami widać wciąż wyraźną granicę między meteoritem a scementowanym ilem. Wietrzenie nie przekroczyło tam skorupy obtopieniowej. W innych miejscach wietrzenie weszło głęboko, zwłaszcza w części z cohenitem, gdzie metal został przekształcony w ciemne wodorotlenki [...]”. Meteoryt znaleziono w łańcach poznańskich ściśle izolujących okaz. Warstwy te charakteryzują się długookresowymi rocznymi zmianami wilgotności w warunkach stabilnej temperatury. Bardzo wolno namiekają



i bardzo wolno oddają wodę. Mimo odseparowania od środowiska okaz podlegał degradacji chemicznej intensywniej niż przypuszczano. Przyczyną było prawdopodobnie uwilgotnienie gruntu, które umożliwiało tworzenie się wolno krążących roztworów wodnych ze znacznym stężeniem jonów agresywnych uwalnianych z ilów. W okresach suchych wytrącały krysztaly wytwarzały ciśnienie na ściany szczelin, poszerzając je. Umożliwiało to wnikanie roztworu w kolejny

cyklu wilgotnym. Czas takiej degradacji metalu jest bardzo szybki. Nie może być liczony w tysiącach cykli zawilgacania i przesuszania gruntów ilastych skorelowanych z rocznymi warunkami pogodowymi.

Rok 2012 przyniósł nam za sprawą Magdaleny Skirzewskiej i Łukasza Smuły dorodny ćwierćtonowy okaz — MeMorSSa. Znalezione został w warstwach innych od tych, w których ekipa Meteorite Men wykopała powyżej opisany, 34-kilogramowy, skorodowany okaz. METEORYT nr 4/2012 otwiera artykuł „Rekordowy okaz Moraska” autorstwa znalazców i Andrzejów Pilskiego i Muszyńskiego. Można w nim wyczytać: „Meteorit leżał w warstwie piasku z przewarstwieniami drobnego żwiru, ...”. W tych warunkach charakter korozji rekordzisty zdradzał zupełnie inne oblicze. Był osłonięty zlepek żelazistym znacznej grubości, ale po jego odkuciu, objawił zdrowy meteorit. Można powiedzieć oryginał. I znowu dylemat, krótko, czy długo zalegał w ziemi.

W METEORYCIE o numerze 3 z 2013 r. Andrzej S. Pilski opublikował tekst „Meteorit Morasko po 99 latach”. Można w nim znaleźć takie sformułowanie: „Wykopywane z ziemi okazy meteorytu Morasko są mocno zardzewiałe. Okazuje się jednak, że stopień zardzewienia jest bardzo różny, zależnie od gruntu, w którym tkwił meteorit. Niektóre okazy są bardzo mocno skorodowane, tak że niemal rozsypują się w rękach. Inne mają tak dobrze zachowane pozostałości skorupy wytworzonej podczas spadania przez atmosferę.” Zmienność stanu korozji znajdowanych okazów przemawia jednak za krótkotrwałym w skali geologicznej przebywaniem meteorytów w środowisku ziemskim. Wydłużanie tego czasu przesunąłoby meteority w kierunku totalnej ich degradacji.

W podsumowaniu przeglądu informacji o korozji Moraska warto wspomnieć o ciekawym znalezisku Andrzeja Owczarzaka. W METEORYCIE o numerze 1 z 2014 r. znajduje się jego relacja z poszukiwań meteorytów pod tytułem „Wydłużanie elipsy rozrzutu Moraska”. Po pierwsze stwierdza, że znalezione okazy były dosyć płytko, najgłębszy na 40 cm. Potwierdza to pierwszy cytat z Krzysztofa Sochy

o powierzchniowym występowaniu meteorytów, co z kolei daje przesłankę o silnym oddziaływaniu zmian środowiskowych na znajduwane mniejsze okazy (deszcz, nawozy naturalne i sztuczne, przesuszanie, przemieszczanie w czasie orki i inne). Prawdziwą niespodzianką jest odnalezienie niezależnie trzech fragmentów pasujących do siebie. Znalazł je płytko tuż pod gruntem ornym. **Czy po 5000 lat daleko się dopasować do siebie meteority mieszczące się w dłoni?** Przedstawiony model rdzewienia mówi, że nie.

W materiałach pokonferencyjnych i rocznikach Polskiego Towarzystwa Meteoritowego można znaleźć dalsze prace dotyczące wietrzenia meteorytów Morasko. Zawarta w nich metodyka odpowiada bardziej zagadnieniom geochemicznym, więc nie będziemy ich tu omawiać. Warto jednak zwrócić uwagę, że okres wietrzenia szacowany jest na magiczny okres 5 tysięcy lat i jest podawany bez komentarza, choć wnioski dotyczące chemii wcale na to nie muszą wskazywać. Na uwagę zasługuje jednak jeden artykuł pod tytułem „Skorupa wietrzeniowa i obtopieniowa meteorytów w warunkach klimatu umiarkowanego na przykładzie Zakłodzia i Moraska-Przelazów”¹ zamieszczony w Materiałach II SEMINARIUM METEORYTOWEGO², które odbyło się w Olsztynie w 2003 r. Autorzy zauważają, że omawiane meteority „są przykładem okazów, które przebywały w glebie dłuższy czas i pokryły się dosyć grubą żelazistą skorupą. Powstaje pytanie, co dzieje się z tymi meteoritami, jakie procesy i jak szybko w nich zachodzą?” Oprócz wyводу chemicznego znajdziemy w nim bardzo realną ocenę skłonności meteorytów Morasko do rdzewienia. W artykule można znaleźć następujące stwierdzenie: „Meteority żelazne ulegają procesom podobnym do korozji przedmiotów żelaznych powoli przechodząc w wodorotlenki żelaza. Skorupa wietrzeniowa wraz z skorupą obtopieniową stanowią doskonały ekran chroniący przed rozwojem dalszej korozji. Procesy wietrzeniowe rozprzestrzeniają się w obrębie mete-

¹ Autorzy: Łukasz Karwowski, Stanisław Jachymek, Anna Ludwig, Agnieszka Gurdziel

² ISBN 83-915687-1-7

orytów zgodnie z ułożeniem spękań i mikrospekkań.” W dalszej części pracy stwierdzono, że „poddano także badaniom produkty wietrzenia meteorytu Morasko, który przebywał w warunkach pokojowych ok. 7 lat ulegając praktycznie całkowitemu zwiertzeniu, dawał się pokruszyć w rękach itd.” Spostrzeżenia i wynik badawczy nie rozstrzyga co do trwałości meteorytów w gruncie, ale eksponuje wybrane procesy chemiczne ‘konserwujące’ okazy, które w nim się znalazły. Artykuł jest nielicznym opracowaniem dotyczącym meteorytów moraskich, w którym tak jednoznacznie autorzy stwierdzają, że skorupa obtopienia i skorupa wietrzeniowa może jednak chronić meteoryt zalegający gruncie („pod powierzchnią ziemi”) przed korozją. Mimo tych ciekawych wniosków, zadajmy kolejne pytanie, którego nie przedyskutowali autorzy przywołanego materiału: czy ta

ochrona może dotyczyć tysięcy lat, czy raczej dotyczy setek lat.

Zdanie końcowe

Podsumowując należy stwierdzić, że meteoryty Morasko są podatne na korozję, jednak lokalnie znajdowane mogą być w dość dobrym stanie. Przedstawiony model rdzewienia kuli całkiem nieźle może pasować do okazów pochodzących z obszarów leżących poza glinami zwałowymi i ilami poznańskimi moreny moraskiej. Niech Czytelnicy już sami osądzą, czy materia kosmiczna w Morasku leżała setki czy tysiące lat. Archeolodzy szukający w Wielkopolsce artefaktów żelaznych z początków państwa Piastów znajdują je niezmiernie rzadko, a ich stan pozostawia wiele do życzenia. Są to na ogół elementy uzbrojenia. Ich dzisiejszy wygląd nie wskazuje na to, aby były śmiertcioną bronią. Meteoryty ciągle wyglądają groźnie.

Od redaktora: W przedstawionym modelu rdzewienia jest założenie, że zwiertzała warstwa znika. Tymczasem moje obserwacje wskazują, że skordowana warstwa pozostaje na miejscu i nawet może utrudniać dalsze rdzewienie. Zauważają to także autorzy artykułu z *Materiałów II Seminarium Meteorytowego* cytowanego na końcu. W badanych przeze mnie okazach główna część rdzawej warstwy, to było naskorupienie z otaczającego gruntu scementowanego wodorotlenkami. Jeśli chodzi o zmiany w samym meteorycie, to w znanych mi okazach rdzewienie nie zmieniało kształtu meteorytu dopóki nie został on wydobyty na powierzchnię i wystawiony na działanie atmosfery. Wtedy dopiero zardzewiały fragmenty odpadały. Ten sam problem znają archeolodzy: chcąc uniknąć destrukcji znalezionych artefaktów żelaznych muszą trzymać je w specjalnych warunkach.

Żelazo i nikiel: kosmochemia metali

Alan Rubin

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 20, No.3. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2014

Niemal co tydzień ktoś przysłał do UCLA kawałek metalicznego żelaza mając nadzieję, że okaże się on nowym meteoritem żelaznym. Mogę wypolerować i wytrawić próbkę, by zobaczyć, czy pojawią się figury Widmanstättena, ale niektóre meteoryty żelazne (heksaedryty i ataksyty) tych figur nie mają, a nie chciałbym wyrzucić nietypowej próbki, która mogłaby mieć dużą wartość dla nauki. Najlepszym sposobem sprawdzenia, czy bryłka metalu jest rzeczywiście meteoritem, jest test na nikiel. Wszystkie meteoryty żelazne zawierają nikiel; większość stali wytworzonych przez człowieka niklu nie zawiera. Wyjaśnienie, dlaczego, jest interesującą lekcją kosmochemii.

Gdy rozpoczynała się historia Układu Słonecznego, z gazu mgławicy, który stygł, kondensowały małe, stałe ziarenka. Połowa niklu skondensowała, zanim temperatura spadła do

1354 K. Zanim gaz ostygł o kolejne 17 stopni, skondensowała połowa żelaza. [Temperatury kondensacji zależą od ciśnienia i liczby tu podawane są dla całkowitego ciśnienia gazu 10^{-4} bara, to jest jednej dziesięciotysięcznej ciśnienia atmosferycznego na powierzchni Ziemi.] Skondensowane ziarna żelaza i niklu w mgławicy utworzyły stop metalu, w którym żelazo było dominujące. Zanim gaz ostygł do 674 K, skondensowała połowa siarki. Połączyła się ona z metalicznym żelazem tworząc troilit (FeS).

W epoce formowania się chondry zlepekki metalu i siarczku stopiły się, podobnie jak krzemiany, co wytworzyło chondry i nieprzezroczyste globule. Połączyły się one później z wysokotemperaturowymi inkluzjami i drobnozrnną, pyłową materią (matriks) tworząc chondryty.

Niektóre chondrytowe planetoidy zostały następnie stopione. W takich

ciałach metal z siarczkiem i krzemiany utworzyły dwa nie mieszające się stopy, które oddzieliły się od siebie podobnie jak woda i olej roślinny. Lżejsza ciecz krzemianowa uniosła się ku powierzchni; mająca większą gęstość ciecz metalowo-siarczkowa opadła ku grawitacyjnemu centrum ciała. Jeśli topnienie przebiegało powoli, czego należało oczekiwać przy wewnętrznym źródle ciepła (takim jak rozpad glinu-26), to pierwszy metalowy stop, jaki się uformował, był bardzo bogaty w siarkę. Ta ciecz spłynęłaby ku centrum pozostawiając późniejsze stopy metalu coraz bardziej zubożone w siarkę. Jeśli natomiast zderzenia powodowały topnienie w miejscu uderzenia na planetoidzie, to lokalne stopienie całej skały byłoby niemal natychmiastowe. Cała ciecz metalowo-siarczkowa (z kosmicznymi stosunkami Fe/Ni/S wynoszącymi 17/1/5) wsiąkałaby w kierunku

centrum ciała. Jeśli zderzenia byłyby dominującym źródłem ciepła, to potrzebne byłyby liczne, energetyczne zderzenia, by spowodować rozległe topnienie na planetoidzie.

Gdy planetoida stopiła się i zaczęła stygnąć, metal w jądrze zaczął krystalizować. Podczas krystalizacji nikiel miał tendencję do pozostawiania w cieczy; pierwszy zestalony metal był zubożony w nikiel, a ostatnie krystalizujące części były w nikiel wzbogacone. Iryd zachowuje się odwrotnie: podczas krystalizacji dołącza się do fazy stałej. Tak więc pierwszy krystalizujący metal byłby wzbogacony w iryd, a ostatnie, krystalizujące fragmenty byłyby zubożone. Ten proces nazywamy krystalizacją frakcyjną. W taki sposób formowały się wszystkie meteoryty żelazne pochodzące z jąder planetoid (tak zwane „magmowe meteoryty żelazne”). Metalowa ciecz musiała być dobrze wymieszana. Można to było osiągnąć, jeśli w jądrze były prądy konwekcyjne, albo jeśli krystalizacja metalu zaczęła się na granicy jądra i płaszcza; magma musiała być mieszana, gdy krystaliczne masy tonęły i opadały przez ciecz ku środkowi jądra.

Duże grupy magmowych meteorytów żelaznych mają członków krystalizujących na różnych głębokościach, od niemal centrum jądra do prawie jego granicy. Ten zakres głębokości najlepiej zilustrować na przykładzie meteorytów żelaznych IIAB, w których stosunki Ir/Ni różnią się o czynnik 4000. Próbkę z niskim stosunkiem formowały się blisko powierzchni jądra, tuż poniżej krzemianowego płaszcza; te z wysokim stosunkiem formowały się na znacznie większych głębokościach, blisko centrum planetoidy.

Większość meteorytów żelaznych, to oktaedryty; zawierają one 6–14% Ni. Meteoryty żelazne o najmniejszej zawartości niklu to heksaedryty; składają się one głównie z dużych kryształów kamacytu i zawierają zaledwie 5% Ni. Meteoryty żelazne zawierające najwięcej niklu to ataksyty. Zawartość niklu w nich może przekroczyć 50%; niektóre małe okazy zawierają aż do 60% Ni.

Na Ziemi rodzime, metaliczne żelazo jest niezwykle rzadkością. Większość żelaza znajduje się w jądrze, które stanowi 29% masy planety. Nikiel stanowi około 4% jądra.

Jądro zawiera także około 10% lżejszego pierwiastka, najprawdopodobniej siarki lub tlenu. Ciekłe, zewnętrzne jądro Ziemi jest sferyczną otoczką o grubości około 2266 km; wewnętrzne jądro jest zestaloną kulą metalicznego żelaza z niklem o średnicy 2440 km.

Przy powierzchni Ziemi żelazo występuje w połączeniu: z krzemem, tlenem i innymi pierwiastkami, w minerałach krzemianowych, z siarką (i w niektórych przypadkach z niklem czy miedzią) w siarczках, i, najczęściej, z tlenem w tlenkach takich jak magnetyt (Fe_3O_4) i hematyt (Fe_2O_3). Te dwa minerały są głównymi rudami żelaza, czyli skałami, z których wytwarzana jest stal. Ponieważ magnetyt i hematyt zawierają niewiele niklu (generalnie mniej niż 1%), to zwykła stal z nich wytwarzana zawiera naturalnie niewiele niklu.

Nasuwa się pytanie, dlaczego jest tak mało niklu w rudach żelaza. Odpowiedź brzmi, że żelazo łączy się z tlenem o wiele łatwiej niż nikiel. Zewnętrzne powłoki elektronowe w żelazie są $3d^6 4s^2$. Powłoka d może zawierać do 10 elektronów, ale w powłoce s mieszczą się tylko dwa. Ponieważ najbardziej stabilne orbitale elektronowe to powłoki wypełnione całkowicie i powłoki wypełnione w połowie, to powszechnie występują dwie reakcje, w których uczestniczy żelazo: (1) W Fe (II) atom żelaza traci swoje dwa elektrony 4s i łączy się z tlenem wiązaniem jonowym tworząc FeO (tak jak w mineralu wüstycie); (2) W Fe (III) atom żelaza traci dwa elektrony 4s oraz jeden z elektronów 3d, pozostawiając powłokę 3d wypełnioną w połowie i stabilną; wynikiem jest Fe_2O_3 .

Nikiel jest nieco inny. Jego wewnętrzne powłoki elektronowe to $4s^2 3d^8$. Nikiel może utracić swe dwa elektrony 4s by utworzyć NiO (minerał bunsenit), ale ta reakcja jest mniej korzystna niż analogiczna reakcja $\text{Fe} \rightarrow \text{FeO}$. Nikiel ma więcej protonów w jądrze, niż żelazo (28 wobec 26) i dlatego wywiera silniejsze „przyciąganie” na elektrony zewnętrznej powłoki niż żelazo. Odzwierciedleniem tego jest chemiczna właściwość zwana elektroujemnością (którą można zdefiniować jako skłonność atomu do przyciągania elektronów do jądra). W powszechnie używanej skali

Paulinga wartość elektroujemności niklu jest 1,91; dla żelaza ta wartość wynosi 1,83.

Z powodu niższej reaktywności niklu większość możliwego do pozyskania niklu na powierzchni Ziemi nie występuje w prostych tlenkach takich jak NiO, ale w silnie utlenionych, uwodnionych fazach (jak niklonośny limonit $(\text{Fe,Ni})\text{O}(\text{OH})$ i garnieryt $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) oraz w siarczках (np. pentlandyt $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$).

Zwykła stal zawiera około 99% Fe w postaci stopu z węglem, ale te materiały są podatne na rdzewienie i korodują, gdy są wystawione na działanie powietrza i wody. Stale stopowe są stabilniejsze. Poza węglem zawierają one inne pierwiastki. Najbardziej powszechnym dodatkiem jest mangan, który w wysokich temperaturach wiąże się z siarką i minimalizuje wytwarzanie niechcianego, ciekłego siarczku żelaza na granicach ziaren metalu. Stal nierdzewna zawiera znaczną ilość chromu (przynajmniej 10,5%). Chrom tworzy cienką warstwę tlenku chromu, która blokuje wnikanie tlenu do stali, co zapobiega korozji. Chociaż nikiel jest czasem dodawany do nierdzewnej stali, by poprawić jej wytrzymałość na rozciąganie, to wysoka zawartość chromu w nierdzewnej stali zdradza jej sztuczne pochodzenie. Meteoryty żelazne zawierają mało chromu; meteoryty typu IIAB zwykle zawierają mniej niż 0,01% Cr.

Tak więc gdy następnym razem podniecony poszukiwacz meteorytów przyjdzie z pseudometeorytami złożonymi z magnetytu, hematytu czy żużla, nie ograniczajcie się do rozwiania jego nadziei. Podarujcie mu opowieść o kosmochemii metali. Może (a może nie) podziękuję za to.

Dziękuję prof. dr hab. inż. Wiesławowi Wojnowskiemu za merytoryczną korektę artykułu.



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



Serdeczne pożegnanie

Tekst ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 20, No.3. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2014

Po dwudziestu latach ukazywania się kwartalnik „Meteorite” z końcem tego roku przestaje istnieć.

Hazel i Derek Sears przejęli ten kwartalnik w roku 2005 od jego twórcy i redaktora Joela Schiffa.

Gdy niespodziewanie zachorował on poważnie, Christine Schiff wysłała do prenumeratorów list zawiadamiający o zakończeniu wydawania kwartalnika. Od tego czasu Hazel i Derek tworzyli i publikowali ten kwartalnik z krótką przerwą w roku 2008. Początkowo redaktorami byli Larry i Nancy Lebofsky, ale w 2010 Derek przejął redagowanie z Robertem Beaufordem jako współredaktorem.

Dwadzieścia lat, to niemały okres czasu i mamy poczucie, że przez te dwadzieścia lat kwartalnik pełnił służbę, która była i wyjątkowa i doceniana. Byliśmy świadkami wielu efektownych zdarzeń, jak otwieranie się nowych źródeł meteorytów, szereg widowiskowych, obserwowanych spadków czy pierwsze spojrzenia z bliska na macierzyste obiekty, z których pochodzi większość naszych meteorytów, czyli na planetoidy. Obserwowaliśmy, jak meteoryty z Marsa i z Księżyca rozrastają się od małej garstki do okazałych kolekcji. Jednocześnie informowaliśmy o stanie dużych kolekcji i o codziennych problemach poszukiwaczy i kolekcjonerów meteorytów.

Nie chcąc jednak oderwać się od rzeczywistości trzeba iść z duchem czasu. Drukowane publikacje z każdym rokiem mają coraz większe trudności. Joel Schiff powiedział nam, że liczba prenumeratorów „Meteorite” osiągnęła maksimum w roku 2001 i od tego czasu nieustannie spadała. Winił za to zdarzenia z września 2001 r., ale sądzimy, że to niszczycielska siła Internetu była tym, co zaczęło wówczas podgryzać znaczenie drukowanych publikacji i czego apetyt wciąż rośnie. Trudno wyobrazić sobie, jak jakkolwiek kwartalnik, czy nawet tygodnik, może konkurować z dogłębną, rozległą, natychmiastowością i kosztem publikacji online, nawet jeśli weźmiemy pod uwagę szczególnie przyjemność obcowania z egzemplarzem otrzymanym prosto z drukarni i niską jakością wielu materiałów oferowanych online.

Rozważaliśmy różne opcje dla kwartalnika „Meteorite” i biorąc pod uwagę, że mamy inne pasjonujące projekty, które wymagają naszego czasu, doszliśmy do wniosku, że nadeszła pora, by kwartalnik zamknąć. Zwracaliśmy się do kilkunastu grup, które miałyby możliwość wydawania kwartalnika, i wszystkie odmówiły; także zdawały sobie sprawę, jakie mamy czasy.

Było to przedsięwzięcie warte wysiłku. Podobnie jak wiele innych, niszowych publikacji, kwartalnik „Meteorite” ma bardzo silną, podstawową grupę czytelników i osób wspierających, których wierność jest niezachwiana. Mamy od nich wieści, gdy piszą komentarze odnawiając prenumeratę, lub gdy dzwonią z wiadomością o zmianie adresu czy problemach z doręczaniem. Zaledwie kilka dni temu otrzymaliśmy miły list dołączony do nowego zamówienia, informujący jak bardzo nadawca jest rozczarowany innymi źródłami informacji i jak polecono mu ten kwartalnik. Podobnie wierni są autorzy stałych cykli artykułów, którzy chętnie przysyłają regularnie materiały tolerując nasze ciągle prośby o zmianę formatu i zawsze dostarczając wysokiej jakości materiał. Ich cykliczne artykuły są lubiane przez wielu czytelników. Współpracujący redaktorzy są dość niedawnym dodatkiem do naszej redakcji. Pewnego razu, gdy poprosiliśmy o sugestie, o jakie artykuły się postarać, to rankiem mieliśmy pięć czy sześć dobrze przedyskutowanych i przemyślanych sugestii, a do końca dnia numer był zapełniony. Przez ostatnie kilka lat uzyskiwaliśmy przychody z reklam i w pewnym momencie rozważaliśmy rezygnację z prenumeraty i oparcie się wyłącznie o przychody z reklam. Reklamodawcy wnoszą jednak do kwartalnika nie tylko przychody, ale i wyrazy poparcia, o czym świadczy ich obecność w kwartalniku.

Nie ułatwia to podjęcia decyzji o zamknięciu kwartalnika, ale czas jest właściwy. Pora iść dalej i złożyć szczerze podziękowania wszystkim uczestniczącym w tym przedsięwzięciu. Przed końcem roku zwrócimy wpłaty garstce prenumeratorów, którzy opłacili już prenumeratę na rok 2015. Ostatni numer pojawi się w listopadzie i będzie przypomnieniem tego, co się działo w ciągu 20 lat istnienia kwartalnika. Zamykamy kwartalnik z poczuciem spełnienia, dumy z tego, co zrobiliśmy i wdzięczności za wszystkie przyjaźnie nawiązane w trakcie pracy.

Derek Sears
Redaktor naczelny
Robert Beauford
Redaktor
Hazel Sears
Dyrektor handlowy



Derek Sears



Robert Beauford



Carl Agee



Steve Arnold



Marc Fries



Alan Rubin



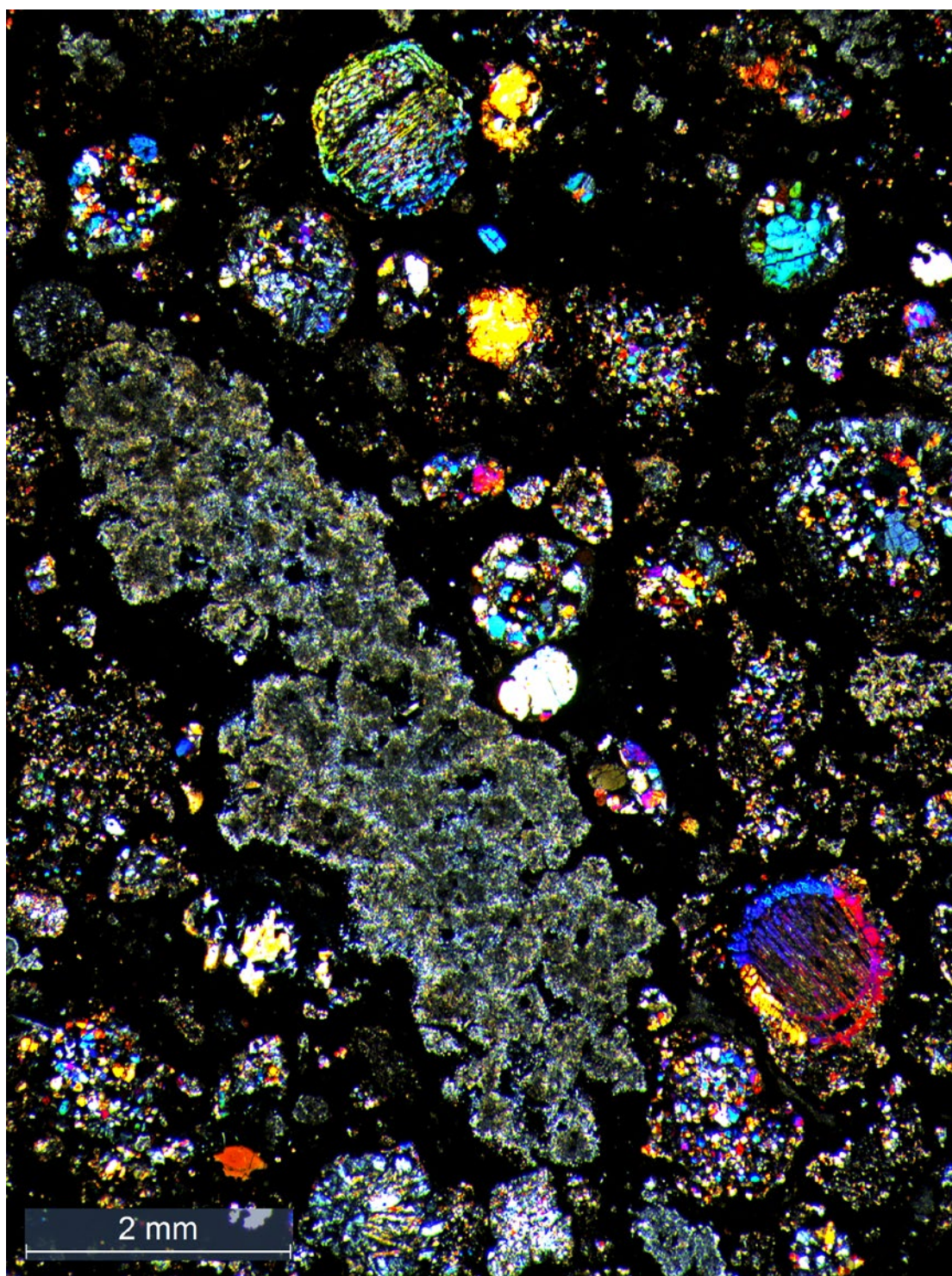
Hazel Sears



Najstarsze skały w Układzie Słonecznym

Roger Warin i Dorothy Norton

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 20, No. 3. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2014



Płytkę cienką chondrytu węglistego Allende widzianą przy skrzyżowanych nikolach. Jest ona przezroczysta, ponieważ ma grubość zaledwie 30 mikrometrów. CAI ma kształt chmury wśród różnych chondrów meteorytu Allende. Matriks jest czarna, ponieważ jej ziarna są zbyt drobne, by przepuszczać światło nawet przy takiej grubości.

Nasz Układ Słoneczny narodził się 4,568 miliarda lat temu, gdy olbrzymi obłok gazu i pyłu, czyli mgławica przedsloneczna, zaczął zapadać się, prawdopodobnie pod działaniem fal uderzeniowych wytworzonych przez pobliską supernową. Najnowsze badania potwierdzają, że najstarsze obiekty Układu Słonecznego, istniejące obecnie, są relikami z tego pradawnego czasu. Są to wysokotemperaturowe inkluzje — białe wrostki wapniowo-glinowe (CAI) i ameboidalne zlepki oliwinu — obiekty znane z meteorytu Allende.

Ten pierwotny obłok gazu składał się głównie z wodoru i helu, ale zawierał także pierwiastki chemiczne wytworzone przez kilka masywnych gwiazd pod koniec ich istnienia. Obecne w nim były węgiel, tlen, krzem, magnez i wszystkie pozostałe pierwiastki tablicy Mendelegiewa.

Ogrzane przez rozpad promieniotwórczy i kolaps grawitacyjny gazy łączyły się odpowiednio do ich składu i powinowactwa chemicznego. Kluczowym parametrem



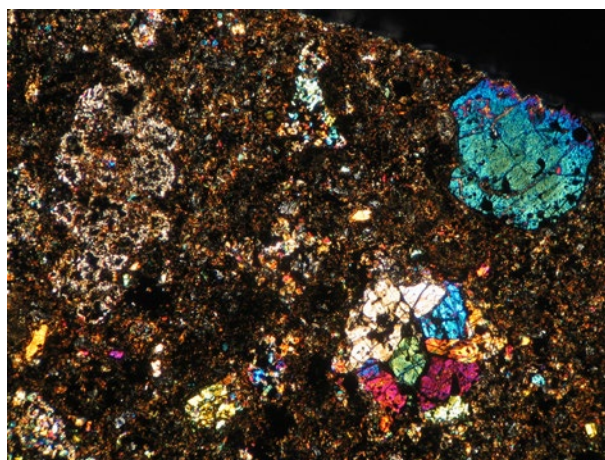
Płytkę Allende CV3. Zawiera liczne chondry, te okrągłe obiekty w szarej matriks. Zdeformowane inkluzje to wysokotemperaturowe CAI.

była temperatura decydująca o przemianach fazowych, które wytworzyły pierwsze chondry, potem chondryty, skały, planetozymale, planetoidy, komety i planety. Gdy masa była dostateczna, procesy dyferencjacji oddzielały żelazne jądra od krzemianowych płaszczy.

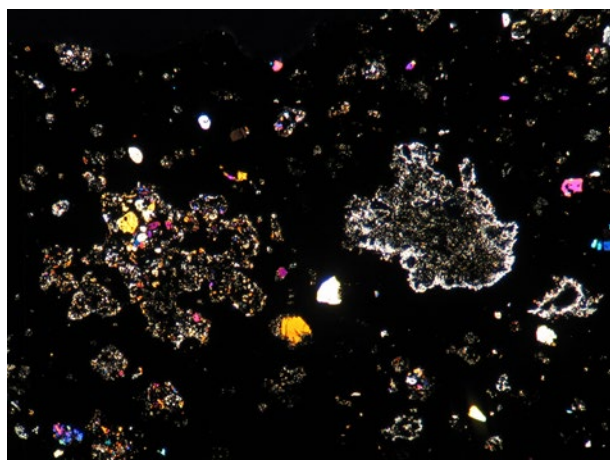
Pierwszymi stałymi fazami, jakie się pojawiły, były zlepki wysokotemperaturowych materiałów, cząsteczek,



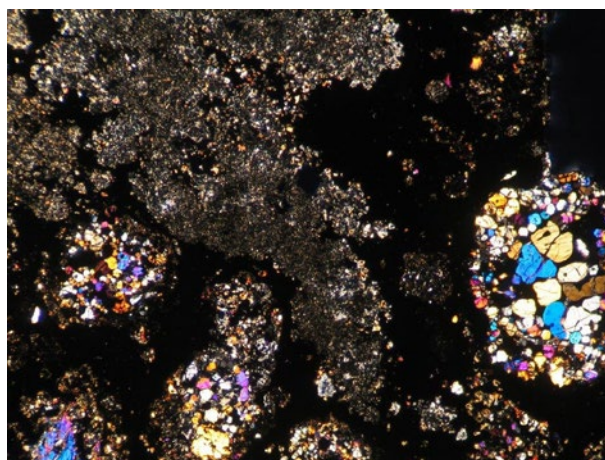
CAI o różnych teksturach. Płytkę cienką Allende CV3 przy skrzyżowanych nikolach.



CAI (z lewej) w meteorycie CK. Płytkę cienką NWA 1694 CK3 przy skrzyżowanych nikolach.



Ameboidalny zlepek oliwinu (z lewej) i dwie CAI (z prawej) w meteorycie CM2. Płytkę cienką przy skrzyżowanych nikolach.



Duża, dość gruboziarnista CAI w Allende CV3. Płytkę cienką przy skrzyżowanych nikolach.

których temperatura topnienia jest bardzo wysoka. Podczas gdy przyszłe chondry wciąż były gazem albo kropelkami krzemianowej mgły, tlenki i wysokotemperaturowe krzemiany zaczęły krystalizować. Najpierw krystalizowały tlenki glinu i wapnia (takie jak korund Al_2O_3 ; perowskit CaTiO_3 ; i spinel $\text{Mg}_2\text{Al}_2\text{O}_4$), razem z wysokotemperaturowymi krzemianami takimi jak melilit. W warunkach panujących w mgławicy tworzyły się szczególnie puszyste fazy, które oglądane przez mikroskop, przypominają wyglądem chmury.

Klasyfikacja typów CAI bierze pod uwagę skład chemiczny i zawartość pierwiastków ziem rzadkich, a także ich wygląd. Petrologiczny aspekt klasyfikacji opiera się na teksturze. W chondrycie CV3, takim jak Allende, CAI mogą stanowić 10% całkowitej masy meteorytu. Wielkość CAI różni się znacznie wahając się od mikronów do kilku centymetrów.

CAI dzielone są na trzy typy: typ A (zwarty lub puszysty); typ B (B1, B2, B3) i typ C. W CAI typu A dominuje melilit (> 75%) wraz ze spinelem (5 to 20%) i niewielką ilością wysokotemperaturowego klinopiroksenu bogatego w Al i Ti (augit). Są one zbyt drobnoziarniste, by badać je pod mikroskopem petrograficznym. Większość ma nieregularne kształty i płatkowe brzegi. CAI typu A kondensowały do postaci stałej z gazu mgławicy. Niektóre są zwarte i niemal kuliste, co sugeruje, że były kiedyś przynajmniej częściowo stopione. Melilit jest roztworem stałym krzemianów, który można przedstawić wzorem $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe}^{2+})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7$. Jest to żółtawy lub brązowy minerał, który niemal nie wykazuje dwójłomności w płytkach cienkich, w świetle przechodzącym przy skrzyżowanych nikolach.

CAI typu B krystalizowały z częściowo stopionych kropelek i są mniej pierwotne niż te typu A. Są one duże (centymetrowej wielkości), gruboziarniste, o znacznie większych kryształach łatwiejszych do badania pod mikroskopem petrograficznym. Niektóre mają wyraźne obwódki. Zawierają one augit, melilit, plagioklaz anortyt i spinele. CAI podtypu B1 mają bogate w melilit płaszcze, augitowe jądra i prawdopodobnie krystalizowały szybko. CAI B2 nie mają

płaszczy i prawdopodobnie formowały się powoli z bardziej złożonego stopu. CAI B3 zawierają kryształy forsterytu i niewiele anortytu. Typy B spotykane są tylko w chondrytach węglistych CV.

CAI typu C są gruboziarniste i dość rzadko spotykane. Są one bogate w anortyt i zawierają mało melilitu. Badacze sądzą, że formowały się one z częściowo stopionych kropelek. Zaskakujące, że mogą znajdować się w nich reliktove fragmenty chondr.

CAI znajdują się we wszystkich typach chondrytów. Część CAI została znaleziona przez sondę NASA STARDUST, która pobrała próbkę z komety Wild 2. Chondryty CM (nazwane tak od meteorytu Mighei i obejmujące słynny Murchison) mają CAI zdominowane przez wysokotemperaturowe tlenki bogate w Al jak korund, hibonit (z pierwiastkami ziem rzadkich) i spinele. Klan chondrytów CR także zawiera podobne CAI. Wszystkie typy CAI mogą mieć cienkie obwódki o zmieniającym się składzie odzwierciedlającym temperatury kondensacji w mgławicy słonecznej lub późniejsze zdarzenia błyskawicznego ogrzewania i czasem ukazują także wyraźną strefowość.

Oprócz CAI typu A, B i C, w chondrytach węglistych występują powszechnie wysokotemperaturowe inkluzje nazywane ameboidalnymi zlepkami oliwinu. Są one drobnoziarniste i mają nieregularne kształty. Składają się głównie z forsterytowego (bogatego w magnez) oliwinu i zmieniających się ilości piroksenu, anortytu i spinelu. Często występują ziarna oliwinu mające automorficzne, potrójne złączenia pod kątem 120° , co jest skutkiem ogrzewania do wysokiej temperatury i częściowego topnienia. Uważa się, że ameboidalne zlepki oliwinu formowały się podczas stygnięcia mgławicy w wyniku kondensacji gazu w ciała stałe.

Kondensacja z gazu (zjawisko odwrotne do sublimacji) pierwszych wysokotemperaturowych minerałów w mgławicy słonecznej rozpoczęła się w temperaturze około 1700K (mniej więcej 1400°C) i zakończyła przy 1300K (około 1000°C). W tych temperaturach zaczęły się już reakcje między mieszaniną gazową a wytrąconymi minerałami. Ciśnienie było około 10 tysięcznych atmosfery. Wyznaczony wiek minerałów mieści się między

4,567 a 4,568 miliarda lat (wyznaczony przez absolutne datowanie metodą Pb-Pb) z czasem kondensacji około 160000 lat.

CAI są ważne dla zrozumienia warunków w kondensującej mgławicy słonecznej. Na przykład w CAI znaleziono ^{26}Mg . ^{26}Mg jest to rzadko spotykany, stabilny izotop, który jest produktem rozpadu ^{26}Al . ^{26}Al ma bardzo krótki czas połowicznego rozpadu — tylko 730000 lat. Fakt, że jest on obecny w CAI, mówi nam, że CAI utworzyły się bardzo wcześnie — zanim ^{26}Al rozpadł się. Nie wszystkie CAI zawierają ^{26}Mg , co sugeruje, że ^{26}Al był nierównomiernie rozmieszczony w mgławicy.

Najbardziej znane są CAI w chondrytach węglistych CV3, takich jak Allende, gdzie są one duże, liczne i łatwo zauważalne w okazach i w płytkach cienkich. Gdy podziwiamy ich złożone kształty i zgaszone barwy, powinniśmy pamiętać, czym one są — małymi wehikułami czasu z najbardziej odległej przeszłości, dostarczającymi cenne informacje o narodzinach naszej gwiazdy i warunkach w mgławicy słonecznej, które doprowadziły do uformowania się planet.



Dr Roger Warin jest emerytowanym chemikiem.



Dorothy Norton jest ilustratorką publikacji naukowych i pisarką.

Wstępna meteorytowa praca w terenie

Część 3: Polowanie na obserwowane spadki i bolidy

Steve Arnold i Robert Beauford

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 20, No. 3. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2014

Wszyscy to widzieliśmy — poranek po bolidzie. Media i internetowe grupy dyskusyjne zalane są opowieściami świadków zdarzenia. Chelyabinsk, Park Forest, Sutter's Mill... i ten następny. Na całym świecie dzwonią telefony, a poszukiwacze meteorytów na gwałt szykują buty, paszporty, sprzęt GPS, kamery i wykrywacze metalu. Samochody wyjeżdżają w trasę. Rozpoczynają się poszukiwania.

Krótkotrwała gorączka meteorytowa, po której następują udane lub nieudane poszukiwania, występuje z częstotliwością od raz na jakieś 6 miesięcy, do raz na parę lat. Gdy poszukiwania kończą się sukcesem, to może to być przeżycie do zapamiętania na całe życie. Gdy się nie udaje, poszukiwania mogą być kosztowne i zniechęcające, ale tak samo mogą pozostawić miłe wspomnienia i przyjaźnie. Większość osób polujących na obserwowane spadki przeważnie doznaje niepowodzeń, ale te rzadkie sukcesy... mogą być spektakularne!

„Polowanie na bolidy” to ryzykowny sport. Ponieważ zajmuje skrajną pozycję w ocenie szans na znalezienie meteorytów, to nie jest to zajęcie dla każdego. Zminimalizowanie ryzyka niepowodzenia wymaga przygotowań, wiedzy i szczęścia. Nie ma kociołka ze złotem na końcu każdej łyżeczki i nie każdy ślad plazmy mknącej z grzmiotem po niebie wskazuje na stertę meteorytów.

Czego nie warto szukać

Zanim pomówimy o tym, na co warto zwracać uwagę w bolidzie, by opłacało się wyruszać na poszukiwania, porozmawiajmy o zjawiskach, które od razu się dyskwalifikują.

Deszcze meteorów i krótkotrwałe „spadające gwiazdy” nie dają meteorytów. Te zjawiska, które zwykle trwają krócej niż sekundę, wywoływane są zwykle przez obiekty małe i pędzące

z dużą prędkością. Niszczone są one szybko nie pozostawiając niczego poza pyłem i gazem w górnych warstwach atmosfery. Bolidy trwające dłużej niż sześć sekund, to zwykle kosmiczne skały albo resztki rakiety czy satelity powracające do atmosfery. Bolidy, które kończą się ogromnym rozbłyskiem, po którym momentalnie znikają, to zwykle bardzo duże ciała, które rozpadają się na miliony małych kawałeczków, które szybko topią się i rozpylają.

Opowieści o meteorytach powodujących pożary, tworzących kratery, czy nawet spadających na ziemię żarząc się jeszcze, także na ogół nie zachęcają do poszukiwań. Raz na jakieś 10—30 lat uderza w Ziemię dostatecznie duży

kawałek planetoidy, by wybić krater. Dobrymi przykładami są Carancas i Sikhote-Alin. Zaledwie raz na stulecie czy nawet rzadziej meteoryt wpada w dolne warstwy atmosfery z dostatecznie dużą prędkością, by wciąż żarzyć się uderzając w ziemię. Nikt nie chciałby być w pobliżu, gdy to się zdarza. Takie zjawisko nie pozostanie niezauważone. Z wyjątkiem tych rzadkich zdarzeń bolidy nie uderzają w ziemię „płonąc” i nie wybijają dołów w ziemi. Ludzie mogą przysięgać, że to widzieli, ale rzeczywistość jest taka, że większość meteorytów spada przez ostatnie 8 do 10 km ich drogi w ciemności i nie szybciej niż kamień zrzucony z samolotu. Gdy uderzą one w ziemię, są częściej zimne niż ciepłe.



Poszukiwanie meteorytów nie wymaga skomplikowanego sprzętu. Wykrywacze metalu i kije z magnesem pomagają wyćwiczyć oczom, ale ich nie zastąpią. Większość poszukiwaczy meteorytów nosi silny magnes i małe narzędzie do kopania. Magnes jest czasem przymocowany do końca kija, by podnosić kamienie nie zatrzymując się, lub może być przymocowany do małego narzędzia do kopania takiego jak szufelka, motyczka czy śrubokręt. Najważniejszym sprzętem tu przedstawionym jest notatnik. Przyczyną większości niepowodzeń poszukiwaczy jest brak informacji lub podstawowego wyposażenia jak woda czy coś do ochrony przed słońcem.

Świecący bolid, który według świadka spadł za jego stodołą, mógł pozostawić meteoryt, ale najprawdopodobniej spadł on setki kilometrów od świadka, poza horyzontem. Trudno ocenić odległość małego, bardzo jasnego światła. Rzeczywiste spadki meteorytów nie przypominają hollywoodzkich opowieści o ognistych kamieniach bombardujących Ziemię jak podczas kosmicznego szturmu z powietrza.

Tak więc lekcja numer jeden dla łowców bolidów: nie szukaj kraterów ani plam wypalanej trawy! Możesz się śmiać, ale tysiące całkiem inteligentnych osób spędziły wiele godzin w terenie szukając śladów spadków według hollywoodzkiego wzorca.

Czego szukać?

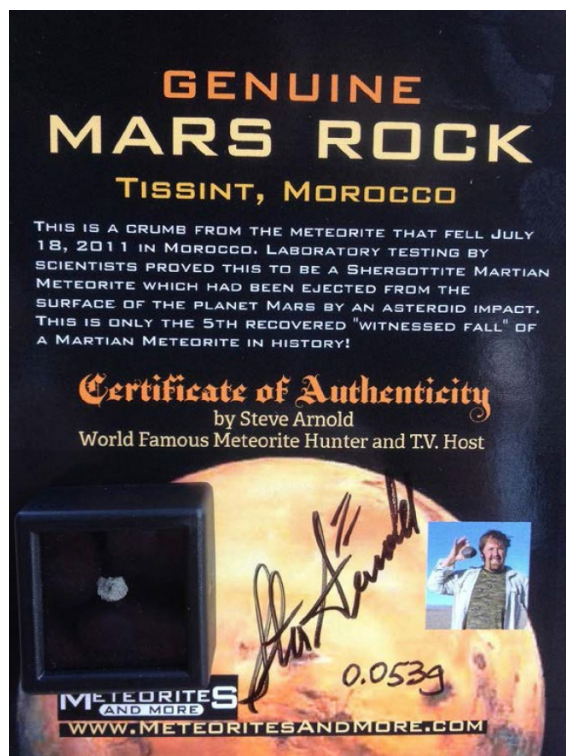
No dobrze. Wiemy więc, czego nie chcemy szukać... Teraz, jakie doniesienia powinny skłonić ciebie do chwycenia bagażu, wyruszenia w teren i polowania na bolid z nadzieją na znalezienie cennych kamieni?

Każdego roku dziesiątki jeśli nie setki bolidów dostarczają meteoryty spadające na ziemię. 99% z nich pozostaje niezalezionych. Te, które udaje się znaleźć, mają jedną z dwóch cech: albo wyraźna relacja o kamieniach uderzających w ziemię dzięki szczęśliwej, przypadkowej obserwacji, albo liczne relacje bystrych obserwatorów (a jeszcze lepiej z kamer), którzy uchwycili i zarejestrowali trajektorię bolidu.

Gdy znaleziono kamienie leżące na ziemi, zadanie nie jest tak skomplikowane; jedź tam i szukaj. Bądź uprzejmy. Zachowuj się profesjonalnie. Gdy żadnych kamieni nie znaleziono, zadanie jest nieco trudniejsze...

Naoczni i nauszni świadkowie

Relacja z obserwacji bolidu nie jest mapą prowadzącą do meteorytu; jest jednak kluczem, który może pomóc zorientować się, gdzie należy szukać. Niestety relacje świadków są także często bardzo mylące. „Jechałem na północ lub północny zachód autostradą 40 i około 7:15 widziałem jak ten jasny bolid leciał stamtąd i poleciał tam i myślę, że wylądował na polu po wschodniej stronie drogi.” To jest dość typowe. Jedna taka informacja nic nie daje. Ale jeśli dostaniesz z dziesięć takich, albo ze sto rozrzuconych na powierzchni tysiąca kilometrów kwadratowych, to możesz zacząć lepiej orientować się, gdzie obiekt mógł wejść w atmosferę



Tissint, 18 lipca 2011r. — piąty obserwowany spadek meteorytu z Marsa zainicjował rozległe i wyjątkowo intensywne poszukiwania w pustynnym regionie na SSW od Tissint w Maroku. W efekcie zebrano kilka kilogramów tych ważnych dla nauki kamyków.

i gdzie „spalił się”. „Spalił się” oznacza tu wyhamowanie do momentu rozpoczęcia ciemnego lotu — ostatnich 10 do 50 kilometrów typowej podróży meteorytu, gdy został on wyhamowany do takiej prędkości, przy której już nie spręża powietrza przed sobą tak, by świeciło. Większość meteoroidów, nawet dużych bolidów, nie osiąga tego momentu. Spalają się one wcześniej. Jeśli meteoroid przeżyje ciepły i fizyczny szok hamowania tak długo, by wejść w fazę ciemnego lotu, to co z niego zostanie, zwykle dużo mniej niż 10% początkowej masy, prawdopodobnie dotrze do ziemi. Rzeczywiste polowanie zaczyna się, gdy meteoroid wejdzie w fazę ciemnego lotu. Jeśli możesz określić, gdzie to nastąpiło, to zwykle jesteś około godziny jazdy od miejsca, gdzie meteoryt spadł na ziemię. Jeśli wiesz, w jakim kierunku wtedy leciał, jak wysoko i w którą stronę wiał wiatr, to możesz znaleźć kamień... jeśli będziesz mieć dużo szczęścia.

Relacje nausznych świadków — każdy fizyczny obiekt poruszający się szybciej niż dźwięk, może wytworzyć grom dźwiękowy. Meteory często widać z odległości setek mil. Relacje przychodzą nieraz z wielu krajów czy stanów, ale grom dźwiękowy słychać tylko w odległości 50 do 100 kilome-



Meteoryt Ash Creek, znaleziony koło West w Teksasie, był pierwszym przypadkiem, gdy meteoryty po spadku odnaleziono przy pomocy danych z radarów dopplerowskich, dzięki staraniom Marca Friesa i Jeffreya Friesa.

trów od miejsca spadku meteorytu. Jest dobra praktyczna reguła — jeśli nie ma doniesień nauszných świadków, to nie warto niczego szukać, chyba że ktoś znalazł już meteoryt na ziemi. Jeśli jednak dochodzą relacje o wielu eksplozjach czy przeciągłym grzmocie, to jest to bardzo dobry znak!

Wideo

Jeśli zdobyłeś kilka relacji naucecznych i nauszných świadków, to dobrym następnym posunięciem jest poszukanie nagrania kamery wideo. Teraz w USA i w Europie jest coraz więcej kamer obejmujących całe niebo i w końcu pokryją one większą część nieba nad kontynentami, tak że każdy bolid w atmosferze będzie chwytyany przez wiele kamer. Jeśli przynajmniej dwie takie kamery uchwycą nadlatujący bolid, to matematyczne sztuczki pozwolą obliczyć i trajektorię i gdzie meteoryt się spalił. Niewiele gorsze od kamer obejmujących całe niebo są kamery dozorujące. Mogą być

bardzo pomocne, szczególnie gdy bolid był blisko. Dają dobre zdjęcia do relacji w gazetach, ale mogą także powiedzieć wiele o trajektorii. Kamera nie musi być nawet skierowana na bolid. Kamery skierowane w dół mogą ujawnić kierunek lotu bolidu na podstawie kierunku poruszania się cieni. Poruszające się cienie rzucane przez słupy i słupki są szczególnie dobrymi źródłami danych do obliczeń. Kamera wideo może uchwycić, gdzie i kiedy pojawia się cień, w jakim kierunku się porusza, jak długo trwa i gdzie się zatrzymuje. Gdy znamy położenie kamery i źródła cienia, to uzyskany obraz wideo moż-



Obszar rozrzutu Buzzard Coulee koło miasta Marsden, w Saskatchewan, w Kanadzie, dostarczył ponad 1000 fragmentów meteorytu w wyniku poszukiwań podjętych po ogromnym bolidzie widocznym nad trzema kanadyjskimi prowincjami 21 listopada 2008 r.

na wykorzystać do obliczenia drogi bolidu. Przy dwóch czy trzech takich obrazach można wyznaczyć dokładny wektor.

Uzyskanie nagrania z kamery dozorującej zwykle nie jest łatwe. Jeśli masz szczęście, to ktoś może z własnej inicjatywy przejrzeć nagrania i poinformować gazetę czy telewizję, że chce wziąć nagranie i opublikować. Częściej jednak trzeba iść i prosić. Banki, kasyna i inne firmy, które traktują kwestie bezpieczeństwa bardzo poważnie, zwykle nie mają ochoty przekazać nagrania video każdemu, kto po prostu wchodzi i prosi o to. Gdyby ktoś to zrobił, mógłby stracić pracę. Łatwiej zwykle dogadać się ze stacjami benzynowymi, magazynami i małymi firmami z kilkoma pracownikami i właścicielem na miejscu. Dość rozsądnym podejściem jest po prostu jeżdżenie po okolicy i szukanie kamer dozorujących skierowanych we właściwą stronę.

Radar dopplerowski i wędrowka po terenie

Od roku 2009, począwszy od meteorytu Ash Creek znalezione go koło West w Teksasie, radar dopplerowski odgrywa znaczącą rolę w poszukiwaniu i odnajdywaniu meteorytów. Radar dopplerowski kręci się w koło chwytając powtarzające się pasy informacji z różnych wysokości. Gdy jego sygnały są obrabiane w regionie, który został zawężony przy pomocy innych metod badawczych, to jest możliwe uchwycenie sygnału od samych kamieni podczas ich ciemnego lotu. W idealnych okolicznościach uzyskane dane mogą nawet dać pewien ogólny pogląd na to,



Fale uderzeniowe po światowej sławy bolidzie Chelyabinsk powybiły okna lub w inny sposób uszkodziły tysiące budynków w Czelabińsku, w Rosji, 15 lutego 2013 r. Eksplozja meteoroidu w atmosferze rozrzuciła w okolicy tysiące małych meteorytów i przynajmniej jedną bardzo dużą bryłę 654 kg.

jak duże są kamienie, jak rozsiewają się w miarę spadania i w jaki sposób może na nie oddziaływać wiatr zależnie od ich wielkości. Jeśli kamienie zostały uchwycone na kilku różnych wysokościach, to można skonstruować trajektorię prowadzącą do dość dobrze ograniczonego regionu na ziemi. Chociaż i zasięg i możliwości systemu są ograniczone, to jednak stał się on jednym z najlepszych narzędzi w arsenale współczesnego poszukiwacza meteorytów.

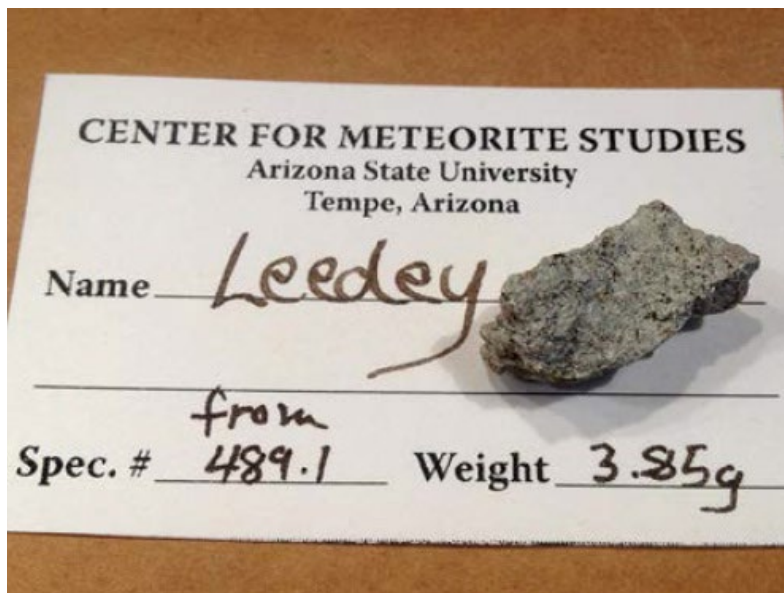
To przychodzi na myśl temat pracy zespołowej. Niewiele osób posiada wszystkie umiejętności niezbędne do optymalnego prowadzenia poszukiwań meteorytów w terenie. Jeśli chodzi o końcowy wynik, czyli moment, gdy rozpoczynasz w terenie szukanie cennych i ważnych dla nauki kamieni, to jesteś tylko tak dobry, jak twój zespół. Niełatwo można znaleźć osoby, które potrafią obliczyć trajektorię na podstawie nagrania video czy danych dopplerowskich, mają doświadczenie w prowadzeniu wywiadów i zbieraniu danych, czy w uzyskiwaniu zezwoleń na dostęp do miejsc, które trzeba przeszukać, i są wyćwiczone w posługiwaniu się wykrywaczem metalu i poszukiwaniach wizualnych. Jeśli myślisz poważnie o polowaniu na bolidy, po których jeszcze nie znaleziono meteorytów na ziemi, to nie ma nic lepszego niż czynienie powolnych i ciągłych starań, by stać się aktywnym uczestnikiem większego zespołu poszukiwaczy. Innymi słowy jest to praca zespołowa i ten zespół jest globalny.

W rzeczywistości nawet jeśli zbieranie danych idzie dobrze, poszukiwania mogą się nie udać. Wiedza, że kilka ciemno zabarwionych kamieni wielkości piłki golfowej leży gdzieś w obrębie 50 kilometrów kwadratowych, nie gwarantuje, że będziemy w stanie je odnaleźć. Jeśli jednak zawęzić obszar poszukiwań wystarczająco dobrze, to wspólne poszukiwania czasem doprowadzają do odkrycia światowej klasy obszaru rozrzutu. Po zebraniu relacji świadków naocznych i nausalnych, dobrej triangulacji z nagrań video i informacji z radaru dopplerowskiego szanse powodzenia mogą być całkiem realne.

Polecana lektura

Fries, M. and Fries, J. (2010) Partly Cloudy with a Chance of Chondrites — Studying Meteorite Falls Using Doppler Weather Radar. 41st Lunar and Planetary Science Conference, Abstract #1179.

Nininger, H. H. (1973) Find a Falling Star (New York: Paul S. Eriksson).



Meteoryt Leedey spadł 25 listopada 1943 r. w Oklahomie. W rezultacie szybkich, wspólnych poszukiwań Oscara Monniga i Harveya Niningera odnaleziono znaczną liczbę meteorytów włącznie z jednym dużym okazem ponad 20 kg.



Przebieg meteorytu Park Forest przez ziemską atmosferę było widoczne z przynajmniej 4 stanów w nocy 26 marca 2003 r. Kilka budynków w Park Forest, w stanie Illinois, zostało trafionych przez spadające fragmenty. Poszukiwania doprowadziły do odnalezienia co najmniej 18 kg meteorytów.



Steve Arnold jest poszukiwaczem meteorytów i dealerem mieszkającym w Eureka Springs, w Arkansas. Jest najbardziej znany jako współgospodarz telewizyjnego serialu „Meteorite Men”. Jest także redaktorem pomocniczym kwartalnika „Meteorite”.



Robert Beauford jest jubilerem mającym sklep w Eureka Springs, w Arkansas, i badaczem w Arkansas Center for Space and Planetary Science, University of Arkansas. Jest także współredaktorem kwartalnika „Meteorite”.





Doniesienia z Wiki

Trzy ogniste krzyże — spadek o którym śpiewano pieśń (i nakręcono film?)

Jan Woreczko

Spadek trzech okazów meteorytu żelaznego 11 czerwca 1619 roku we wsi *Odranec* niedaleko *Nového Města na Moravě* w Czechach. Jest to drugi najstarszy meteoryt w tym kraju. Zachowało się o nim dużo informacji, pomimo faktu, że okazy zaginęły. Starszy jest spadek meteorytu Loket (Elbogen) z 1400 roku.

Dostępne źródła historyczne opisujące spadek zebrał i opracował Stanislav Sochor w swym artykule z 1929 roku (Sochor 1929). Ale podstawowym źródłem informacji są pochodzące z XVII wieku zapisy Šebestiána Želechovského z Želechova (Želechovský 1619).

Opis spadku

Meteoryt Odranec (Odrance) spadł, według zapisów historycznych, we wsi Odranec na Morawach (v *Moravě na vsi Vodrancí*) we wtorek przed świętym Witem (*V outhery před svatým Vitem*), 1619 roku o godzinie dwudziestej w czasie nieszpórów (*Léta páně 1619 ve 20 hodin na celý orloj; o nešporní chvíli*). Przekładając to na współczesny język — miało to miejsce 11 czerwca 1619 roku około czwartej po południu (na terenie Czech używano wówczas tzw. włoskich godzin, gdzie pierwsza godzina zaczynała się o zachodzie Słońca, stąd w opisie godzina 20, która odpowiada dzisiejszej godzinie 4 po południu).

Szczegółowy opis spadku znajduje się u Želechovského (1619, *Calendarium perpetuum oeconomicum*). Jego

relacja jest bardzo dokładna, gdyż spadek miał miejsce w godzinach popołudniowych, kiedy większość chłopów jeszcze pracowała w polu. Świadkowie zeznali, że na początku dostrzegli zbliżającą się chmurę w kształcie stołu lub młyńskiego koła (*náký mračno jako by stůl, aneb mlejnské kolo*). Niektórzy z nich twierdzili, że widzieli na niej coś na kształt herbu, na którym widać było jakieś litery (*a v prostředku erb veliký, v něm litery taky*), ale nie potrafili ich odczytać (to wszystko na ilustracji Želechovského; patrz obok). Następnie chmura zniknęła, a na jej miejscu pokazała się ognista kula, której towarzyszył straszny huk, wywołując przerażenie ludzi. Słyszano trzy wielkie grzmoty, jak z armat, więc ludzie pomyśleli, że rozpoczęła się wojna. Grzmotom towarzyszył ryk i pisk. Wtedy nagle chmura poczerwieniała i według świadków rozdzieliła się na trzy obiekty, które wyglądały jak krzyże i pomknęły w kierunku wsi Odranec. Ludzie i zwierzęta byli strasznie przerażeni. Želechovský w swoim poemacie („śpiewanej historii”) opisuje, jak konie i krowy padały na kolana wpatrzona w niebo. Interesujące jest to, że całemu zjawisku towarzyszył opad pyłu, który ludzie zbierali i próbowali oraz twierdzili, że ma smak ognia (węgla, popiołu?!). Kiedy grzmoty ucichły, jeszcze przez chwilę słysząc było dziwne dźwięki, jakby odgłosy dzwonów, larum na bębnach (*bubnování na poplach*).



Raport o spadku meteorytu żelaznego w pobliżu wsi Odranec (Odrance) niedaleko Nowego Miasta na Morawach, w czerwcu 1619 roku, opisany w *Calendarium perpetuum oeconomicum* przez mieszczanina Šebestiána Želechovského z Želechova (źródło: Muzeum Narodowe w Pradze).

Mieszkańcy wsi Odranec widzieli trzy obiekty spadające na ich wieś. Dwóch świadków (pasterze *Pavel Vorák* (być może *Vařák*) i *Václav Pekárka*) widziało, gdzie spadły kamienie. Największy znaleziony zaraz po spadku, był ponoć jeszcze bardzo gorący, poparzył ręce (*rukama ho dobývající, tak se spálili*) oraz promieniował ciepłem na okolice! Aby go wydobyć musiano podważyć go łomem z jamy około metrowej głębokości (w oryginale jest zapis, że było to $\frac{5}{4}$ części łokcia: *na pět čtvrtí lokte dlouhého*). Potem okazało się, że na podwórku (*za humny*, polskie gumno) znaleziono jeszcze jeden fragment we względnie płytkim dole (v *zemi ne tak hluboko jako první vězel*). Większy okaz miał 15 funtów, drugi ponad 2 funty (*patnáct liber váží, váží víc nežli dvě libry*) (odpowiednio 8,4 kg i >1,12 kg). Trzecia część, która według świadków spadła w lesie, nie została nigdy odnaleziona (*ještě najítí nemohou, neb upad do lesů*).

Co następnie działo się z meteorytami? Według Želechovského (Sochor 1929) chłopci przekazali je właścicielowi majątku *Vilému Dubskému*. Były później one wystawione na widok publiczny w Nowym Mieście i podziwiane przez przyjezdnych (*Ty pak kusové za pánem Dubským zůstávají, na Novím Městě, kdez lidé mnozí přicházejí*). **Więcej o dalszych losach meteorytów nic nie wiemy!**

Opis spadku spisał Želechovský również w formie tzw. „śpiewanej historii” (ang. *cantastoria*, cz. *kramářská píseň*). Niewykluczone, że fikcyjny spadek meteorytu w 1611 roku w *Dobrušce* (niedaleko *Nového Města nad Metují*), na którym opiera się fabuła czeskiego filmu *science-fiction* pod tytułem *Kam zmizel kurýr* z 1981 roku, została zainspirowana wydarzeniami w Odranec (niedaleko *Nového Města na Moravě*) z 1619 roku. Czeski film ;-)

Więcej informacji o tym ciekawym spadku na portalu <http://wiki.meteoritica.pl>

Bibliografia

Sochor Stanislav, (1929), *Pověroň, který spadl léta 1619 u Odrance, Horácké besedy*, 1(2), 25.4.1929, s. 2–7.

Želechovský Šebestián Antonín z Želechova, (1619), *Calendarium perpetuum oeconomicum (Nowina prawdiwá / o welikém a hrozném zázraku, kterýž se stal v Dědině Wodranczy / neďaleko Nového Města / na Gruntech Urozeného Pána, Pana Wylima Dubského / z Třebomyslic / na Nowém Městě / Dačicých a Řeckowicých / Léta 1619 ...)*, Adam Graudenc, Litomyšl 1619.



Danebury: brytyjski meteoryt z epoki żelaza

Diane Johnson

Artykuł ukazał się najpierw w METEORITE, Vol. 20, No.3. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2014

Przykłady czczenia meteorytów w dawnych kulturach znamy z wielu miejsc na świecie, ale gdy archeolodzy odnaleźli w 1974 r. mały meteoryt w forcie Danebury, w Hampshire, UK, jego obecność była zagadką. Czy był to kolejny przypadek meteorytu związanego z dawną kulturą, czy też po prostu przyroda skierowała meteoryt w to miejsce w jakimś momencie w prze-

szłości? Należałam do grupy badaczy planet i archeologów, którzy podjęli próbę uzyskania odpowiedzi na to pytanie. Nasze badania obejmowały odnalezienie głównej masy meteorytu, zrozumienie kontekstu archeologicznego korzystając z dokumentacji wykopalisk i odwiedzając miejsce odnalezienia, a także przeprowadzenie szczegółowej, naukowej analizy pozostałej głównej masy, by potwier-

dzić klasyfikację meteorytu, jego stan zachowania i wiek ziemski, tak aby złożyć w całość fragmenty tego dawnego, meteorytowego puzzla.

Prowadzący wykopaliska archeolodzy odnaleźli mały, zwietrzały obiekt o dość dużej gęstości w dole do przechowywania ziarna, w brytyjskim forcie Danebury z epoki żelaza. Podejrzewali, że był to produkt wytapiania. Już pierwsze analizy pokazały, że



Dwa zdjęcia ważące około 30 g głównej masy Danebury, którą otrzymał Open University. Fot. A.Tindle, Open University.

zawiera on ziarna metalu z dużą zawartością niklu, wobec czego Chris Salter z Oxford University uznał, że może to być meteoryt. Po dalszych badaniach przez dr Roberta Hutchisona, wówczas kustosa meteorytów w Natural History Museum w Londynie, został on sklasyfikowany jako chondryt zwyczajny H6. Nie opublikowano żadnych dalszych analiz dotyczących samego meteorytu czy też okoliczności jego znalezienia. W późniejszych latach wiele osób próbowało ustalić, gdzie jest główna masa tego meteorytu, ale okazało się, że meteoryt gdzieś zniknął, co tylko zwiększyło jego zagadkowość. Co robił on w tym historycznym miejscu i jak przetrwał tak długo w wilgotnym, jak można się spodziewać, brytyjskim gruncie? Aby móc przeprowadzić nasze badania, prof. Colin Pillinger z Open University, UK, zaczął od wytropienia obecnego miejsca przechowywania meteorytu. Wreszcie po intensywnych poszukiwaniach okaz został ponownie odnaleziony na Wydziale Materiałów University of Oxford.

Główna masa meteorytu została następnie wypożyczona do badań w Open University, UK, od jej właściciela, Hampshire County Council Arts and Museums Service. Po przybyciu



Zdjęcie powierzchni głównej masy Danebury ukazujące korozję i miejscowy wapień z Hampshire przylepiony do powierzchni. Fot. A.Tindle, Open University.

jej do Open University okazało się, że była już przecinana i brakuje małego klina materii. Widać, że był to okaz wykorzystany do zrobienia próbki, która posłużyła do przeprowadzenia pierwotnej klasyfikacji meteorytu. Tej małej próbki nie udało się odnaleźć, więc podjęto decyzję, by odciąć kolejny fragment głównej masy, aby przygotować płytkę cienką i uzyskać niewielkie ilości materiału do analiz niszczących.

Meteoryt miał ogólnie gładką powierzchnię, ale kształt trochę nieregularny z prawdopodobnymi regmagliptami, i maksymalną średnicę około 4 cm. Był pokryty skorupą wietrzeniową i ogólnie miał rdzawy wygląd. Do jego powierzchni przylgnęły fragmenty wapiennego nalotu i okazało się, że są one lokalne, z materiału wypełniającego dół ze zbożem.

Najbardziej zaskakujące w tym meteorycie było to, że chociaż jego naturalną, zwietrzałą powierzchnię pokrywała dość gruba warstwa tlenków i wodorotlenków, to na powierzchniach przekroju wyraźnie

główna masa meteorytu została następnie wypożyczona do badań w Open University, UK, od jej właściciela, Hampshire County Council Arts and Museums Service. Po przybyciu



Zdjęcie Danebury po przecięciu w Open University. Łatki rdzy utworzyły się na powierzchni po pierwotnym cięciu. Jasny, biały metal widać na powierzchni po cięciu celem wykonania płytki cienkiej. Fot. A.Tindle, Open University.



Wejście do fortu z widocznymi pozostałościami fortyfikacji.



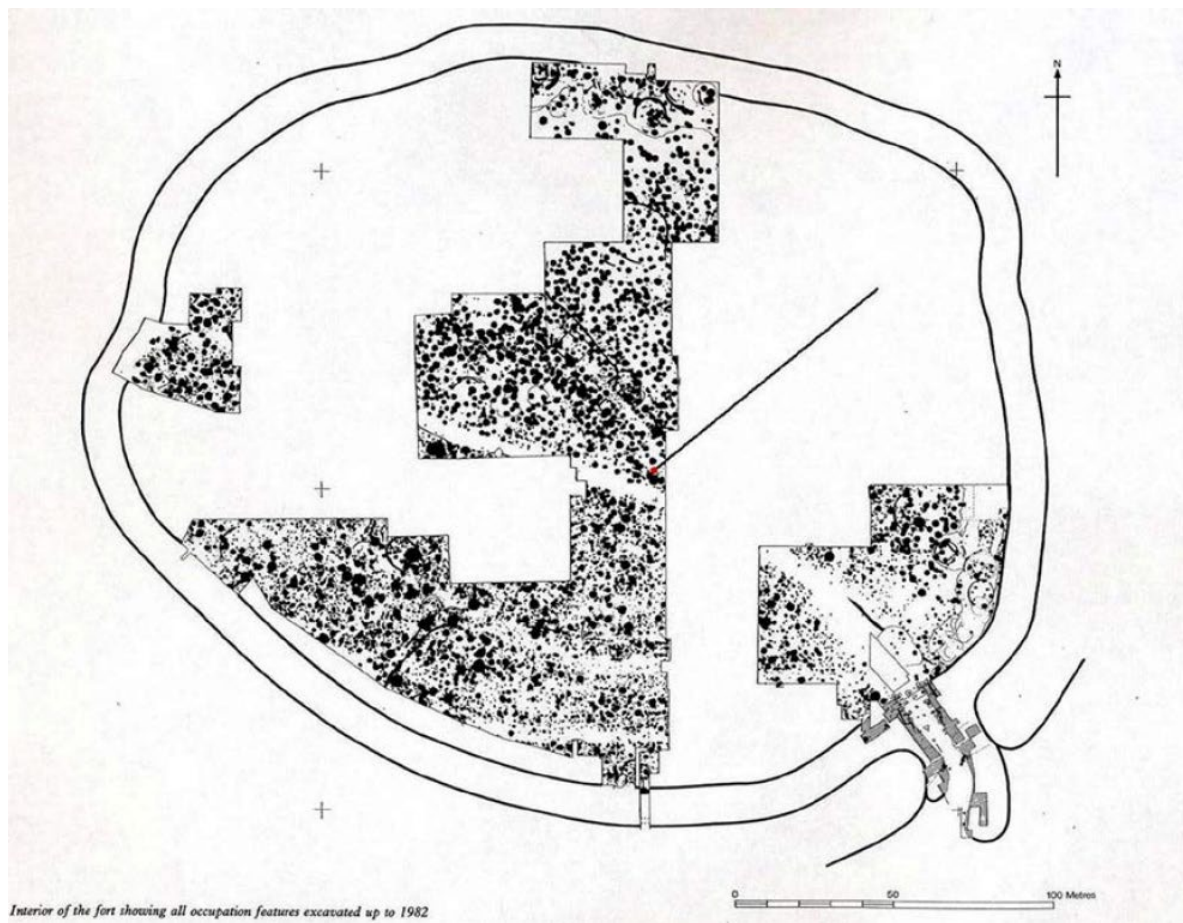
Nasza wizyta celem obejrzenia wnętrza fortu. Meteoryt znaleziono w dole na zboże blisko dużego drzewa widocznego w głębi po lewej. Fot. A.Tindle, Open University.



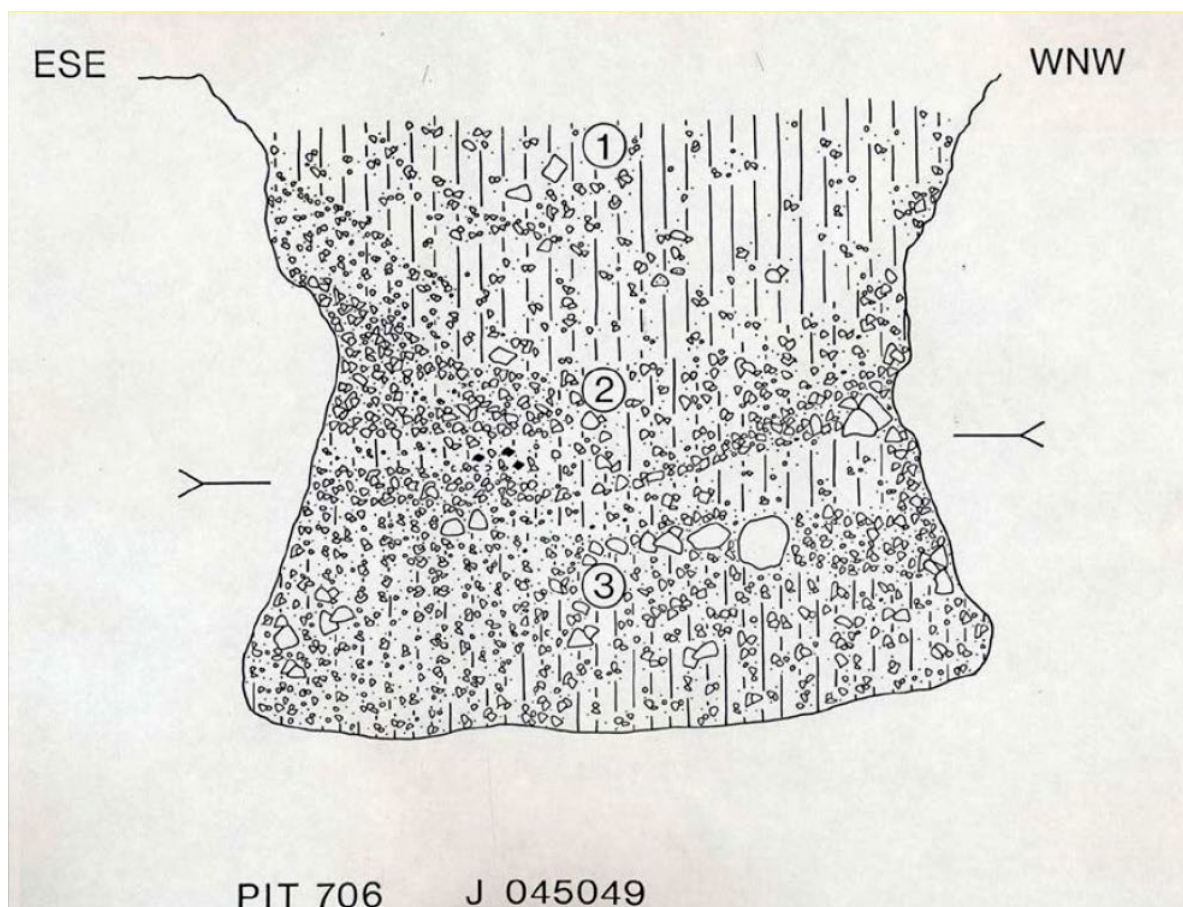
Zdjęcie lotnicze ukazujące wiele dołów podczas wykopalisk. Dół, w którym znaleziono meteoryt, jest oznaczony w prawej dolnej części zdjęcia. Zdjęcie udostępniło Danebury Trust.

było widać świeże ziarna metalu. Było to niespodzianką, że mimo, iż ten meteoryt był zagrzebany w dość wilgotnych warunkach Zjednoczonego Królestwa przez ponad 2000 lat, to wciąż zawierał ziarna świeżego metalu. Tym bardziej było potrzebne dalsze szczegółowe przeanalizowanie okoliczności jego znalezienia. Czy był to nie tak dawny spadek? Wzgórze Danebury obejmuje obszar około 32 akrów, przy czym najwyżej położone 5 akrów jest otoczonych wałami obronnymi. W czasach największego rozwoju miejsce to mogło pomieścić do 400 mieszkańców, z których wielu zajmowało się uprawą ziemi. Grunty otaczające fort były wykorzystywane jako grunty orne, gdzie uprawiano zboże i hodowano zwierzęta, podczas gdy sam fort służył do obrony przed napastnikami, kiedy każdy musiał walczyć z napastnikami używając kamiennych pocisków. Podczas wykopalisk znaleziono na to dowody odnajdując w pobliżu głównego wejścia do fortu 11000 kamieni do procy.

Część uzyskiwanych plonów była wykorzystywana bezpośrednio, jako źródło żywności, ale część była magazynowana w bezpiecznym miejscu do wykorzystania w przyszłości. Zakrojone na szeroką skalę wykopaliska, trwające przez 20 sezonów od roku 1969 do 1988, którymi kierował prof. Sir Barry Cunliffe (który uczestniczył także w tym badaniu meteorytu), odsłoniły tylko 57% fortu, ale odkryto ponad 10000 pozostałości po dołach. Oznaczały one miejsca domów i magazynów. Odkopano także 2300 dołów, które były głównie używane jako długoterminowe magazyny na ziarno; każdy dół był wykorzystywany przez 2 lub 3 lata. Gdy dół do magazynowania nie był już użyteczny, w jego pobliżu kopano nowy dół, a wykopywany materiał był używany do zasypania starego dołu. Czasem do starych dołów wrzucano także odpadki. Okazało się także, że powszechną praktyką było umieszczanie w zużytych dołach obiektów takich jak garnki, tusze zwierząt, a także ludzkie szczątki. Znaczenie takich praktyk wciąż jest dyskutowane, ale na ogół preferuje się tezę, że były to ofiary dla podziemia, by zyskać opiekę i zapewnić udane, przyszłe zbiory. Aby więc zrozumieć okoliczności znalezienia meteorytu Danebury, musieliśmy zrozumieć



Plan wykopaliisk w Danebury dokumentujący wszystkie odnalezione utwory. Meteoryt odnaleziono w dole oznaczonym na środku. Udostępniło Danebury Trust.



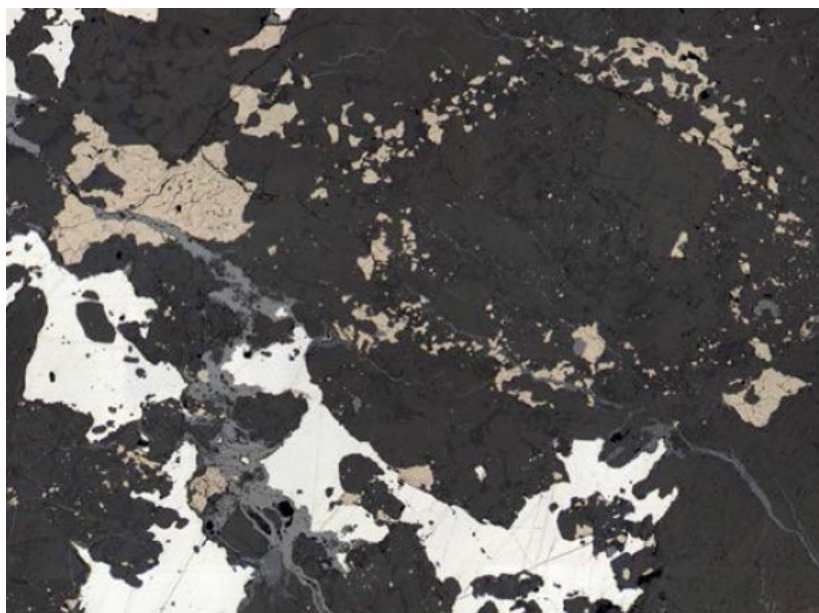
Pionowy przekrój przez dół P706 ukazujący różne warstwy. Meteoryt znajdował się w środkowej warstwie. Udostępniło Danebury Trust.

przeznaczenie dołu, w którym on się znajdował, i ustalić, kiedy meteoryt na to miejsce przybył.

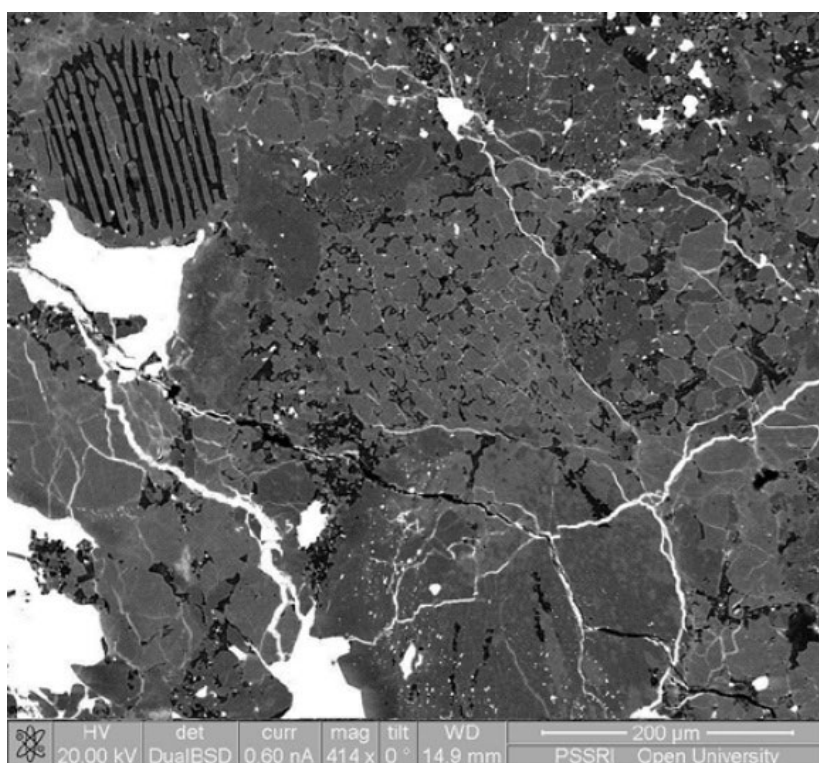
Przeszukując archeologiczne archiwa odnaleźliśmy dalsze szczegóły dotyczące dołu na ziarno, w którym meteoryt został odnaleziony, i jego miejsca w dole. Wykopaliska na terenie w kierunku centrum fortu były prowadzone w roku 1974. Obejmowały one dół oznaczony jako P706. Ten dół miał wymiary otworu $1,2 \times 1,3$ m. i nieco poszerzoną podstawę około 1,5 m. Archeologiczne notatki na temat tego dołu dokumentują trzy etapy wypełniania. Najniższa warstwa, prawdopodobnie utworzona podczas jednego procesu zasypywania i najgrubsza, najprawdopodobniej jest efektem próby wypełnienia dołu, ponieważ nie był już potrzebny. Z czasem to wypełnienie zagęściło się i osiadło powodując wyraźne obniżenie powierzchni względem krawędzi tego dołu. Odsłonięte krawędzie dołu ulegały erozji zapadając się i deformując. Struktura dość cienkiej, drugiej warstwy wypełnienia zaobserwowanej w dole odzwierciedla ten proces. Jest to warstwa erozyjna, prawdopodobnie złożona z materiału krawędzi dołu i jej sąsiedztwa, który w sposób naturalny zsuwał się do dołu znajdującego się blisko głównej ścieżki biegnącej przez fort. Potem dół został znów wypełniony i wypoziomowany. Śladem tego jest trzecia i ostatnia, górna warstwa w dole.

Notatki pokazują, że we wszystkich trzech warstwach znaleziono niewielkie ilości fragmentów kości owiec, wołów i świń. Widać, że jest to materiał tła w tym miejscu. Odnotowano także, iż środkowa warstwa zawiera kawałek tynku i ciężki fragment „żużlu”, który później okazał się być meteoritem Danebury. Sama ta archeologiczna obserwacja dość wyraźnie wskazuje, że mechanizm przybycia meteorytu do dołu po ziarnie był przypadkowej natury i nie wydaje się prawdopodobne, by meteoryt został tam umieszczony umyślnie przez ludzi.

W meteorycie zaobserwowano znaczne ilości świeżego metalu i siarczku, aż do 3 mm długości. Występują dowody niewielkich przeobrażeń w postaci wtórnych produktów wietrzenia, ale przeważająca część tego meteorytu jest stosunkowo



Zdjęcie płytki cienkiej Danebury w świetle odbitym. Fot. R.Greenwood, Open University.



Obraz polerowanej płytki ze skaningowego mikroskopu elektronowego ukazujący wnętrze Danebury z wyraźną, belkową chondrą oliwinową u góry z lewej. Inne chondry o porfirowej budowie nie są tak wyraźnie wyodrębnione. Widoczne jasne miejsca, to przeważnie metal.

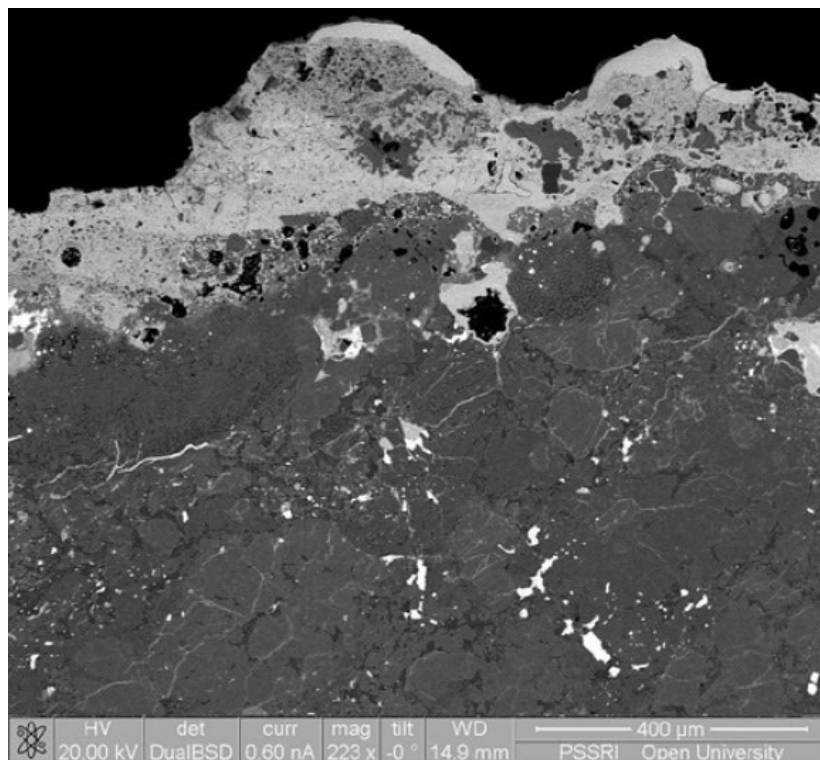
niezmieniona. W niewielkich fragmentach widać dość wyraźnie przeobrażenia w postaci żyłek tlenków i wodorotlenków żelaza o szerokości około 0,1 mm. Chondry o średnicy do 1,5 mm występują dość licznie. Przeważają chondry porfirowe oliwinowe, ale zauważono także chondry belkowe oliwinowe, promieniste piroksenowe i skrytokrystaliczne. Oficjalnie w Meteoritical Bulletin sklasyfikowano Danebury jako H6, ale nasze badania mikroskopowe nowej płytki cienkiej

sugerują, że jest to chondryt H5. Różnicę można wytłumaczyć tym, że do naszych badań wykonano wysokiej jakości płytkę cienką, a pierwotna klasyfikacja widocznie bazowała na obserwacjach z być może gorszej jakości płytki. Nasza analiza izotopów tlenu potwierdziła, że jest to chondryt H o niewielkim stopniu zwietrzenia. Datowanie węglowe, jakie wykonał prof. Tim Jull z University of Arizona, określiło wiek ziemski meteorytu na $336 \text{ pne} \pm 120 \text{ lat}$, co zgadza się z epo-

ką żelaza, gdy fort miał najbardziej rozbudowane fortyfikacje, co wskazuje, że to miejsce było w najlepszym okresie aktywności, gdy meteoryt spadł na Ziemię.

Ilość świeżego metalu w tym meteorycie zaskoczyła nas z uwagi na wiek archeologicznych struktur, w których go znaleziono, i znalezienie go w kraju o generalnie wilgotnym klimacie. Wygląda on podobnie jak H5, który spadł niezbyt dawno temu. Jednak w forcie Danebury znaleziono też dobrze zachowane żelazne artefakty, co sugeruje, że wapienny grunt w tej okolicy jest dobrym materiałem konserwującym, więc być może ułatwił przechowanie także tego małego chondrytu. Spoczywanie przez około 2000 lat w środku dołu na ziarno, razem z wapieniem, rumoszem, iłem i gliną, w połączeniu z dobrym systemem odwadniającym na wzgórzu z niskim poziomem wód gruntowych może tłumaczyć dobry stan meteorytu.

Nie ma żadnych innych, dostępnych dla nas dowodów, pokazujących, w jaki sposób meteoryt znalazł się wewnątrz dołu na ziarno. Kuszące może być domniemywanie, że mieszkańcy fortu z jakiegoś powodu uznali ten kamyk za coś niezwykłego i dlatego szczególnego, co skłoniło ich do umieszczenia go w tym miejscu jako ofiarę. Jednak brak dowodów na poparcie takiego scenariusza i bardzo dobre, szczegółowe zapisy archeologiczne pokazują nam razem, że to prawdopodobnie przyroda dostarczyła meteoryt do dołu po ziarnie. Chociaż nie wygląda na to, by ten meteoryt był jakimś przejawem brytyjskiej kultury epoki żelaza, to jednak pozostaje on godnym uwagi znaleziskiem, starym, brytyjskim meteorytem dobrze zachowanym i udokumentowanym przez szczegółowe badania archeologiczne, więc doprawdy wyjątkowym.



Obraz polerowanej płytki ze skaningowego mikroskopu elektronowego ukazujący na górze zwietrzałą skorupę, w której są tlenki i wodorotlenki żelaza i wapień.

Podziękowanie: Pragniemy podziękować Danebury Trust za udostępnienie zdjęć archeologicznych.

Dalsze informacje:

Fort Danebury jest otwarty dla publiczności: <http://www3.hants.gov.uk/hampshire-countryside/danebury.htm>

Meteoryt Danebury znajduje się obecnie na wystawie w muzeum epoki żelaza w Andover: <http://www3.hants.gov.uk/museum-of-the-ironage.htm>

Warto przeczytać:

The Danebury Iron Age meteorite—An H5 ordinary chondrite “find” from Hampshire, England. C. T. Pillinger, J. M. Pillinger, D. Johnson, R. C. Greenwood, A. G. Tindle, A.

J. T. Jull, D. H. Allen and B. Cunliffe, Meteoritics & Planetary Science, Volume 49, Issue 6, pages 946–957, June 2014.



Diane Johnson po uzyskaniu doktoratu pracuje w Open University, w Milton Keynes, UK. Interesuje się stosowaniem nowoczesnej techniki do wykonywania na miejscu analiz materiałów planetarnych i archeologicznych. Szczególnie interesują ją badania nad kulturowymi i historycznymi aspektami meteorytów.





Zdjęcie budynku Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych z ustawioną przed budynkiem zewnętrzną wystawą astronomiczną „From Earth to Universe” (autor zdjęcia: J. Muszyńska)

Poznań 2014

Konferencja w setną rocznicę odkrycia pierwszego okazu meteorytu Morasko



Studenci z Koła Naukowego Geologów (od lewej Monika Szokaluk, Klaudia Walczak, Patrycja Dworczak i Jakub Zięciak) w punkcie rejestracji dla zaproszonych gości, przed Aulą Krygowskiego WNGiG (autor zdjęcia: P. Ryder)



Wnętrze Auli Krygowskiego podczas odczytu Profesora W. Stankowskiego (autor zdjęcia: P. Ryder)



Wycieczka terenowa do Rezerwatu Przyrody Meteoryt Morasko — studenci objaśniają punkt wycieczki (autor zdjęć: P. Ryder)

