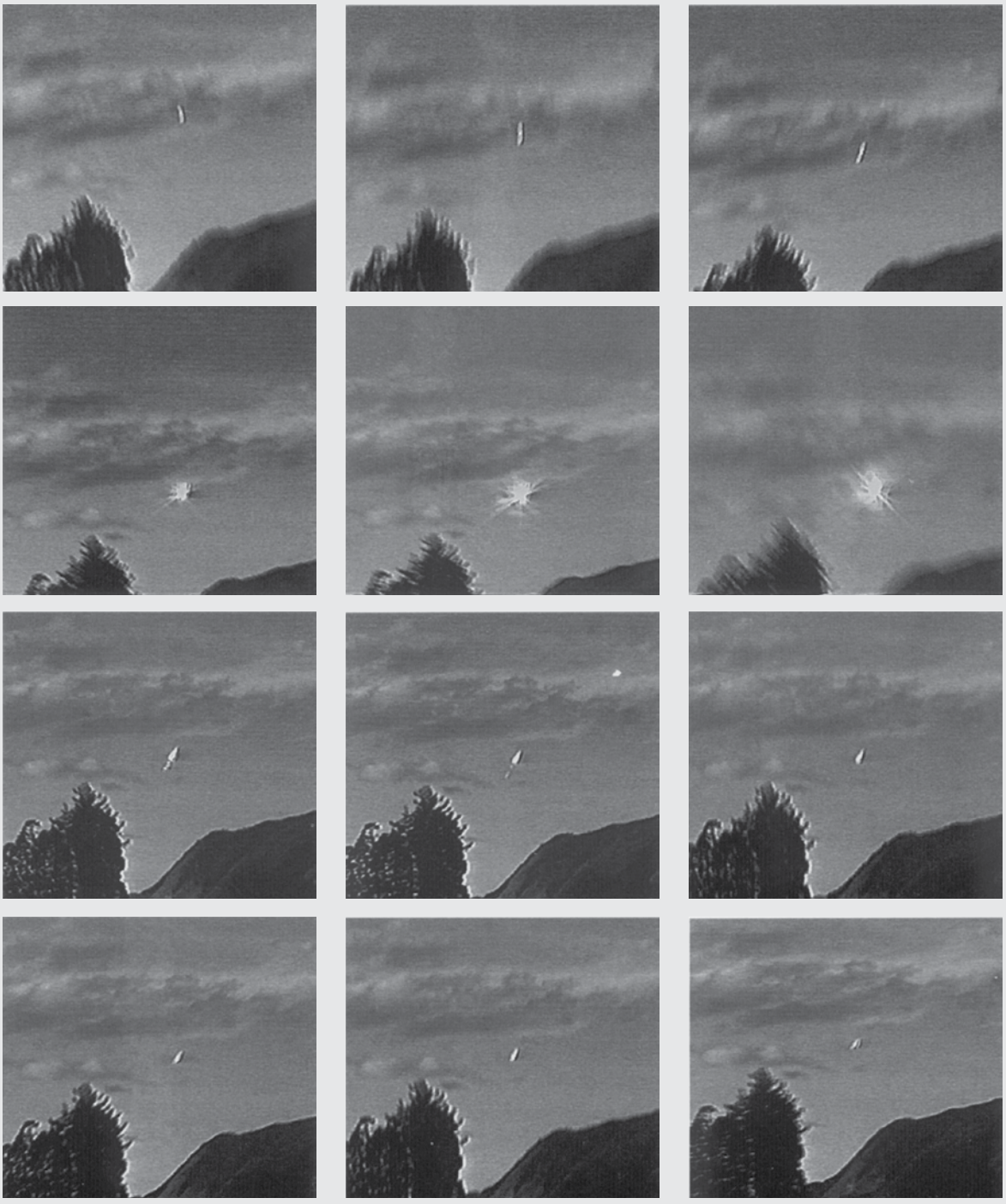
BIULETYN MIŁOŚNIKÓW METEORYTÓW

METEORYT

Nr 4 (32) Grudzień 1999



Nowozelandzki superbolid

Meteoryt – biuletyn dla miłośników meteorytów wydawany przez Olsztyńskie Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne, Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku i Pallasite Press – wydawcę kwartalnika Meteorite!, z którego pochodzi większa część publikowanych materiałów.

Redaguje *Andrzej S. Pilski*

Skład: *Jacek Drążkowski*
Druk: *Jan*, Lidzbark Warm.

Adres redakcji:
skr. poczt. 6,
14-530 Frombork,
tel. 0-55-243-7392.

Biuletyn wydawany jest kwartalnie i dostępny wyłącznie w prenumeracie. Roczna prenumerata wynosi w 2000 roku 16 zł. Zainteresowanych prosimy o wpłacenie tej kwoty na konto Olsztyńskiego Planetarium i Obserwatorium Astronomicznego nr:

15401072-3724-36001-00-01

w BOŚ SA O/Olsztyn,
zaznaczając cel wpłaty.

Wcześniejsze roczniki powielane są na zamówienie za opłatą równą wysokości aktualnej prenumeraty.

Od redaktora:

Co dwa lata The Meteoritical Society publikuje listę adresową swych członków. Z ostatniej, z 1998 roku, można dowiedzieć się, że towarzystwo liczy 1002 członków z 33 krajów, z czego ponad połowa reprezentuje Stany Zjednoczone. Oto szczegóły: USA — 522, Niemcy — 101, Japonia — 86, Francja i Wielka Brytania — po 46, Szwajcaria — 33, Kanada — 27, Australia — 24, Austria — 17, Włochy — 16, Holandia — 11, Dania — 10, Czechy — 9, Rosja — 7, Finlandia i Korea — po 6, Belgia — 5, Indie i Nowa Zelandia — po 4, Chiny — 3, Argentyna, Brazylia, Burkina Faso, Grecja, Hiszpania i Taiwan — po 2, Egipt, Estonia, Irlandia, Luksemburg, Polska, RPA i Szwecja — po 1. Miło być jedynym reprezentantem kraju, ale jeszcze przyjemniejszy jest fakt, że na liście w roku 2000 będzie nas 3. Trójka polskich członków The Meteoritical Society spotkała się na II Pikniku Meteorytowym i postanowiła uwiecznić się na wspólnym zdjęciu (patrz niżej). Zdjęciem tym chciałbym rozpocząć stały cykl fotograficzny pod tytułem „Poznajmy się", prezentujący podobizny polskich miłośników meteorytów.

Z przyjemnością odkryłem, że redaktor „Meteorite!" jest nie tylko miłośnikiem meteorytów, ale także zapalonym miłośnikiem astronomii i obserwatorem nieba, mogącym się poszczycić nie lada sukcesem (patrz: Nowiny). Patrzmy więc i pod nogi, i do góry.

„Meteorite!" zaproponowało nowy kącik pod tytułem „Teraz moja kolej", gdzie każdy może wystawić na publiczną krytykę swą własną, ulubioną teorię. Za „Meteorite!" przyjmuję zasadę, że publikacja musi zmieścić się na jednej stronie i redaktor nie komentuje przedstawionych w niej poglądów, zostawiając to czytelnikom. Jak widać, największym powodzeniem cieszą się tektyty.

Przewidując rychły wzrost cen przesyłek pocztowych, Olsztyńskie Planetarium podwyższa prenumeratę na rok 2000 o tradycyjne 2 zł. Tak więc prenumerata na rok 2000 wynosi 16 zł. Z opłaceniem jej można spokojnie zaczekać do końca lutego.

W imieniu wszystkich zaangażowanych w tworzenie „Meteorytu" chciałbym życzyć Czytelnikom spokojnych i radosnych świąt Bożego Narodzenia. Myślę, że na nadchodzący rok 2000 wszyscy życzą mi (i sobie), by wreszcie ukazał się „Katalog meteorytów w zbiorach polskich". Życzmy sobie, aby w nowym roku, który wielu ignorantów uznało za początek trzeciego tysiąclecia, głupota nie królowała tak powszechnie, a przepowiednie końca świata sprawdzały się równie dobrze, jak w tym roku, byśmy szczęśliwie doczekali roku 2001, który rozpocznie wiek XXI i 10 rok istnienia „Meteorytu". Do siego roku!

Andrzej S. Pilski

Subscribe to *Meteorite!*

Pallasite Press
P.O. Box 33-1218
Takapuna, Auckland
NEW ZEALAND

4 issues per year $US27
(2nd class airmail)
VISA & MasterCard accepted

www.meteor.co.nz

poznajmy się

Polska reprezentacja w The Meteoritical Society. Od lewej Andrzej Kotowiecki, Andrzej S. Pilski, Kazimierz Mazurek.

Nowiny

Nowozelandzki superbolid

Popołudnie 7 lipca 1999 roku okazało się pamiętnym dla obserwatorów nieba w całej Nowej Zelandii. Pogodne niebo nad Wyspą Północną i Południową oznaczało, że ludzie od Northand do Timaru mogli obserwować efektowny przelot i końcowy wybuch jasnego bolidu.

Zaraz po zjawisku Auckland Observatory i Carter Observatory w Wellington zostały zasypane telefonicznymi relacjami świadków. Astronomowie z obu instytucji, aby uzyskać jak najwięcej informacji od świadków, wysyłali do nich zmodyfikowane formularze dotyczące obserwacji bolidów, z opłaconą odpowiedzią. W przypadku szczególnie interesujących relacji następowała rozmowa telefoniczna i, jeśli to było konieczne, wizyta.

Poza obserwacjami świadków bolid został zarejestrowany na wideo przez detektory w kosmosie, a Sieć Sejsmiczna Nowej Zelandii zarejestrowała końcową eksplozję. Ponadto na nagraniach wideo robionych zaraz po zniknięciu bolidu także zarejestrował się huk eksplozji.

O godzinie 04:14:42,031 UT czujniki na pokładzie satelity Departamentu Obrony Stanów Zjednoczonych wykryły eksplozję nad Wyspą Północną Nowej Zelandii. Według odtajnionych dokumentów eksplozja nastąpiła na wysokości 28,8 km na szerokości 39,45 S i długości 174,39 E mniej więcej nad regionem Taranaki. Według opublikowanych danych krzywa jasności eksplozji składała się z trzech rozbłysków o względnym natężeniu 0,5; 0,7 i 8,8.

Fale dźwiękowe z końcowego wybuchu zarejestrowało także dziewięć sejsmografów od Ruapehu do New Plymouth. Na podstawie danych sejsmicznych i znanej prędkości dźwięku w powietrzu dr Terry Webb z Institute of Geological and Nuclear Sciences w Wellington niezależnie obliczył miejsce końcowego wybuchu, który nastąpił na wysokości 37 km, około 25 km na północny wschód od miasteczka Hawera, co zupełnie dobrze zgadzało się z danymi z satelity.

Trudno się dziwić, że chociaż relacje świadków bolidu (według niektórych był on „jasny jak Słońce") przychodziły z całej Nowej Zelandii, to doniesienia z regionu Taranaki były szczególnie dramatyczne. Pewien gentleman z Waitotara informował: *„Przewody elektryczne na ulicy kołysały się, ziemia i budynek drżały, jakby to było trzęsienie ziemi. Piękny pogodny dzień zniknął, a niebo stało się bardzo białe. Powietrze stało się niezwykle gorące i ten żar utrzymywał się przez około 10 minut zanim temperatura wróciła do normalnej."*

Twierdził on, że jego przyjaciółka widziała, jak firanki w jej domku zostały wyssane na zewnątrz przez otwarte okno. Mówił, że oboje byli przerażeni i nie wiedzieli, czy o tym mówić, zanim nie dotarły do nich informacje wyjaśniające to, co przeżyli. Inne relacje z Waitotary wspominają o przerażonych zwierzętach i pionowej, ciśnieniowej fali uderzeniowej.

Mieszkańcy Waverley mówili, że ich domy drżały, a jeden z obserwatorów stwierdził *„Czułem drżenie ziemi pod domem w półkolu na południowym końcu domu."*

Dalej od epicentrum doniesienia o efektach dźwiękowych bolidu sięgały na południe aż do Bulls (175,23E, 40,11S) i na północ aż do Turangi (175,48E, 39,00S); obserwatorzy określali grom dźwiękowy jako podobny do głośnego ognia artyleryjskiego, gwizdu, strzału z gaźnika i huku pioruna. Wiele doniesień mówi, że efekty dźwiękowe trwały dobrze ponad pięćdziesiąt sekund. Dokładność relacji świadków jest potwierdzona przez nagranie dźwięków na wideo przez miejscowego farmera.

W sumie obserwacje wskazują, że bolid z 7 lipca był niezwykłym zjawiskiem; po zakończeniu analiz powinniśmy dowiedzieć się znacznie więcej o jego przodku. Niestety, mimo poszukiwań, nie odnaleziono dotąd żadnego meteorytu; znaczna liczba podejrzanych (przynajmniej w oczach znalazców) okazów, dostarczona do specjalistów, okazała się zwykłymi, ziemskimi skałami.

Ian Griffin & Jennie McCormick
Auckland Observatory

Na okładce: Seria kadrów z nagrania wideo, które zrobił pan Om Prakash, obejmująca 1,5 sekundy zjawiska bolidu.

1999 AN10 nie jest już zagrożeniem

Dwóch niemieckich miłośników astronomii, Arno Gnadig i Andreas Doppler, odnalazło wcześniejsze zdjęcie planetoidy 1999 AN10 z roku 1955. Zdjęcie to, zrobione w ramach pierwszego palomarskiego przeglądu nieba, pochodzi z czasu, gdy planetoida przelatywała blisko Ziemi i była widoczna wysoko na północnym niebie.

Planetoida 1999 AN10 przyciągnęła uwagę na początku tego roku, wkrótce po jej odkryciu, gdy astronomowie obliczyli jej orbitę i odkryli szansę jedną na dziesięć milionów, że zderzy się ona z Ziemią w roku 2039. Późniejsze analizy wskazały na inną możliwość zderzenia, w 2039 roku z szansą 1:500000.

Przewidywania te były jednak oparte tylko na kilku obserwacjach, a więc były bardzo niedokładne. Odkrycie zdjęcia z 1955 roku pozwoliło astronomom na obliczenie orbity ze znacznie większą dokładnością. Okazało się wtedy, że zderzenia w roku 2039 i 2044 są w zasadzie niemożliwe. Brian Marsden i Gareth Williams z Minor Planet Center stwierdzili, że w 2044 roku, w momencie przewidywanego wcześniej zderzenia, 1999 AN10 będzie po przeciwnej stronie Słońca, ponad 320 milionów kilometrów od Ziemi.

Poprawiona orbita pozwoliła także na uściślenie bliskiego przejścia planetoidy obok Ziemi w 2027 roku. Zamiast w odległości 32600 km, planetoida przeleci 390000 km od Ziemi, czyli mniej więcej w odległości Księżyca. Planetoida nie przeleci blisko Ziemi aż do roku 2076, gdy znajdzie się nie bliżej niż 1,2 miliona kilometrów od niej.

Poprawienie orbity podkreśla potrzebę nie tylko intensywnych, bieżących poszukiwań obiektów zbliżających się do Ziemi, ale i przekopywania archiwów w poszukiwaniu zdjęć zawierających te obiekty przed ich odkryciem.

Space Views

Kosmiczny Wędrowiec

Pod koniec czerwca zatrzymałem się w Greensburgu, w Kansas, aby obej-

rzeć 1000-funtowy pallasyt nazywany Kosmicznym Wędrowcem. Meteoryt znalazł w 1949 r. H. O. Stockwell przy pomocy wykrywacza metalu własnej konstrukcji.

Gdy znalazłem się w muzeum i rozmawiałem z kustoszem, przychodziło tu i wychodziło ponad 40 osób i każdy chciał zobaczyć Kosmicznego Wędrowca. Pewna kobieta przerwała nam rozmowę pytając *„Gdzie to jest? Chcę to zobaczyć, ten kamień z kosmosu."* Wydaje się, że tylko zamrożony lub zasuszony kosmita wywołałby większe zainteresowanie.

Kosmiczny Wędrowiec jest jednym z okazów największego spadku pallasytów na świecie. Pojedyncze okazy pallasytów mogą być większe, ale łączna waga meteorytów Brenham, do których Kosmiczny Wędrowiec należy, przekracza wszystkie inne. Na terenie spadku pallasytów Brenham znaleziono co najmniej pięć ton udokumentowanych okazów, ale prawdopodobnie zabrano stamtąd jeszcze kilka ton nie udokumentowanych pallasytów.

Inna większa bryła meteorytu Brenham to ważący 750 funtów okaz w Smithsonian Institution. Stockwell odnalazł kilka innych okazów ważących ponad 400 funtów. Masę pallasytu przed rozpadem w atmosferze ocenia się na 20 do 100 ton.

Charles B. Gilmore
Lawrence, Kansas

Woda, wszędzie woda

Wiadomo, że dwa główne typy zawierających pierwotną materię meteorytów kamiennych: chondryty zwyczajne i chondryty węgliste, zawierają różne ilości wody. Chondryty zwyczajne są w zasadzie suche i wody w nich praktycznie nie ma, podczas gdy chondryty węgliste zawierają znaczne ilości uwodnionych minerałów. W niektórych chondrytach węglistych stwierdzono ponad 10 procent wody. Występująca w meteorytach woda była zawsze związana chemicznie.

Chondryt H5 Monahans (1998), który spadł 22 marca 1998 roku, odnaleziono zaraz po spadku. Analiza tego okazu, przeprowadzona w sterylnych warunkach laboratoryjnych w ciągu 46 godzin od spadku, ujawniła obecność krystalicznego halitu (NaCl) z podrzędną ilością sylwitu (KCl), który zazwyczaj nie występuje w skałach magmowych i metamorficznych. Kryształy soli miały wielkość od 3 do 5 mm, purpurowe zabarwienie wskutek napromieniowania i były pierwotnym składnikiem próbki. W halicie znajdowały się płynne inkluzje. Istnienie zawierającej wodę soli w chondrycie Monahans (1998) było zaskoczeniem. Próbka wodnego roztworu uwięziona w meteorycie umożliwiła po raz pierwszy zbadanie wody cząsteczkowej z początków istnienia Układu Słonecznego.

Datowanie radiometryczne halitu pokazało, że ma on co najmniej 4,5 miliarda lat. Na dalsze badanie składu izotopowego wodoru i tlenu w wodzie trzeba poczekać, ponieważ jest to bardzo trudne. Czułość wymagana do pomiarów stosunków izotopów w płynnych inkluzjach tysiąckrotnie przekracza możliwości najdokładniejszych spektrometrów masowych. Metody mikroekstrakcji wykorzystujące wiercenie laserowe, po którym następuje bardzo dokładne wyznaczenie składu izotopowego wodoru i tlenu, mogą umożliwić pomiar składu gazów pierwotnej mgławicy słonecznej, uwięzionych 4,5 miliarda lat temu.

Everett K. Gibson Jr.
NASA Johnson Space Center

Od redaktora: Kryształy soli w chondrycie Zag na okładce poprzedniego „Meteorytu" także zawierają wodę z początków istnienia Układu Słonecznego.

Szukajcie, a znajdziecie

Matteo Chinellato przeszukiwał 11 kwietnia 1999 r. wykrywaczem metali piasek nad Lido di Venezia, niedaleko miejsca, gdzie mieszka. Na głębokości ok. 10 cm znalazł ważący 48 gramów kamyk (zdjęcie), który wyglądał na zwietrzały meteoryt. Wysłano próbkę do analizy i okazało się, że jest to chondryt L4/5.

Nowa planetoida

Redaktor „Meteorite!", Joel L. Schiff poinformował, że wraz z żoną Christine odkrył ze swego podwórza w Takapunie planetoidę 1999 SO9. Oczywiście, potrzebny był do tego 30-cm teleskop Schmidta-Cassegraine'a, detektor CCD i program komputerowy „Astrometrica". Jak stwierdził: „Ponieważ nie udawało nam się znaleźć żadnego meteorytu na ziemi, spojrzeliśmy w górę i spotkała nas nagroda."

Seeläsgen (Przełazy) = Morasko?

Niestrudzony poszukiwacz Moraska, Krzysztof Socha, znalazł okaz ważący nieco ponad 600 gramów, który po przecięciu i wytrawieniu zaprezentował figury podobne do znajdującego się w Olsztyńskim Planetarium fragmentu meteorytu Seeläsgen (Przełazy). Jest to kolejny punkt dla zwolenników tezy, że deszcz meteorytów w okolicach Poznania mógł rozsypać się na znacznie większym obszarze, podobnie jak Gibeon w Afryce i Campo del Cielo w Ameryce Południowej. Najpoważniejsze argumenty na poparcie tego twierdzenia zawarte są w publikacji Alfreda Krachera, Johna Willisa i Johna T. Wassona w *Geochimica et Cosmochimica Acta* z 1980 roku, którą pomógł odnaleźć dr Tadeusz Przylibski.

Autorzy porównali zawartość 9 pierwiastków w tych dwóch meteorytach, w tym czterech używanych do klasyfikacji chemicznej (Ni, Ga, Ge. Ir) i stwierdzili wysoką zgodność przy dość dużych różnicach w porównaniu z innymi meteorytami typu IA. Szczególnie zwraca uwagę zbliżona zawartość germanu, jednocześnie znacznie wyższa niż w innych tego typu meteorytach (co widać na wykresie w książce *Nieziemskie skarby*). Ocenili, że prawdopodobieństwo, iż przypadkowo wybrany meteoryt żelazny miałby skład podobny do Moraska, jest 0,4 — 0,6%. Na tej podstawie doszli do wniosku, że Seeläsgen jest częścią deszczu Morasko.

Dotychczas oficjalnie nie uznano identyczności tych dwóch znalezisk meteorytów. Prawdopodobnie pomocne byłoby zrobienie analiz chemicznych znajdowanych ostatnio okazów Moraska. Kropkę nad i postawiłoby jednak zapewne znalezienie meteorytu tego samego typu między Poznaniem a Przełazami.

„Ognisty wąż" Tsareva

Opowieść o rosyjskim deszczu kamiennych meteorytów „słyszanym sześć dni wcześniej, zanim spadł" jak niektórzy mówili

Roy A. Gallant

(Artykuł z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

Penetrowanie miejsca spadku deszczu meteorytów Tsarev oznaczało moją szóstą wyprawę do Rosji, aby spisywać historię takich miejsc i informować, jak dziś one wyglądają. Pomysł wyprawy w 1998 roku podsunął Walentin Cwietkow, wieloletni mój przyjaciel i kolega, czołowy badacz miejsc spadku rosyjskich meteorytów. Na podstawie swych badań obszarów rozrzutu obliczył on elementy orbit 14 ciał niebieskich, które zakończyły swe kosmiczne istnienie jako fragmenty deszczu meteorytów. Jego prace na odległych terenach spadku meteorytów Sikhote-Alin i Chinge pomogły mu „rozwinąć skrzydła" i stać się znanym na forum międzynarodowym. Trzecim członkiem naszego małego zespołu była Jekatierina Rossowskaja, przyjaciółka, koleżanka i organizatorka moich poprzednich pięciu ekspedycji na Syberię. Bez niej te wyprawy nie byłyby możliwe. Jako przewodnik, badacz i tłumacz okazała się nieoceniona.

Z Moskwy nasza trójka podróżowała całą noc pociągiem na południowy wschód do Wołgogradu (dawniej Stalingradu) całkowicie zniszczonego przez nazistów podczas II wojny światowej. Z Wołgogradu przejechaliśmy 80 kilometrów do wsi Cariow w okręgu Leninsk. Jest to obszar bezkresnych pól zbrązowiałych od suszy, setek tysięcy hektarów niegdyś rozkwitających sowchozów, stepowa kraina, teraz niemal opustoszała po upadku komunizmu w początkach lat dziewięćdziesiątych. Wydarzenie to było fatalne dla wcześniej dobrze prosperujących wiosek czerpiących środki egzystencji z państwowych gospodarstw. Dziś maszyny, które pozostały, są zepsute, nie ma mechaników, którzy mogliby je naprawić, a nawet gdyby byli, nie ma pieniędzy ani na utrzymanie ani na paliwo.

W najlepszych czasach 110000 hektarów Sowchozu w Cariowie utrzymywało 36000 owiec, 3000 mlecznych krów, drób i duże stada bydła rzeźnego. Uprawa jęczmienia, ryżu, kukurydzy, pszenicy i rzepaku (na olej) pozwalała na pełne zatrudnienie ponad 5000 rolników. Dziś wsie, podobnie jak pola, opustoszały. Pozostali tylko starsi mieszkańcy, których liczba wciąż maleje.

W centrum wsi zatrzymaliśmy się przy pomniku przedstawiającym jej długą historię. Napis głosił:

Przez pewien czas to miejsce było miastem Sarai-Berke, stolicą Złotej Ordy. Żyły tu setki ludzi, a miasto odwiedzało wielu rosyjskich książąt. Potem nadeszli chanowie i okrutne wojny między chanem Tochtamyszem i chanem Timurem. Ten ostatni zdobył i zniszczył miasto Sarai-Berke w 1395 roku.

W zasięgu wzroku nie było żadnego samochodu, traktora, wozu, motocykla, roweru ani psa, tylko kurz wzbijany przez nasz samochód, gdy wlekliśmy się niebrukowanymi ulicami. Małe domki, wszystkie wymagające naprawy i wszystkie pomalowane na niebiesko jak wszystkie domy we wszystkich rosyjskich wsiach, ciągnęły się po obu stronach ulicy. Przed i za każdym domkiem był ogródek warzywny pielęgnowany i uprawiany z pieczołowitością wynikającą z konieczności. Jego plony żywiły właścicieli nie tylko latem, ale i zimą. Tuziny słoików z przetworami wypełniały sień i kąty każdej izby. Tam, gdzie nie było ogródka, były kwiczące i chrząkające świnie i kury drapiące i dziobiące twardą ziemię. Były stadka gęsi i kaczki czyszczące pióra i pływające w rowach z brudną wodą. Za każdym domem był duży stóg siana i obórka z jedną lub dwiema krowami. W większości kuchni była elektryczna wirówka do oddzielania śmietany i maselnica. Przy większości domów jedna lub dwie kozy, przywiązane do żelaznego słupka niedbale wetkniętego w ziemię, skubały resztki zakurzonej trawy.

Rozglądając się po długich, brunatnych ulicach za kimś, kto opiekuje się tymi domami i zwierzętami, zauważyłem tylko dwie grube baby. Jedna wyglądała na starszą — ale często trudno to stwierdzić w przypadku rosyjskich wieśniaków — a druga prawdopodobnie miała dwadzieścia parę lat. Mimo upału miały chustki na głowach, a ich grube palce poruszały się wymownie, gdy rozmawiały cicho, niemal dotykając się czołami.

Cwietkow pokazał na nie i nasz kierowca, Aleksiej, powoli obrócił kierownicę i podjechał do ich ławki. Gdy Cwietkow wysiadł z samochodu, przestały rozmawiać, zerkając na nas bardziej z nieufnością niż z ciekawością. Jednak po kilku słowach Cwietkowa rozpromieniły się i zaczęły gestykulować, rysując w powietrzu trasę. Cwietkow wsiadł z powrotem do samochodu i wyciągnął palec, wskazując jedną z sennych uliczek. Wjechaliśmy w nią, rozchlapując dwie głębokie kałuże, i w końcu zatrzymaliśmy się pod dużym modrzewiem przy drewnianym płocie okalającym zgromadzenie chat, krzaków, jabłoni i porośniętego zielskiem podwórza. Cwietkow zniknął w małym domku z bielonymi ścianami. Wydawało się, że dokładnie wie, dokąd idzie. Wysiedliśmy z samochodu, ale nie wchodziliśmy za furtkę.

Po pięciu minutach uśmiechnięty Cwietkow wyszedł do nas w towarzystwie właścicielki. Jak wielu Rosjan z jej pokolenia zademonstrowała kilka dużych, złotych zębów, które połyskiwały w słońcu. Niektórzy twierdzą, że większa część mineralnego bogactwa Rosji znajduje się w ustach jej socjalistycznych obywateli. Z wyglądu około sześćdziesiątki, przywitała nas niezwykle przyjaźnie.

Była to Lida Nikiforowa, żona pracownika sowchozu Borysa Nikiforowa. To właśnie Borys pierwszy odkrył fragmenty meteorytu Tsarev, a później zaprosił Cwietkowa, aby ten zamieszkał w jego domu podczas ekspedycji na teren spadku w 1982 roku. Skromny zestaw dwóch małych domów Lidy, dwóch szop, jednej przybudówki i obórki dla dwóch krów i pary kóz miał być naszym domem przez następnych kilka dni, gdy przeczesywaliśmy wykrywaczami metali oddalone o kilka kilometrów rozgrzane pola. Byłem pierwszym Amerykaninem, jaki kiedykolwiek odwiedził tę wieś i w ciągu godziny rozniosło się, że „w domu Lidy mieszka Amerykanin!"

Pierwszego dnia poszukiwań, w ciągu około 4 godzin zarejestrowałem jakieś 30 sygnałów, ale żaden nie pochodził od meteorytu. Były tylko kawałki drutu, gwoździe i odłamane części traktorów. Następne dwa dni dały podobne wyniki i odniosłem wrażenie, że traktory, których brakowało w gospodarstwie, Rosjanie rozebrali na kawałki i zasadzili w polu z nadzieją, że wyrosną nowe.

Chociaż znaleźliśmy w końcu spory meteoryt, to był on w najbardziej niespodziewanym miejscu. Pewnego popołudnia, gdy graliśmy w badmintona komarami na podwórzu Lidy, obserwowani przez jej psa Billa nazwanego imieniem Billa Clintona, Cwietkow spytał, czy mógłby przejrzeć sąsiednią szopę, zamkniętą na kłódkę. Lida kiwnęła głową twierdząco i poszła poszukać klucza. Gdy wróciła, kręciła głową przecząco. Szopa była zamknięta od śmierci jej męża w 1992 roku i klucza nigdzie nie można było znaleźć. Cwietkow spytał, czy można by wyłamać zamek. „Da, da, da" odpowiedziała, machnąwszy w kierunku drzwi. Rosyjskie kłódki miewają gigantyczne rozmiary, a ta nie była wyjątkiem. Żadne dostępne narzędzie nie mogło ruszyć ani kłódki, ani skobla. Cwietkow i wnuk Lidy zdołali w końcu wyrwać zawiasy z drzwi i wejść do ciemnej szopy. Po dziesięciu minutach Cwietkow wyszedł, trzymając przed sobą 4,3-kilogramowy kawał meteorytu, który znalazł w starym pudle od akordeonu. Został on przecięty i jedna strona wypolerowana. Lida była zdumiona, a my wszyscy zachwyceni. Zważyliśmy go i sfotografowaliśmy.

Chociaż umieściliśmy ogłoszenie „Meteorites Wanted" na słupie telefonicznym obok sklepiku w środku wsi, to tylko właścicielka sklepu zgłosiła się po nagrodę. Okaz był tej samej wielkości, co znaleziony przez Cwietkowa w szopie. Powiedzieliśmy jej, że nie chcemy go kupić, a tylko obejrzeć i sfotografować.

Deszcz meteorytów kamiennych Tsarev jest największym znanym takim deszczem w Rosji i trzecim co do wielkości w świecie po Jilin w Chinach i Allende w Meksyku (czwartym, autor zapomniał o Pułtusku — przyp. tłum.). Około 80 odnalezionych chondrytów ma łączną masę około 1300 kg. Rozrzucone były one na obszarze mniej więcej 65 kilometrów kwadratowych. Z pewnością znacznie więcej fragmentów wciąż oczekuje na odkrycie. Największy odnaleziony okaz waży 284 kg, najmniejszy 50 g.

Od lewej do prawej: Lida, Cwietkow, Katia i autor z meteorytem z szopy z narzędziami, leżącym na stole.

Początkowo ten widowiskowy deszcz meteorytów był bardziej znany z powodu nieprawdopodobnych opowieści, jakie wywołał, niż z powodu nowego światła, jakie rzucił na badania chondrytów. Dopiero ponad 50 lat po pierwszych doniesieniach o deszczu rosyjscy naukowcy zbadali miejsce spadku. Może wydawać się dziwne, jak meteoryty, które spadły z tak jasnego bolidu widzianego przez tak wielu świadków, o którym tak wiele pisały gazety, mogły tak długo pozostawać nieodkryte. Zjawisko nastąpiło w nocy, co utrudniło ocenę odległości i przypuszczalnego miejsca lądowania obiektu. Chociaż prowadzono wiele poszukiwań, to szukano w niewłaściwych miejscach. Niemal niemożliwe też było odróżnienie obserwacji, które można by uznać za rzetelne, od tych graniczących z fantazją.

Według dziennika „Komunist" na początku grudnia 1922 roku pogłoski krążące wokół miasta Astrachania utrzymywały, że ogromny meteoryt uderzył w ziemię. Inna plotka twierdziła, że meteoryt był „wielkości miasta Astrachań i cały ze złota".

Następująca relacja ukazała się w dzienniku „Krasnaja Gazieta" z 1 listopada 1923 roku: „Meteor spadł z hałasem, który słyszano sześć dni przed rzeczywistym spadkiem. Zakopał się w ziemię na głębokość czterech sążni (sążeń jest starą rosyjską jednostką długości równą około 2 metrów 13 centymetrów). Bryła meteorytu wystawała z ziemi także na cztery sążnie. Ważył około 200 000 pudów (3276000 kg.). Meteoryt jest wielkości dwupiętrowego budynku." Ilustracja w jednej z gazet przedstawia szkic gigantycznego meteorytu o kształcie ziemniaka leżącego w zagłębieniu i górującego nad grupką ludzi z podniesionymi rękami, którzy przy nim wydają się karzełkami.

Relacje świadków bolidu zebrane przez lata okazały się nieco bardziej pomocne niż relacje gazetowe, jeśli chodzi o początkowe oceny wielkości, masy, trajektorii i fragmentacji kosmicznego kamienia.

Według Romana Chotinoka z Radzieckiej Akademii Nauk jeden ze świadków, nazwiskiem Safonow, powiedział, że „o drugiej w nocy pod

koniec października lub na początku listopada 1921 roku, gdy miałem dziewięć lat, przypadkiem byłem poza domem i nagle zrobiło się niezwykle jasne światło, jakby jednocześnie pojawiło się 100 błyskawic. W tym samym momencie zobaczyłem za wsią lecący bolid, a potem usłyszałem bardzo głośną eksplozję. Ziemia zadrżała, po czym wszystko ucichło w ciemności. Byłem pewien, że to musiał spaść meteoryt."

Innym świadkiem była A. G. Gierasimowa ze wsi Cariow, urodzona w 1912 roku. Podobno powiedziała ona Chotinokowi to, co następuje, wspominając wydarzenie z czasów, gdy miała około dziesięciu lat. Chotinok zapisał, że była bardzo późna jesień lub sam początek zimy i późny wieczór, ponieważ nie poszła jeszcze do łóżka. Jej ojciec wciąż pracował, naprawiając buty przy świeczce. Nagle zrobiło się tak jasno, że wszystko w domu wyglądało tak, jakby to był dzień. „Zobaczyłam przez okno bardzo jasny bolid i krzyknęłam: Zobaczcie, leci smok, ognisty wąż z ogonem." Następnie powiedziała, że była jedna, bardzo silna eksplozja. Po kilku dniach przyszli do domu ludzie i powiedzieli jej ojcu, że ogromny kamień spadł na sąsiednie pole.

„Powiedziała, że pamięta bardzo dobrze, że okno wychodziło na wschód i że bolid leciał od prawej do lewej, to znaczy z południa na północ, pod niedużym kątem do horyzontu."

„P. S. Kniażkow, który mieszkał w Carycynie (przemianowanym później na Stalingrad), powiedział, że gdy miał dziesięć lub jedenaście lat, gdzieś chyba w 1921 roku spadł za Wołgą kamień ognisty," i że wszyscy wybiegli na ulice, by to zobaczyć.

Relacje tych i innych świadków oraz relacje gazetowe wskazują, że deszcz meteorytów Tsarev spadł któregoś wieczoru pod koniec jesieni lub na początku zimy w 1921 lub 1922 roku. Jednak według niektórych świadków zjawisko miało miejsce nawet dziesięć lat przed lub po roku 1922. Po ponad pięćdziesięciu latach, jakie upłynęły do momentu, gdy Cwietkow, Zotkin i inni zaczęli systematycznie zbierać relacje świadków, na ile można te relacje uznać za wiarygodne? Chociaż dostateczna liczba wskazuje na rok 1920, 1921 lub 1922, archiwa Akademii Nauk z relacjami

Jedna z miejscowych gazet opublikowała ten szkic ogromnego meteorytu otoczonego przez ludzi wznoszących ręce w górę ze zdumienia.

o spadkach meteorytów, których fragmentów nigdy nie odnaleziono, zawierają najbardziej prawdopodobną odpowiedź. Na jednej z kart jest zapisany jako Meteoryt Carycyński bolid, który spadł 6 grudnia 1922 roku między godziną 17 a 18. Przyjęto więc tę datę za oficjalną. Zgadza się ona dobrze ze wspomnieniami Gierasimowej i innych świadków.

Nasza opowieść przeskakuje teraz do roku 1979 i sowchozu w Cariowie. Spawacz Borys Nikiforow napisał list do Komitetu Meteorytów Akademii Nauk informujący, że wiosną 1968 roku pracownicy sowchozu zaczęli znajdować na polach duże, zardzewiałe kamienie. Samo w sobie było to zagadkowe, ponieważ naturalne kamienie na tych terenach nie występują. Gdy traktorzysta napotykał jeden z tych kamieni, to albo odciągał go na skraj pola, albo umieszczał na pługu jako obciążnik.

Nikiforow, który pracował z geologami poszukującymi ropy naftowej i interesował się bardzo astronomią i meteorytami, zaczął w 1978 roku przyglądać się podejrzliwie tym kamieniom. Były niepodobne do żadnych kamieni, które dotąd widział. Szczególnie intrygował go ich ciężar w stosunku do rozmiarów. W liście do Komitetu Meteorytów napisał on, że sądzi, iż mogą to być meteoryty. Członkowie Komitetu byli nieufni. Wydawało się nieprawdopodobne, że kamienie, które od tak dawna leżały na otwartym polu, gdzie każdy mógł je oglądać, mogły okazać się meteorytami. Niemniej rutynowo odpisali i poprosili Nikiforowa o odłupanie fragmentu i przysłanie do Moskwy do analizy. Ku zaskoczeniu Komitetu ważąca 324 g próbka okazała się chondrytem zwyczajnym L5, który powiększył zbiór Akademii Nauk.

Niezwłocznie wysłano do Cariowa członka Komitetu, Chotinoka. Z teczką, w której zamierzał przywieźć okazy do Moskwy, wszedł przez furtkę na podwórze Nikiforowa i stanął jak wryty, patrząc z niedowierzaniem na stertę wielkich, zardzewiałych kamieni, z których każdy miał około pół metra średnicy. Nikiforow powiedział, że na polu leżą jeszcze cztery większe, ale są zbyt duże, by można je było podnieść. Po zważeniu siedmiu leżących na podwórzu Nikiforowa meteorytów okazało się, że każdy waży kilkadziesiąt kilogramów. Miały one jasną, rdzawą barwę — skutek wieloletniego utleniania — i skorupę obtopieniową poznaczoną regmagliptami utworzonymi wskutek ablacji podczas przelotu przez atmosferę.

Według Chotinoka w wewnętrznej budowie meteorytu widoczne były ślady metamorfizmu uderzeniowego. „Najprawdopodobniej po milionach lat w przestrzeni międzyplanetarnej pierwotny meteoroid uległ bardzo gwałtownemu zderzeniu" pisze on w artykule „Nowe meteoryty ZSRR: Deszcz meteorytów kamiennych w Cariowie".

Wiele meteorytów pozostawało na przypuszczalnych pierwotnych miejscach spadku, a miejsca, gdzie spadła większość pozostałych, można było ustalić, ponieważ sowchoz był stosunkowo nowy i robotnicy dokładnie wiedzieli, gdzie wyorano wyrzucone z pól kamienie. Cztery największe meteoryty pozostały na miejscach spadku, a Nikiforow mógł dokładnie pokazać, gdzie znalazł siedem dużych kamieni, które przywiózł na podwórze.

W październiku 1979 roku znaleziono piętnasty meteoryt ważący 50 kg. W kwietniu i sierpniu 1980 roku znaleziono jeszcze trzynaście i zapisano ich dane.

Odnalezione fragmenty umożliwiają przynajmniej wstępną ocenę masy pierwotnego meteoroidu. Bezpośrednie analizy chemiczne i fizyczne pozwoliły określić skład chemiczny i strukturę kamieni. Prace terenowe umożliwiły naniesienie na mapę orientacji, wielkości i kształtu obszaru rozrzutu. Ukazały także rozrzut fragmentów zależnie od ich masy. Podczas deszczu meteorytów fragmenty są sortowane w atmosferze ze względu na masę. Fragmenty o mniejszej masie są silniej hamowane podczas lotu przez atmosferę i spadają wcześniej niż większe fragmenty. Badanie elipsy rozrzutu wyraźnie potwierdziło relacje świadków o bolidzie lecącym z południa na północ, ponieważ bryły o większej masie znajdowano w północnej części elipsy rozrzutu. Stwierdzono, że bolid leciał z południowego wschodu na północny zachód, a azymut trajektorii wynosił 140°.

Ważną niewiadomą była prędkość wejścia bolidu, która pomogłaby określić elementy orbity meteoroidu przed wejściem w atmosferę. Analiza konfiguracji obszaru rozrzutu i zaznaczenie na mapie położenia każdego meteorytu mogło umożliwić ocenę prędkości wejścia obiektu w atmosferę. Ekspedycja Cwietkowa do Cariowa w 1982 roku uzupełniła mapę obszaru rozrzutu wieloma szczegółami, gdy znaleziono 25 nowych okazów ważących 100 kg. Powtórna analiza obszaru rozrzutu potwierdziła, że azymut bolidu wynosił 140°.

Potrzebne jest dalsze badanie miejsca spadku deszczu meteorytów Tsarev, szczególnie końca elipsy rozrzutu, na który spadły małe okazy. Jednak do tego czasu wiele najmniejszych meteorytów najprawdopodobniej zwietrzało. Chociaż określono, że meteoroid składał się głównie z oliwinu z dodatkiem pigeonitu i żelaza i miał gęstość od 3,3 do 3,5 g/cm^3, to zawsze można udokładnić elipsę rozrzutu, co pozwoliłoby na dokładniejsze wyznaczenie prędkości wejścia obiektu w atmosferę ocenianej na 19,4 km/s, a więc elementów jego orbity wśród planetoid.

Dr Roy Gallant jest dyrektorem Southworth Planetarium i autorem ponad osiemdziesięciu książek.

Od redaktora: Roy Gallant spisał to, co mu opowiedział Cwietkow, pomijając wiele barwnych szczegółów, których być może po prostu nie zrozumiał. Dlatego myślę, że warto poprosić Cwietkowa, aby sam opowiedział nam historię Cariowa na najbliższym Seminarium Meteorowo-Meteorytowym. Nazwa meteorytu zapisana jest w angielskiej transkrypcji jako Tsarev, ale brzmi po prostu Cariow, z akcentem na ostatniej sylabie.

Przecięty i wypolerowany (u góry) chondryt L5 Tsarev jest niemal czarny. Na jego zewnętrznej powierzchni widać skutki znacznego zwietrzenia.

Za rok w „Bibliotece Układu Słonecznego"

Harry McSween uaktualnił swą bardzo popularną książkę *Meteorites and Their Parent Planets* i rezultatem jest jeszcze lepsze przedstawienie tej szybko rozwijającej się dziedziny nauki. Drugie wydanie, opublikowane 12 lat po pierwszym, prowadzi tropami licznych najważniejszych odkryć w meteorytyce i badaniach planet. Niektóre z nowych informacji w drugim wydaniu to dane z przelotów statków kosmicznych obok planetoid, obrazy planetoidy Westa z Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, obliczenia orbitalnych wędrówek meteorytów z pasa planetoid do Ziemi i wyważone podejście do proponowanych nanoskamieniałości w marsjańskim meteorycie ALH84001 (McSween był znanym przeciwnikiem twierdzenia, że meteoryt ten zawiera dowody na istnienie życia na Marsie).

Rozdział wstępny przedstawia meteoryty i krótko opisuje zjawiska spadku meteorytów wraz z doniesieniami historycznymi, koncentracjami meteorytów na Antarktydzie i wielkimi zderzeniami. McSween zachował podobny układ jak w pierwszym wydaniu, poświęcając osobne rozdziały chondrytom, achondrytom oraz meteorytom żelaznym i żelazno-kamiennym, przy czym po każdym z nich następuje rozdział opisujący ciała macierzyste tych meteorytów. Rozdział 8 pokazuje, jak wygląda droga meteorytów od ich ciał macierzystych na Ziemię. Rozdział 9 jest nowy i nosi tytuł „Znaczenie meteorytów: kilka przykładów". Ten końcowy rozdział jest wspaniałym dodatkiem, ponieważ wiele popularnych książek o meteorytach nie pokazuje czytelnikom, jak wiele informacji o Układzie Słonecznym uzyskano dzięki badaniu tych spadających z nieba kamieni. Książkę kończy dodatek poświęcony minerałom i słowniczek meteorytycznego żargonu.

Niewątpliwie jest to książka poświęcona nauce o meteorytach. Stosunkowo niewiele wspomina o historii meteorytyki i prawie nic o hobbystach kolekcjonujących meteoryty. Skupia się ona na laboratoryjnych analizach tych skał z kosmosu i tym, co one mogą powiedzieć o naszym niebieskim otoczeniu. Jest to wspaniała książka napisana przez jednego z najlepszych znawców meteorytów. McSweenowi udało się przedstawić ten bardzo specjalistyczny temat w taki sposób, że wydaje się on bardzo prosty. Na przykład rozdział o achondrytach rozpoczyna się pięknym omówieniem formowania się jądra i płaszcza obejmującym dynamikę magmy, krystalizację frakcyjną i kumulaty. Po tym następuje lekcja geochemii pokazująca, jak z krystalizacji frakcyjnej wynika zróżnicowanie występowania pierwiastków ziem rzadkich i izotopów tlenu. Wszystkie te podstawowe informacje wykorzystuje się następnie do achondrytów (a później meteorytów żelaznych), co pozwala wnioskować o budowie i naturze ciał macierzystych tych meteorytów.

Drugie wydanie *Meteorites and Their Parent Planets* zostało powiększone o prawie 80 stron, a każda ilustracja została zaktualizowana i poprawiona, nadając książce elegancki i bardziej współczesny kształt. Siłą tej książki jest bogactwo wiedzy, którą McSween przedstawia w formie łatwo przyswajalnej dla każdego. Bardzo polecam tę książkę każdemu, kogo interesuje, czym są meteoryty i skąd pochodzą.

Glen Akridge
Cosmochemistry Group
University of Arkansas

Podziemny Krater – Chesapeake Bay

Louis Varricchio
tłum. Marek Muciek

(Artykuł z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

Księżyc, obserwowany przez lornetkę, jawi się nam jako jałowy świat, upstrzony tysiącami kraterów uderzeniowych. Również Merkury, Wenus i Mars, a także księżyce planet zewnętrznych mają powierzchnie pokryte bliznami po potężnych kolizjach.

Najstarsze fragmenty powierzchni Księżyca, sfotografowane przez bezzałogowe próbniki w latach 60--tych i 70-tych, musiały być niegdyś bombardowane 100 razy częściej niż obecnie. W ostatnich latach próbnik Galileo wykonał pierwsze zbliżenia obiektów z głównego pasa planetoid. Również one poryte są mnóstwem kraterów. Okres intensywnego bombardowania w Układzie Słonecznym trwał prawdopodobnie pomiędzy 4,6 a 3,9 mld lat temu.

Kratery ziemskie

Ziemia jest planetą aktywną. Dynamiczne procesy geologiczne i meteorologiczne starły z jej powierzchni większość pradawnych kraterów. Jednak w ciągu ostatniego stulecia udało się zlokalizować około 200 struktur przypominających kratery. Wiele z nich zostało przebadanych przez uczonych dopiero w ostatniej dekadzie. Spora część z zachowanych kraterów jest mocno zerodowana, zdeformowana i w znacznym stopniu pogrzebana pod zwałami młodszych osadów.

Znajdująca się w Ameryce Północnej podziemna struktura Chesapeake Bay, odkryta w roku 1993, zdaniem wielu geologów przypomina raczej krater złożony niż prosty. Oba te typy kraterów mają wypiętrzone krawędzie. W obu wypadkach występują bloki skalne, które osunęły się z zewnętrznych ścian, a również płaski pierścień wewnętrzny, otaczający górkę centralną. Jednak kratery złożone wyróżniają się swoimi rozmiarami (ponad 10 km średnicy) i występowaniem wewnątrz krateru pierścienia wzgórz. Uderzenie, które utworzyło strukturę Chesapeake Bay, zniszczyło teren dwukrotnie przekraczający powierzchnię stanu Rhode Island.

Sądząc po rozmiarach struktury, podejrzany o jej utworzenie bolid musiał mieć około 3,2 km średnicy. W późnym eocenie poziom oceanu był znacznie wyższy niż obecnie. Brzeg morski znajdował się wówczas bardziej na zachód, w okolicach Richmond. Bolid wpadł więc do oceanu, co musiało spowodować olbrzymie tsunami. Wszystko, co żyło w szerokim pasie wybrzeża, w gęstym lesie tropikalnym porastającym zbocza Apallachów, zostało zmyte z powierzchni ziemi. Gdyby coś podobnego zdarzyło się dziś, prawdopodobnie przestałyby istnieć wszystkie miasta wschodniego wybrzeża, od Florydy po Maine.

Geologiczne śledztwo

Badania struktury Chesapeake prowadził dr C. Wylie Poag, starszy geolog w Służbie Geologicznej Stanów Zjednoczonych w Woods Hole, Massachusetts. Historię jego prac czyta się jak fascynujący kryminał. Używając technik sejsmicznych i technologii wierceń lądowych i podmorskich, Poag z kolegami odkryli złożoną, 90 km strukturę, z centrum koło miasta Cape Charles w Wirginii.

Według szacunków geologów z Kanadyjskich Zasobów Naturalnych, uderzenie ciała o średnicy zaledwie 2 km może spowodować zaburzenia temperatury i nasłonecznienia, zakłócające życie przyrody na znacznym obszarze. Uważa się, że spotkania z bolidami o średnicy przynajmniej 2 km zdarza się co 2–3 mln lat. Krater Chesapeake Bay może być więc widomym ostrzeżeniem, że Ziemia ma czego się bać ze strony planetoid i komet.

„Pomimo dużych rozmiarów krateru Chesapeake Bay", pisze Poag, „nie ma dotychczas żadnych śladów globalnej katastrofy ekologicznej lub masowego wymierania, związanych z tym wydarzeniem". Nie oznacza to jednak, że takie dowody nie czekają gdzieś na odkrycie. Poag znalazł już geologiczne świadectwa ogromnych zniszczeń lokalnego środowiska — bogactwo skamieniałości drobnych organizmów morskich, obecnych w miejscu badań, znacznie zmalało w wyniku katastrofy.

Odciski palców złoczyńcy?

We wczesnych latach 80-tych Poag był koordynatorem programu głębokich wierceń podmorskich Narodowej Fundacji Nauki USA, prowadzonego na pokładzie statku badawczego Glomar Challenger. Zespół Poaga odkrył wówczas największą strukturę uderzeniową na terenie Stanów Zjednoczonych.

Próbki pobierano przy pomocy wieży wiertniczej znajdującej się na pokładzie statku. Wiertła Glomar Challengera drążyły osady denne na krawędzi szelfu kontynentalnego. U wybrzeży New Jersey, z głębokości od 372 m do 415 m pobrano próbki zawierające cienką warstwę z domieszkami drobnych morskich skamieniałości, materiału przypominającego mikrotektyty, oraz przetworzonego zderzeniowo kwarcu i szpatu polnego (wykazujących deformacje zwane lamelkami zderzeniowymi). Co więcej, wiercenia na lądzie ujawniły podziemne rumowisko, grube na 60 m, i zakłócenia w chronologicznym układzie mikroskamieniałości. Na

podstawie pomiaru stosunku izotopów argonu uwięzionego w szkle mikrotektytów, Poag ustalił, że katastrofa wydarzyła się 35,5 mln lat temu.

Struktura Chesapeake Bay jest młodsza od słynnego krateru Chicxulub – powstała w późnym eocenie. Krater jest zagrzebany pod osadami Chesapeake Bay, z centrum położonym z grubsza pod południowym cyplem półwyspu Delmarva, na wschód od Norfolk w Wirginii, koło Cape Charles (biegnący z północy na południe półwysep Delmarva leży na terenie stanów Delaware, Maryland i Wirginia).

Zarys podziemnej struktury widoczny jest obecnie na powierzchni, na stałym lądzie w Wirginii i na półwyspie Delmarva, w postaci kilku urwisk i wałów układających się wzdłuż pierścienia krateru. Wyraźne są zwłaszcza urwisko Suffolk i grzbiet Ames. Te utwory, o wysokości 10––15 m, powstały prawdopodobnie w wyniku różnicowego zapadania się gruntu nad kraterem.

Według Poaga i in. pierwszymi śladami uderzenia bolidu we wschodnie wybrzeże Ameryki Północnej były próbki gruntu z fragmentami pogruchotanego kwarcu i tektytów. Tektyty to małe, chropawe kawałki szkliwa, przypominającego obsydian, zwykle czarne lub oliwkowe. Są bardzo suche. Powstają zapewne ze stopionego w wyniku uderzenia gruntu, a znajduje się je często w ogromnych polach rozrzutu, daleko od miejsca kolizji.

Profile sejsmiczne i pomiary grawitacji pozwoliły zlokalizować pociętą uskokami zewnętrzną krawędź krateru. Widać ją w kilku miejscach pod zatoką i szelfem kontynentalnym u brzegów Wirginii. Ponadto, dwa profile sejsmiczne ukazały 23 mniejsze kratery, o średnicach od 1 do 5 km, leżące na zewnątrz głównego krateru.

Poag z kolegami zidentyfikowali też mniejszą strukturę, przypominającą krater. Krater Toms Canyon — nazwany tak od pobliskiego podwodnego wąwozu – leży pod szelfem u wybrzeży New Jersey. Również tu próbki gruntu zawierają tektyty i przeobrażony zderzeniowo kwarc, co jest silnym dowodem na to, że miało tu miejsce uderzenie meteorytu. Krater ten ma 15–20 km średnicy i może być efektem uderzenia dużego fragmentu bolidu Chesapeake Bay.

Rekonstrukcja krateru

Istnienie kraterów Chesapeake Bay i Toms Canyon odkryła ekspedycja na Glomar Challenger w 1983 roku. Podczas rutynowych badań geofizycznych Poag i jego zespół uzyskali niezwykłe próbki gruntu, pobrane z miejsca leżącego na skraju szelfu kontynentalnego, ok. 120 km na wschód od Atlantic City.

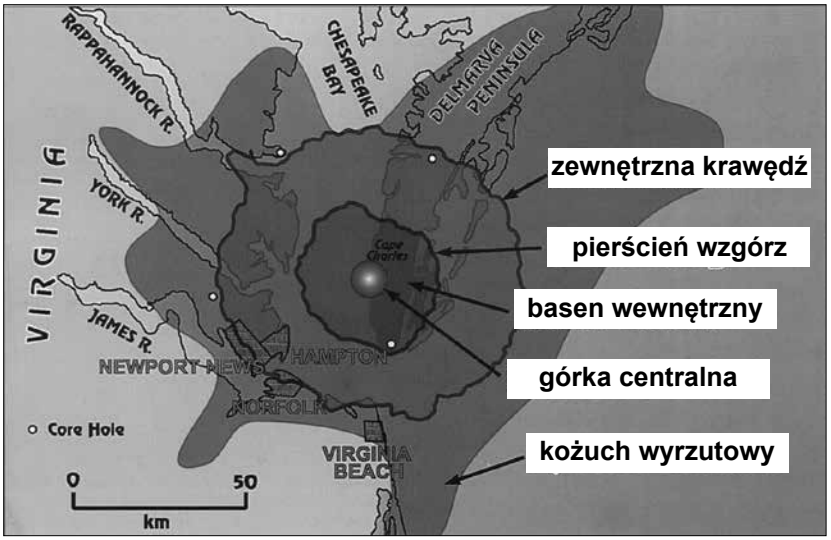
Wykreśliwszy profile sejsmiczne dna, Poag wybrał miejsce wiercenia — oznaczone jako pozycja 612, ok. 30 km na południowy-wschód od Toms Canyon — i rozpoczął żmudne drążenie podmorskich osadów.

Analiza próbek pobranych na pozycji 612 natychmiast zdradziła ślady katastrofy. Poag zauważył, że była w nich 20-cm warstwa, zawierająca minerały przeobrażone pod ciśnieniem dziesiątek tysięcy atmosfer. Jaki proces mógł odpowiadać za metamorficzną naturę tej warstwy? Jeden z kolegów Poaga zbadał odrobinę materii z tej warstwy pod mikroskopem i znalazł minerały przetworzone zderzeniowo — zwłaszcza wyraźnie widoczne były kwarc i szpat polny. „Oprócz uderzenia meteorytu żaden naturalny mechanizm nie może wytworzyć tektytów i zderzeniowo przeobrażonego kwarcu" twierdzi Poag.

Pośród przeobrażonych minerałów i milimetrowych lub centymetrowych kropel szkliwa znajdowały się skamieniałe, wapienne szkieleciki prymitywnych mikroorganizmów z gatunków *foraminifera* i *bolboformidae.* To widomy znak, że warstwa ta pochodziła z późnego eocenu, ok. 35,5 mln lat temu. W celu potwierdzenia datowania skamieniałości, jeden z kolegów Poaga zmierzył stosunek dwóch izotopów argonu zamkniętego w mikrotektytach, pochodzących z próbek zebranych na pozycji 612.

W roku 1986, pracownicy Służby Geologicznej USA i Komitetu Kontroli Wody Stanu Wirginia, badając podziemne zbiorniki wodne pod niziną nadbrzeżną w Wirginii, wykonali 4 odwierty na wschodnim i zachodnim brzegu Zatoki Chesapeake. Kilka próbek z każdego miejsca wykazało niezwykły układ osadów. Zdaniem Poaga, ujawniło się w nich piaszczyste rumowisko, zawierające bryły gliny i wapienia o rozmiarach od kilku centymetrów do paru metrów. Wielkość, kolor i układ brył zmienia się z głębokością. „Nigdy nie widziano podobnego gruzowiska pod powierzchnią Wirginii", napisał Poag „ale jest ono obecne we wszystkich czterech miejscach. Jednak najdziwniejszej rzeczy nie widać gołym okiem. Odkryliśmy ją dopiero analizując mikroskamieniałości." Poag zauważył, że mikroskamieniałości zawarte w rumowisku są identyczne ze znalezionymi w próbkach z pozycji 612.

Inaczej niż w normalnym układzie osadów – gdzie młodsze warstwy leżą na starszych – w próbkach z Wirginii starsze, pokruszone bryły gliny i mikroskamieniałości leżą na młodszych osadach wapiennych. „Odkryliśmy zupełnie chaotyczną mieszaninę utworów o różnym wieku" zauważa Poag. „Bryły okazują się oderwanymi fragmentami wszystkich warstw osadowych zalegających pod południowo-wschodnią Wirginią." Znalazły się wśród nich również



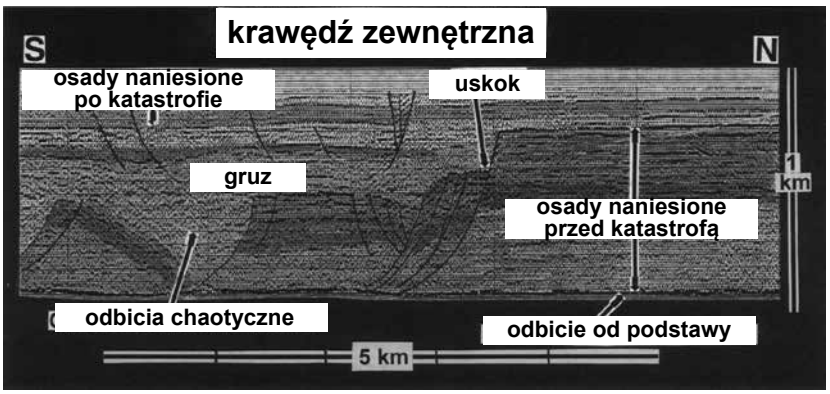
kawałki granitowej tarczy, leżącej u podstawy wszystkich osadów.

„Ostatni klocek układanki znaleziono w 1993 roku" pisze Poag. Badając warstwy ropo- i gazonośne pod zatoką Chesapeake, geolodzy z Texaco Inc. i Exxon Exploration Co. wykonali szereg profili sejsmicznych, w których Poag dostrzegł ogromny pierścień wzgórz, wskazujący położenie środka podziemnego krateru. Określił on, że 90-kilometrowy krater był głęboki na ok. 1,3 km, prawie jak Wielki Kanion w Arizonie. Gruzowisko (brekcja pouderzeniowa) wypełnia krater i tworzy obszerną otoczkę wokół niego (kożuch wyrzutowy).

Używając danych z Exxon i Texaco, Poag odtworzył przekrój krateru. Warstwa gruzu o grubości 1,2 km pokryła krater natychmiast po zderzeniu. Osady zbierające się przez następne 35,5 mln lat ukryły go głęboko pod Chesapeake Bay.

Jak krater ukształtował dzisiejszą Zatokę Chesapeake

Zatoka Chesapeake nie jest „dziełem" meteorytu. Utworzyła się dopiero 10000 lat temu, pod koniec epoki lodowej. Jednak Poag zebrał dowody na to, że podziemny krater ukształtował pradoliny, którymi płynie rzeka Susquehanna. Liczne obsunięcia gruntu nad kraterem określiły również biegi rzek York i James, które ostro zakręcają ku północnemu wschodowi



w okolicach zewnętrznych krawędzi krateru.

Krater ma również wpływ na miejscowe podziemne warstwy wodonośne. Gruz wypełniający krater jest przesiąknięty ogromną ilością słonej wody — 1,5 raza bardziej słonej niż woda morska. Ta słona woda z krateru zagraża zasobom słodkiejwody w okolicach wybrzeża, a rozważa się gospodarcze wykorzystanie zasobów słodkiej wody, znajdujących się w warstwach wodonośnych pod zatoką.

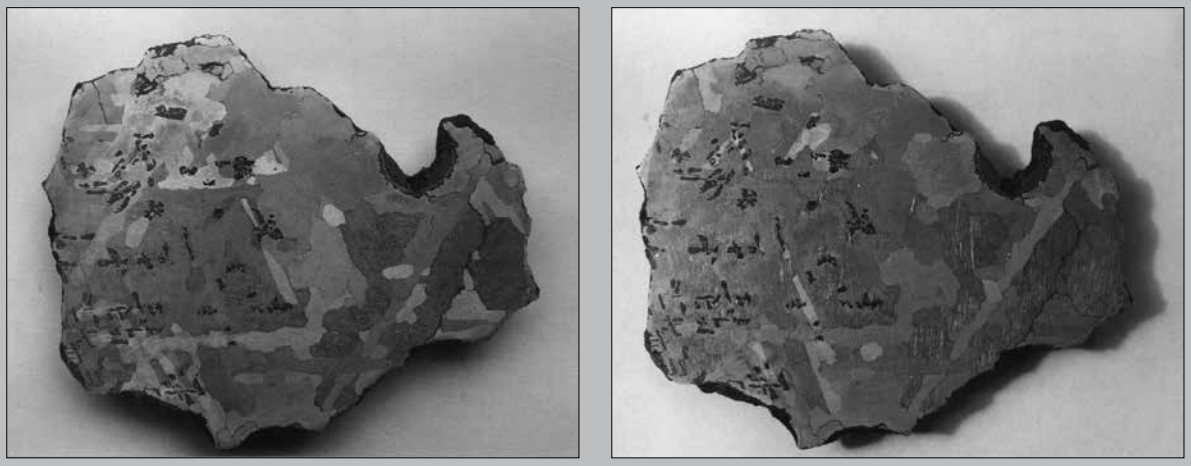
Dodatkowe profile sejsmiczne, wykonane przez Poaga i jego zespół, wykazały istnienie nad kraterem ponad 100 uskoków i grup uskoków. Struktura gruntu jest w tych miejscach osłabiona. Powstały one na skutek nierównomiernego osiadania gruzu, który nawet teraz, po 35,5 mln lat, wciąż zapada się i jest zgniatany pod ciężarem późniejszych osadów. „Efektem tego jest" pisze Poag „że miasta zbudowane nad kraterem i wzdłuż jego krawędzi są bardziej narażone na tąpnięcia niż miasta położone z dala od niego."

Ponad 35 mln lat minęło, odkąd meteoryt wybił krater pod dzisiejszą zatoką Chesapeake. Jednak jeszcze dziś daje się dostrzec ślady tej pradawnej katastrofy, która w późnym eocenie zmieniła losy ogromnej części wschodniego wybrzeża Ameryki Północnej.

Podziękowania

Autor dziękuje dr C. Wylie Poag i następującym instytucjom za zezwolenie na użycie materiałów, wykorzystanych w niniejszym artykule: Służba Geologiczna Stanów Zjednoczonych (Woods Hole), Szwajcarskie Laboratorium Meteorytowe, Instytut Scrippsa Archiwów Oceanograficznych, i Kanadyjskie Zasoby Naturalne.

Galeria



Morasko. Wygląd figur zależy od oświetlenia. Najciemniejsze są wrostki cohenitu. U góry z prawej okrągły wrostek troilitu wygryziony wskutek wietrzenia. Cieniutkie, jaśniejsze kreseczki to linie Neumanna.

Fot. A.S. Pilski

Morasko — największy europejski deszcz meteorytów żelaznych

Andrzej S. Pilski & Wayne Walton

(Artykuł z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

Polska ma szczęście, że w jej granicach spadło kilka największych europejskich deszczów meteorytów. Przede wszystkim był to pułtuski deszcz chondrytów, który był największym deszczem nie tylko w Europie, ale i na świecie (jeśli weźmiemy pod uwagę liczbę okazów). Łowicz był największym w Europie deszczem mezosyderytów. Wreszcie Morasko jest największym europejskim deszczem meteorytów żelaznych. Nie był to spadek obserwowany, ponieważ zdarzył się kiedyś między 10 000 a 5000 lat temu.

Pierwsza część historii meteorytu żelaznego Morasko rozpoczyna się 12 listopada 1914 roku, gdy podczas kopania okopów w pobliżu wsi Morasko, sierżant, dr Cobliner, znalazł bryłę metalu ważącą około 75 kg. Wiemy to z listu do dyrektora muzeum w Poznaniu, w którym Cobliner napisał: „Bei Schanzarbeiten fand ich heute im gewachsenen Boden (Kies) ungefähr einen halben Meter unter der Erdoberfläche einen Metallklumpen von 75 kg Gewicht." Fragment tej bryły wysłano do Berlina do Geologische Landesanstalt, gdzie stwierdzono, że to meteoryt. Po I Wojnie Światowej, gdy Polska odzyskała niepodległość, bryła znalazła się w Muzeum Wielkopolskim w Poznaniu.

Druga część rozpoczyna się w 1954 roku, gdy dr Jerzy Pokrzywnicki, pracując nad katalogiem meteorytów w polskich kolekcjach, natrafił w Muzeum Przyrodniczym w Poznaniu na bryłę meteorytu Morasko, która ważyła 61 kg. Ponadto było kilka odciętych fragmentów i trzy mniejsze, całkowite okazy ważące 3–4 kg. Podejrzewając, że może to być deszcz meteorytów, dr Pokrzywnicki zaczął wypytywać mieszkańców Moraska, czy nie znaleźli brył żelaza. Wkrótce natrafił na ważącą 78 kg bryłę żelaza, którą gospodarz wyorał jesienią 1947 roku i przywlókł na podwórze. Dowiedział się też, że przed II Wojną Światową wyorano bryłę 80 kg i osiem mniejszych o wadze od 1,5 do 8 kg. Większość z nich zaginęła, ale niektóre mogły być okazami, jakie dr Pokrzywnicki napotkał w Muzeum.

Dr Pokrzywnicki zauważył także, że w lasku, na południe od miejsca, gdzie znajdowano meteoryty, znajdują się zagłębienia przypominające kratery. Ponieważ jest to teren polodowcowy, geolodzy uważali, że są to oczka polodowcowe. Ponieważ jednak w ich pobliżu znaleziono meteoryty, dr Pokrzywnicki wysunął przypuszczenie, że mogą one być pochodzenia meteorytowego. Największy krater ma około 60 metrów średnicy, jest wypełniony wodą i otoczony wałem, który od południowej strony osiąga wysokość 8 m.

W 1970 r. naukowcy z Obserwatorium Astronomicznego w Poznaniu przeanalizowali rozkład pyłu meteorytowego w próbkach gleby z okolic kraterów i stwierdzili, że ilość pyłu jest znacznie zwiększona, a obszar zawierający największe ilości pyłu jest wydłużony ku północy, sugerując przypuszczalny kierunek lotu. Kierunek ten potwierdzała informacja o znalezieniu przypuszczalnych meteorytów żelaznych w pobliżu miasta Oborniki, ok. 30 km na północ od Poznania. Niestety okazy te zaginęły podczas II Wojny Światowej.

Trzecia część rozpoczyna się w 1990 r., gdy poszukiwacze meteorytów zaczęli przeszukiwać obszar na północ od kraterów wykrywaczami metalu. Wcześniejsze poszukiwania w latach sześćdziesiątych, prowadzone przy pomocy wojskowych wykrywaczy min, nie dały rezultatu i pojawiła się opinia, że więcej meteorytów tam nie ma. Jednak lepsze wykrywacze szybko pokazały, że opinia ta była błędna. W 1995 roku odnaleziono dwa duże okazy 30 i 40 kg oraz wiele mniejszych, od kilku kilogramów do kilkudziesięciu gramów. Jeden z tych małych okazów znajdował się w drodze gruntowej, wrzucony wraz z kamieniami, by wypełnić dół.

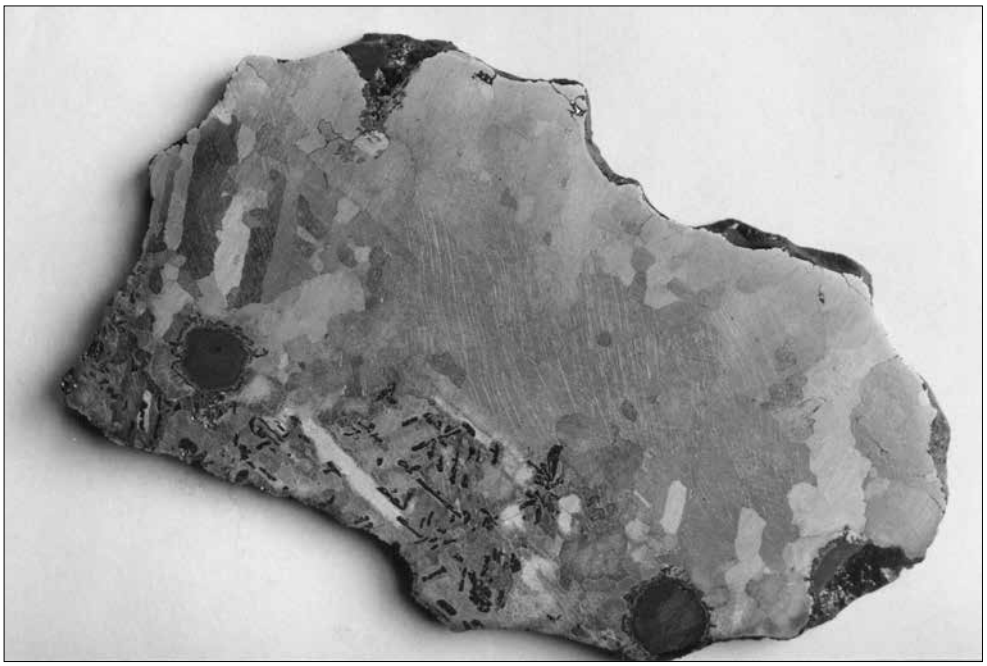
Niestety głównym celem dzisiejszych poszukiwaczy jest zdobycie pieniędzy i odmawiają oni podawania szczegółowych informacji dotyczących miejsca i liczby znajdowanych okazów. Najlepszym przykładem była oferta na jednej ze stron internetowych, gdzie około 90 kg Moraska oferowano po $5/gram. Właściciel odmówił podania jakichkolwiek danych na temat oferowanych meteorytów, więc nie wiadomo, czy jest to nowe znalezisko, czy też odnalazł on bryłę 80 kg, która zaginęła podczas II Wojny Światowej. W każdym razie łączna masa znalezionych okazów Morasko przekracza 300 kg, a z pewnością dalsze okazy oczekują na znalezienie przez poszukiwaczy meteorytów.

Meteoryt Morasko jest typowym oktaedrytem gruboziarnistym, w którym obserwuje się różne struktury nawet w tym samym okazie. Szerokość pasków kamacytu waha się od 1,5 do 3,0 mm, podczas gdy długość jest bardzo różna, od 2,0 do 15,0 cm. W niektórych ziarnach kamacytu występują skupienia plessytu o rozmiarach około 3 mm. W większości badanych okazów obserwuje się linie Neumanna.

Taenit tworzy równoległe lamelki, ale na ogół nie są one jednorodne i często mają rdzenie plessytowe. Zawartość niklu w taenicie pozostaje dość dobrze stała w całej lamelce (41,0 – 41,8%). Także zawartość kobaltu i chromu jest stała w poszczególnych lamelkach taenitu (Co — 0,3%, Cr — 0,2%). Zawartość kobaltu w kamacycie jest zwykle wyższa i sięga 0,8%, podczas gdy zawartość chromu jest mniej więcej taka sama, jak w taenicie.

Wrostki obserwowane w meteorycie Morasko zawierają troilit,

grafit, schreibersyt, rhabdyt i cohenit oraz podrzędnie sfaleryt i whitlockit. Rozmieszczenie wrostków jest bardzo nieregularne i na niektórych przekrojach występują one bardzo licznie, a na kolejnych przekrojach może ich być bardzo niewiele. Grafit stanowi średnio 1% objętościowo i występuje w skupieniach różnego rodzaju oraz w drobnych przerostach. Schreibersyt występuje w postaci wydłużonych wrostków i stanowi około 1,5% objętościowo. Rhabdyt tworzy ziarna o kształtach romboidalnych, sześciokątnych, kwadratowych, prostokątnych lub igiełkowatych i stanowi około 1% objętościowo. Cohenit w niektórych okazach występuje obficie, a w innych nie występuje wcale. Jest silnie zgrafityzowany wzdłuż szczelin i tam, gdzie był wystawiony na utlenianie atmosferyczne. Stanowi ok. 1% objętościowo.



Na przekroju oktaedrytu gruboziarnistego Morasko widać rozmaitość różnych struktur

Sfaleryt występuje w polimineralnych bryłkach i jako izolowane ziarna w kamacycie. Granice między sfalerytem i troilitem nie są ostre i są otoczone przez strefy drobnych przerostów o szerokości do 20 mikrometrów. Whitlockit zaobserwowano tylko w postaci obwódek bryłek grafitowo-troilitowych. Może być także związany z cliftonitem i schreibersytem.

Ponieważ różne okazy Morasko znajdowano w różnym czasie, ich stopień zwietrzenia zależy od czasu ich wystawienia na działanie wody i powietrza. Skorupa składa się z wtórnych minerałów i to przeobrażenie sięga także w głąb, szczególnie tam, gdzie okaz ma naturalne lub wtórne pęknięcia. Zawartość magnetytu i goethytu waha się od 2,0% w mniej zwietrzałych okazach, do 4,6%.

Wreszcie w okazach Moraska widoczne są rozmaite efekty deformacji, pęknięcia i mechaniczne zbliźniaczenia. Uważa się, że ciśnienie wywierane przy uderzeniu było średniej wielkości (130 – 750 kb).

Morasko jest bardzo podobny do innych oktaedrytów gruboziarnistych z licznymi wrostkami, takich jak Cranbourne, Seligman i Magura. Większa zawartość germanu może jednak lokować Morasko wśród anomalnych chemicznie oktaedrytów gruboziarnistych, takich jak Arispe, Nocoleche i Mount Stirling. Póki nie przeprowadzi się dalszych analiz chemicznych, to, gdzie rzeczywiście zaliczyć ten interesujący meteoryt, pozostaje kwestią dyskusji.

Na niektórych mniejszych okazach Moraska widoczne są wyraźne efekty ogrzania podczas uderzenia w ziemię. Ładny przykład znajduje się w kolekcji Olsztyńskiego Planetarium. Na powierzchni przekroju małego okazu widać, że składa się on z trzech fragmentów scementowanych podczas zderzenia. Blisko powierzchni styku figury Widmanstättena są całkowicie zniszczone i tylko linie płynięcia metalu są widoczne. Figury pojawiają się ponad centymetr od powierzchni styku. Przy powierzchni 30-kilogramowego okazu jest warstwa o grubości ok. 2 mm, gdzie metal został ogrzany i kamacyt został przekształcony do postaci ziarnistej.

Mówi się czasem, że Morasko rdzewieje bardzo szybko, jak Nantan. Ogólnie rzecz biorąc nie jest to prawdą. Morasko rdzewieje nie mniej i nie bardziej niż Canyon Diablo. Są mniejsze okazy znalezione w wilgotnym otoczeniu, które trudno ochronić przed rdzewieniem. Jednak w większości przypadków, zwłaszcza większe okazy są dość stabilne.

Jak kolekcjoner może zdobyć okaz Moraska? Poszukiwania przy pomocy wykrywaczy mogą być dobrym sposobem na przykład dla niemieckich kolekcjonerów. Są jednak pewne problemy. Wsi Morasko już nie ma. Została włączona w granice Poznania. W przyszłości można się spodziewać znalezisk Moraska nie podczas orki, lecz podczas wykopów pod nowe budynki. Poszukiwania na południe od kraterów są raczej niemożliwe, bo tam znajduje się miasto. Na północny wschód od kraterów jest poligon wojskowy, gdzie łatwiej znaleźć łuski od pocisków niż meteoryty. Na pozostałym terenie jest mnóstwo różnego rodzaju złomu. Mimo to jednak wciąż meteoryty można odnaleźć.

Większość znalezionych okazów znajduje się w zbiorach Polskiej Akademii Nauk i nie są one dostępne dla kolekcjonerów. Oferowane okazy wciąż osiągają dość wysokie ceny. Na ogół płytki i piętki oferuje się w cenach $2 – $4 za gram. Tańsze okazy można uzyskać w drodze wymiany z polskimi kolekcjonerami.

Literatura

Buchwald V.F., *Handbook of Iron Meteorites*, Barkeley Univ. of California Press, 1975

Dominik B., Mineralogical and Chemical Study of Coarse Octahedrite Morasco (Poland), Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1976

Deszcz meteorytów w Nadiabondi, w Burkina Faso

Dieter Heinlein

(Artykuł z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

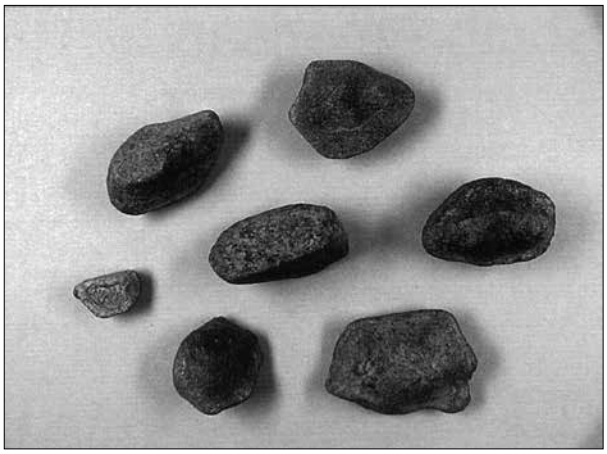
Wiadomo z literatury, że w Nadiabondi, w departamencie Diapaga, w prowincji Tapoa Gourma, w Górnej Wolcie (dziś Burkina Faso) w Afryce spadł 27 lipca 1956 roku, około 19.30 UT meteoryt. Ważący 3665 g. okaz tego chondrytu H5 znaleziono wkrótce po spadku i wysłano do Muzeum Przyrodniczego do Paryża, gdzie główna masa (3463 g) znajduje się do dziś. Przez długi czas uważano, że był to spadek jednego tylko kamienia, chociaż już paryski okaz wskazuje, że wokół Nadiabondi powinno leżeć więcej okazów, gdyż główna masa jest fragmentem z odłupanymi kawałkami a nie całkowitym okazem. Jednak przez kilkadziesiąt lat nie przeprowadzono w Nadiabondi żadnych badań terenowych.

W 1992 r. powstało w Burkina Faso Centre d'Etude des Meteorites d'Afrique Occidentale (CEMAO), które założył prof. Wayne Walton wspólnie z prof. Urbainem Wenmenga z Wydziału Geologii Uniwersytetu w Ouagadougou. CEMAO zrobiło sporo, aby przeszukać znane już obszary spadku (takie jak Gao-Guenie) i znaleźć nowe meteoryty.

Główna masa Nadiabondi o wadze 3,463 g. w Museum d'Histoire Naturelle w Paryżu.

W styczniu 1997 r. nauczyciel z Diapaga, Leopold Bayan, dostarczył do CEMAO kilka małych chondrytów z Nadiabondi. W wyniku badań zespołu CEMAO na miejscu spadku wokół Nadiabondi (wieś licząca dziś około 550 mieszkańców, znajdująca się na 11° 57,3' N i 1° 31,4' E) uzyskano następujący obraz zjawiska. W porze deszczowej 1956 roku (koniec lipca) około 8 wieczorem miejscowi ludzie zaobserwowali ogień na niebie i detonacje, po czym spadł deszcz kamieni. Anissau Tankoano, 23-letni mężczyzna znalazł duży czarny kamień, 7 km. na północny zachód od Nadiabondi, zagrzebany w dołku o głębokości 30 cm. Znalazca oddał ważący 3 kg okaz miejscowym misjonarzom, którzy oczywiście wysłali meteoryt do Paryża do identyfikacji. Wieśniacy wiedzieli, że w okolicy spadło jeszcze sporo mniejszych kamieni, ale obawiali się je zbierać, ponieważ te kamienie, które spadły z nieba (jak deszcz ognisty) uważano za sprawkę diabła lub oznakę gniewu bożego.

Od 1997 do 1999 zorganizowano na teren spadku Na-diabondi kilka ekspedycji i przeprowadzono wiele prac terenowych. Szczególnie Mathias Tiendrebeogo z Ouagadougou i jego współpracownicy nauczyli rolników, jak rozpoznawać meteoryty i płacili im za znaleziska. Podczas ostatnich ekspedycji zespół terenowy zdołał zgromadzić około 11,5 kg małych i malutkich meteorytów (nieco ponad 1000 okazów), podnosząc całkowitą znaną wagę deszczu Nadiabondi do około 15 kilogramów. Większość nowych meteorytów to całkowite (niemal całkowicie pokryte skorupą) okazy od 100 g do 0,5 g, a około 1% okazów jest orientowanych.



Małe, typowe, całkowite okazy Nadiabondi

Przeszukano dokładnie okolice wsi Nadiabondi, Partiaga, Logobou, Tombaga i Tansarga, ale większość znalezionych okazów pochodzi z pól Partiagi leżących ok. 7 km na południowy wschód od Nadiabondi. Przeprowadzono badania mineralogiczne wybranych okazów i wyniki (H5, oliwin $Fa_{19,4}$, piroksen $Fs_{17,7}$, $Wo_{1,2}$ stopień szokowy S2, stopień zwietrzenia W1) są zgodne z analizą największego okazu Nadiabondi z Paryża.

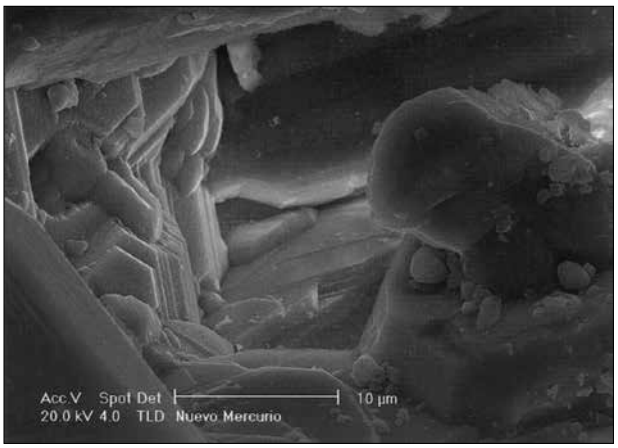
Ponadto można z pewnością wykluczyć, że te małe kamyki mogą pochodzić z innych deszczów meteorytów z Burkina Faso, takich jak Gao-Guenie, gdzie znaleziono mnóstwo (przeważnie dużych) okazów chondrytu H5, a który jest oddalony o ponad 400 km od obszaru spadku deszczu meteorytów Nadiabondi.

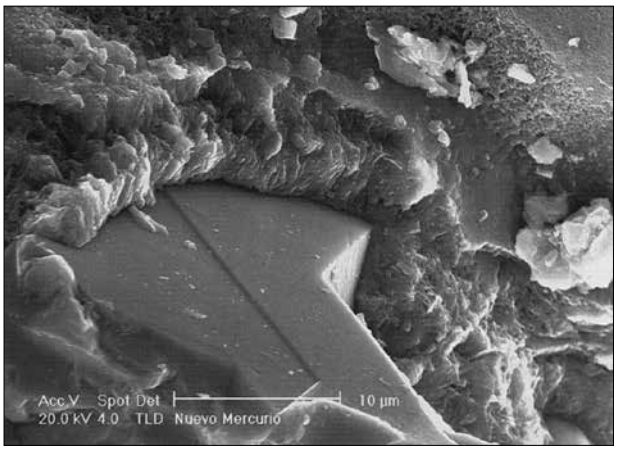
Augsburg, Niemcy

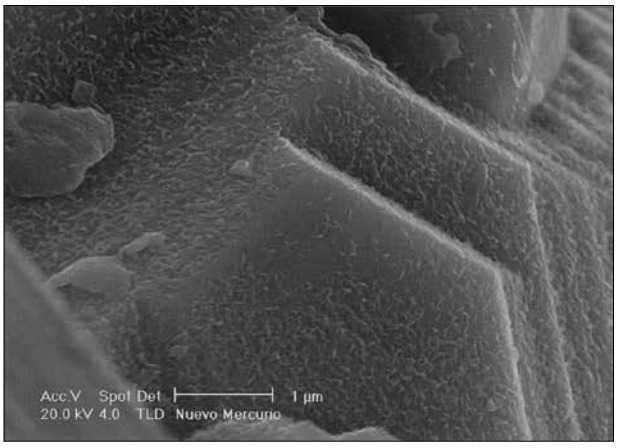
Sekrety Nuevo Mercurio

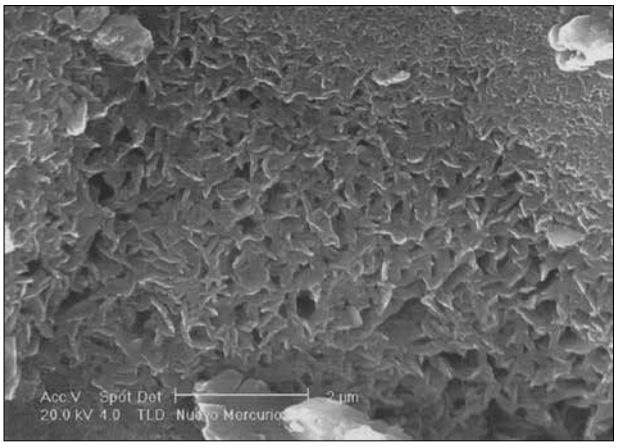
Bryony James

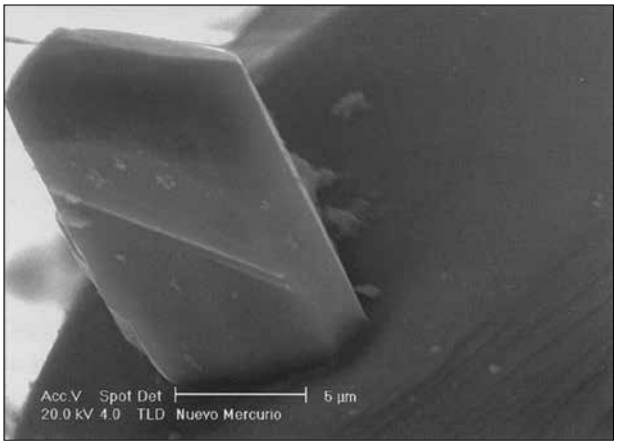
(Z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

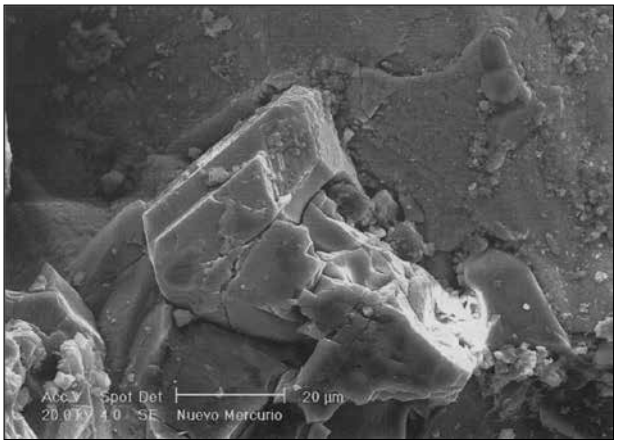












Obrazy te uzyskano przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego Philipsa XL30 S. Jest to przyrząd najnowszej generacji, wykorzystujący działo emisji polowej jako źródło elektronów i mogący uzyskiwać niezwykle wysoką rozdzielczość (1,5 nm). Tak wysoka rozdzielczość nie była konieczna w przypadku tych zdjęć; jednak nie można by było ich uzyskać bez wtórnego detektora elektronów. Obrazy uzyskiwano chwytając wtórne elektrony wytwarzane na powierzchni próbki; typowy detektor jest umieszczony z boku i nie może zaglądać do wąskich porów. Wykorzystując wtórny detektor i najnowszą technikę imersyjnych soczewek (zawierających elektrony w silnym polu magnetycznym), można było uzyskać obrazy wewnątrz porów i ukazać ukryte powierzchnie kryształów Nuevo Mercurio. (Okaz dostarczył Joel. L. Schiff)

Research Centre for Surface and Materials Science
Auckland University

Szok internetowy

Martin Horejsi & Marlin Cilz

(Artykuł z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

Zwykle pisaliśmy w „Meteorite!" o losach poszczególnych meteorytów od momentu spadku do znalezienia się w kolekcjach i laboratoriach. Tym razem przyjrzymy się środkowi przekazu informacji, który dramatycznie zakłócił sposób wymiany meteorytów. Pierwsze strony internetowe poświęcone meteorytom pojawiły się w 1995 roku, a dwa lata temu „Meteorite!" (i „Meteoryt") opublikował przegląd stron meteorytowych.

Dziś Internet jest jednym z głównych środków komunikacji, jeśli chodzi o przekazywanie informacji o meteorytach i okazach na sprzedaż. Gwałtowny rozwój i wykorzystanie Internetu i poczty elektronicznej nie tylko zmieniły samą naturę kolekcjonowania meteorytów, ale także wytworzyły nowy obraz meteorytowego dealera. Ta zmiana wzorca skasowała niemal wszystko, co dotąd istniało, pozwalając każdemu, niezależnie od przygotowania, zostać dealerem, kolekcjonerem a nawet amatorskim badaczem meteorytów.

Tę zmianę wzorca spowodowało kilka czynników. Po pierwsze szybkość komunikowania się wzrosła ponad ćwierć milionkrotnie. Wynika to z porównania trzech dni potrzebnych na dostarczenie konwencjonalną pocztą listy okazów oferowanych przez dealera, z sekundowym odstępem między wysłaniem przez dealera e-mailem spisu okazów, a możliwością jego zobaczenia na własnym komputerze.

Innym obszarem znacznie zmienionym przez Internet jest kierowanie okazów do poszczególnych osób. Dealer, który w przeszłości musiał czekać na większą zmianę w stanie posiadania okazów, aby tworzenie nowej oferty było opłacalne, może teraz wysyłać e-mailową ofertę do setek a nawet tysięcy ewentualnych klientów niemal bez żadnych kosztów. Oferować można nawet pojedyncze okazy, dodając ich kolorowe zdjęcia. Faktycznie ewentualny nabywca może poprosić o zdjęcie interesującego go okazu i otrzymać je po kilku minutach, a najwyżej godzinach. Proces masowej wymiany poczty elektronicznej doprowadził do kilku interesujących skutków. W porównaniu z czasami przedinternetowymi niekoniecznie są one nowe, ale są znacznie powiększone.

Szybkość elektronicznej komunikacji działa w dwóch kierunkach. Gdy e-mailowa lista oferowanych okazów jest wysyłana, staje się dostępna dla każdego z listy dystrybucyjnej mniej więcej w tym samym czasie, niezależnie od położenia geograficznego. Ponieważ większość meteorytów jest sprzedawana na zasadzie „kto pierwszy, ten lepszy", to nabywca jest zmuszony do błyskawicznego reagowania. Musi podejmować decyzję o zakupie okazu w ułamku sekundy. Meteorytowi dealerzy nie są uodpornieni na te efekty. To, jak szybko można oferować światu nowy okaz, jest odczuwalne, gdy wielu dealerów oferuje podobne okazy po drastycznie różnych cenach. Jak można się było spodziewać, doprowadziło to do oferowania okazów nie tylko jeszcze nie sklasyfikowanych, ale jeszcze nie do końca zakupionych przez dealera. Ponadto zapowiadanie meteorytów, które wkrótce będą do nabycia, pozwala dealerowi przyciągać uwagę nabywców, zanim jeszcze meteoryt opuści poprzedniego właściciela. W niektórych przypadkach pierwsze oferowane okazy są wielokrotnie droższe w porównaniu z oferowanymi po kilku tygodniach. Niedawno od pierwszej do ostatniej oferty internetowej tego samego meteorytu cena spadła 24-krotnie.

Przeciwieństwem błyskawicznych decyzji przy internetowych zakupach jest nowe zjawisko aukcji internetowych. Meteoryty wystawiane na aukcję grzęzną na całe tygodnie, ale nowością jest to, że każdy, z każdego zakątka świata, może oglądać, podawać swoją cenę i przebijać w ciągu sekund. Pewne skutki aukcji zmieniły oblicze przeciętnego kolekcjonera meteorytów. Jak wspomniano, zmiana wzorca pozwala każdemu zostać dealerem meteorytowym niezależnie od doświadczenia i reputacji. Ponadto ilość meteorytów oferowanych przez Internet pozwala na przebieranie w okazach podczas zakupów, co jeszcze kilka lat temu było niemożliwe. Wreszcie aukcje pozwalają nieograniczonej liczbie osób na walkę o posiadanie meteorytu w cyberprzestrzeni. Wydaje się, że spowoduje to, że ceny niektórych meteorytów wzrosną ponad wszelkie oczekiwania. Okazuje się jednak także, że e-mailowe wyścigi zostały nieco przyhamowane przez aukcje, gdzie wszystko, co trzeba zrobić, to przelicytować kogoś innego. W przeciwieństwie do wielkich aukcji w przeszłości bywa, że licytacyjna walka nie przekracza 20 dolarów.

Internet nie tylko zmienił zwyczaje przeciętnego kolekcjonera meteorytów, ale także zmienił sposób, w jaki okazy meteorytów zmieniają właścicieli. W przeszłości koszty reklamy powstrzymywały przed oferowaniem małych okazów. Dziś można oferować przez Internet okruszek chondrytu L6 za 2 dolary obok głównej masy za 5000 dolarów. Podczas gdy większość transakcji internetowych nie przekracza 50 dolarów, a często oscyluje wokół 20 dolarów, to cena internetowych okazów w przeliczeniu na gram jest znacznie wyższa w porównaniu z niedawnymi ofertami wysyłanymi pocztą.

Czas pokaże, czy dramatyczne skutki Internetu będą nadal zmieniać sposób kolekcjonowania meteorytów. Niektórzy dealerzy przepowiadają powrót do starych metod, inni twierdzą, że Internet to przyszłość. Podczas gdy wiele niedawnych opowieści o spadkach i znaleziskach meteorytów ma swoje odpowiedniki w przeszłości, to elektroniczna droga, na jaką wkraczają meteoryty w swych ziemskich podróżach, nie przypomina niczego, co przeżyły w poprzednich 4,6 miliardach lat swego istnienia.

Teraz moja kolej

Antarktyczny lód a pochodzenie tektytów

Charles B. Gilmore

Wiedząc, że większość meteorytyków woli teorię uderzeniowego, a nie pozaziemskiego pochodzenia tektytów, zastanawiałem się ostatnio nad następującym argumentem popierającym teorię uderzeniową. Przedstawienie tego argumentu może mieć pewne znaczenie dla meteorytyki, chociaż prawdopodobnie kwestia pochodzenia tektytów jest w zasadzie przesądzona. W skrócie argument przedstawia się następująco: na Antarktydzie znaleziono tysiące meteorytów. Gdyby tektyty spadały z kosmosu, to także powinny być znajdowane w obszarach, gdzie na antarktycznym lodzie leżą meteoryty. Brak tektytów na Antarktydzie jest silnym argumentem, że nie spadają one na Ziemię spoza atmosfery.

Zwolennik teorii pozaziemskiego pochodzenia tektytów mógłby odeprzeć ten argument w następujący sposób. Brak tektytów na antarktycznym lodzie nie jest dowodem, że tektyty nie pochodzą spoza Ziemi. Być może na Antarktydę nie spadł żaden deszcz tektytów. W historii Ziemi deszcze tektytów mogły być rzadkością i przypadkiem mogły omijać Antarktydę. Spadki tektytów mogły także występować na Antarktydzie i gdzie indziej w bardzo odległej przeszłości, powiedzmy pięć milionów lat temu. Uważa się, że najstarsze meteoryty znalezione na antarktycznym lodzie spadły zaledwie dwa miliony lat temu. Procesy wytwarzające tektyty mogły zakończyć się przed utworzeniem się antarktycznych pól lodowych. Mogą być na Antarktydzie tektyty, które przybyły z kosmosu, ale są one zagrzebane w starych warstwach skalnych nietkniętych przez lodowce.

Zwolennik teorii zderzenia z Ziemią mógłby odpowiedzieć na te argumenty następująco: owszem, być może przypadkiem żaden tektyt nie spadł na Antarktydę przez wiele milionów lat. Jednak wydaje się to mało prawdopodobne. Pojedyncze tektyty, gdyby spadały tak jak meteoryty, powinny być znajdowane na Antarktydzie. O ile mi wiadomo, obszary rozrzutu tektytów zawsze zawierają ogromne ilości tektytów, czego należałoby się spodziewać, gdyby te niezwykłe kamyki były wytwarzane przez potężne eksplozje po uderzeniu meteorytu. Jeśli na danym obszarze znaleziono wiele tysięcy meteorytów, to duże obszary objęte ruchami lodowców powinny sprzyjać osiadaniu tektytów i pojawianiu się ich na powierzchni wraz z meteorytami.

Ponadto nawet jeśli procesy poza Ziemią, które mogły wytwarzać tektyty, zakończyły się przed dwoma milionami lat, to niektóre tektyty wciąż powinny znajdować się w kosmosie, tak jak fragmenty komet czy planetoid, i okresowo, tak jak one, powinny wpadać w ziemską atmosferę. Jedynym wyjątkiem w tym rozumowaniu mogłoby być wytwarzanie tektytów przez wulkanizm księżycowy. W takim przypadku zwolennik księżycowego pochodzenia tektytów mógłby dowodzić, że wszystkie tektyty wytworzone przed milionami lat przez wyrzucenie z Księżyca, musiałyby spaść na Ziemię wskutek jej przyciągania.

Jednak teoria pochodzenia z wulkanów księżycowych ma poważne wady. Przynajmniej jedno z praw fizyki wymagałoby, aby w wyniku procesu wytwarzania i wyrzucania tektytów część ich spadała na powierzchnię Księżyca, a do dziś żadnego tam nie znaleziono. Przyjmując założenie, że wulkanizm księżycowy jest w zasadzie taki sam jak ziemski, należałoby się spodziewać, że wnętrza tektytów powinny bardziej przypominać ziemskie szkliwa wulkaniczne (zewnętrzne części byłyby stopione, tworząc coś w rodzaju skorupy obtopieniowej), ale struktura i skład tektytów różnią się znacznie od szkliwa wulkanicznego, co wskazuje, że albo szkliwo wulkaniczne, albo inna materia skalna uległa zasadniczej zmianie, aby wytworzyć tektyty. Jeśli zmiana była powodowana przez przelot szkliwa wulkanicznego przez ziemską atmosferę, to wnętrza tektytów, zwłaszcza dużych, powinny pozostać szkliwem wulkanicznym. Większość naukowców uważa, że wulkanizm księżycowy zakończył się dwa miliardy lat temu; cztery znane obszary rozrzutu tektytów mają nie więcej niż 35 milionów lat.

Brak tektytów na lub wewnątrz antarktycznego lodu w obszarach wysokiej koncentracji meteorytów powoduje, że wzrasta krytycyzm co do teorii pochodzenia tektytów spoza Ziemi. Jest to także argument przeciw twierdzeniu, że niektóre tektyty mogły powstać w wyniku stopienia krzemionkowej materii w meteorytach rozkruszonych podczas przelotu przez ziemską atmosferę. Z pewnością niektóre tektyty oddzielone od głównych mas meteorytu i ukształtowane przez ogrzewanie i siły aerodynamiczne w charakterystyczne formy tektytów byłyby znajdowane na antarktycznych pokrywach lodowych. Jednak nie są i jest to silny argument przeciw teorii pozaziemskiego pochodzenia tektytów.

Bediazyt. Czy został wyrzucony z krateru Chesapeake Bay?
Fot. A.S. Pilski

Relikty gwiezdnych wojen

Andrzej Kotowiecki

Od kilkunastu lat interesuję się zagadnieniami kosmosu, astronomii, UFO oraz wszelkiego typu nie wyjaśnionymi zagadkami na Ziemi. Zafascynowały mnie tektyty nie tylko z powodu ich różnych rodzajów, piękna i tajemniczego wyglądu, ale dlatego, że nie ma konkretnej, przyjętej przez świat nauki teorii ich pochodzenia. Jako prawnik i to o specjalizacji kryminalistycznej, postanowiłem przeprowadzić „śledztwo" w tej sprawie. Napisałem plan śledztwa i wszystkie możliwe wersje zdarzenia związanego z powstaniem tektytów, nawet takie, które początkowo wydawały mi się absurdalne, niemniej jednak możliwe. Czułem, iż nie należy szukać tutaj racjonalnego „naukowego" wytłumaczenia pochodzenia tektytów, gdyż takie dawno byłoby już znane, lecz należy podejść do tego w sposób niekonwencjonalny.

Na Ziemi odkryto ponad 150 kraterów uderzeniowych powstałych w różnych okresach historii. Skoro według najbardziej popularnej teorii tektyty zostały wyrzucone z dużych kraterów, to dlaczego nie występują w wielu regionach kuli ziemskiej, a tylko w kilku miejscach? Czy kratery na Ziemi muszą świadczyć tylko o uderzeniach naturalnych ciał kosmicznych, a nie np. sztucznych?

W hinduskich tekstach Sabhaporwan znaleźć można opisy najprzeróżniejszych konstrukcji kosmicznych od satelitów, do ogromnych, wielokilometrowych miast, które obracały się wokół własnej osi. Wiele starożytnych tekstów opisuje wojny kosmiczne. Czy nasi współcześni naukowcy nie widzą pozostałości tych wojen, które można zbadać, takich jak kratery? Czy taką namacalną pozostałością nie są tektyty?

Dlaczego nie znaleziono do chwili obecnej tektytów np. o wadze kilkuset kilogramów, skoro zgodnie z teorią uderzeniową bliżej krateru powinny być większe kawałki? To tak, jakby w przestrzeni kosmicznej rozpadła się od wybuchu i wysokiej temperatury szyba samochodowa „w drobny mak", a jej kawałki przybrały, pod wpływem wysokiej temperatury przy przelocie przez atmosferę, obecny kształt.

Wydaje mi się, że potwierdzeniem mojej teorii o pochodzeniu tektytów są, występujące w kraterze uderzeniowym Zhamanshin w Kazachstanie tektyty różnowiekowe, liczące 0,7; 1,2; 5,2 mln lat, podczas gdy krater został utworzony tylko 10000 lat temu. Wydaje się dla mnie wielce prawdopodobne, że sam statek kosmiczny zbudowany został około 5,2 mln lat temu i był modernizowany dwukrotnie, to jest 1,2 oraz 0,7 mln lat temu. Katastrofa natomiast nastąpiła około 10000 lat temu. Przyszłe szczegółowe badania tego krateru powinny przynieść więcej odkryć, gdyż po pierwsze katastrofa ta była nie tak dawno, a po drugie powinny zachować się z tej katastrofy artefakty. Chyba że zostały zabrane przez ekipy poszukiwawcze.

W roku 1973 została wydana w Indiach książka dotycząca zagadki lotów kosmicznych w starożytnych Indiach, oparta na rękopisie zatytułowanym VAIMANIKA SASTRA, odnalezionym w 1918 r. w bibliotece Barada Royal Sanskrit w Majsur, w Indiach. Rękopis ten opisuje aparaty latające typu: „wimana, rukma, sumdra i szokuna". Do najważniejszych wersetów zaliczyłbym wyjaśnienie budowy „wimana", do którego należy użyć 27 różnych rodzajów szkła. Do budowy niewielkich obiektów latających używano szkła według następującego opisu: „owe 12 oczyszczonych składników należy wymieszać w proporcji 5:3:5:1:10:10:11:8:7:2:6:1. Umieścić je w piecu do przetapiania mającym kształt lotosu i ogrzewanym węglem drzewnym. Należy go rozgrzewać do temperatury 323 stopni [...]. Efektem będzie szitaranjikaadarsa, czyli szkło zawierające w sobie chłód". Nasuwa się przypuszczenie, że praktycznie szkło to, jak tektyty, nie zawierało wody, czyli było chłodne — suche, a jednocześnie mogło przebywać długi czas w otwartej przestrzeni kosmicznej, gdzie panuje temperatura bliska absolutnemu zeru. Tekst ten jest również dowodem na poparcie mojej hipotezy o pochodzeniu tektytów.

Opracowany przeze mnie tekst oddaję do rozmyślań uważnemu Czytelnikowi, ale naprawdę wierzę głęboko, iż tektyty są namacalnymi częściami i odłamkami pojazdów kosmicznych budowanych przed milionami lat przez bogów i ludzi, którzy wykradali tajemnice tych pierwszych.

Od redaktora: Powyższy tekst jest streszczeniem znacznie obszerniejszego opracowania pod tytułem „Szkliwo nie z tej Ziemi. Relikty gwiezdnych wojen".

MOLDAVITES
very nice green tektites

- **samples normal**
- **museum quality available**
- **super prices**
- **cutting moldavites**
- **for big quantity discount**

E-mail **martaus@czechia.com**
Please see my WWW page at urle:
www.moldavites.net

Aleksandr MARTAUS
Podrouzkowa 1681
708 00 Ostrava - 8
Czech Republic

Oktaedryt Lake Murray — meteorytowa „skamieniałość”

O. Richard Norton

(Artykuł z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

Wiemy, że meteoryty są stare. Niektóre z nich, chondryty, zawierają składniki, które mogą być starsze niż mgławica słoneczna i samo Słońce. Mówimy o miliardach lat. Przetrwanie minerałów przez miliardy lat w stosunkowo pierwotnym stanie mówi nam, że w porównaniu z ziemskim środowiskiem, kosmiczne środowisko jest dość łagodne w długim okresie czasu. Jest czymś w rodzaju zamrażalnika, który przechował pierwsze powstałe minerały, które z kolei zostały uwięzione w tworzących się ciałach macierzystych chondrytów. Nazywamy je ziarnami reliktowymi i mogą one występować rozproszone w cieście skalnym, a nawet w chondrach pokazując, że są od nich starsze.

Ziemskie środowisko nie jest tak łaskawe dla meteorytów. Od momentu wylądowania na Ziemi czas ich życia jest ograniczony i mierzony w tysiącach lat. Nawet meteoryty znajdujące się w lodowcach Antarktydy nie mają więcej lat niż milion czy dwa, a ziemski wiek większości jest znacznie niższy. Na suchych, gorących pustyniach możemy spodziewać się, że meteoryty przetrwają nie więcej niż sto tysięcy lat zależnie od typu meteorytu. Na przykład meteoryty z Gold Basin w Arizonie są silnie zwietrzałe i przeobrażone chemicznie, co wskazuje, że zaszły już daleko na drodze do całkowitego uziemiowienia (terrestrializacji), a na terenie Gold Basin znajdują się zaledwie od 15 000, może 20000 lat. Po dalszych 20000 lat przestaną istnieć jako ciała niebieskie.

Cóż więc mówi nam to o prawdopodobieństwie znalezienia nietkniętego „skamieniałego” meteorytu, który wciąż zachowuje cechy kosmiczne, chociaż jest pogrzebany w skałach osadowych jak prawdziwe skamieniałości flory i fauny? Jest to mało prawdopodobne. Z literatury wiemy, że kilkanaście małych meteorytów kamiennych, o składzie przypuszczalnie chondrytowym (przed przeobrażeniem chemicznym), zachowało się w pokładach wapienia z okresu ordowiku, mających około 480 milionów lat. Znaleziono je w kopalni wapieni koło Brunflo, w Szwecji w 1980 roku. Nie zdziwiło nikogo, że wszystkie minerały krzemianowe zostały zastąpione przez kalcyt i baryt, a z oryginalnego meteorytu pozostał tylko chromit. Chociaż oryginalnych minerałów już nie ma, ich zastępowanie, głównie przez kalcyt, odbywało się tak precyzyjnie, że wciąż są widoczne oryginalne tekstury chondr, takie jak pasiaste oliwinowe i promieniste piroksenowe.

W kategoriach paleontologicznych te meteorytowe pozostałości można uznać zaledwie za śladowe skamieniałości. Duże meteoryty żelazne powinny mieć większe szanse przetrwania w odpowiednich warunkach. Ziemski wiek ogromnych meteorytów żelaznych, takich jak Cape York czy Hoba, wynosi prawdopodobnie kilka milionów lat, ale trudno uznać je za „skamieniałości”.

O meteorycie żelaznym Lake Murray z Oklahomy nie wspominają nawet najnowsze książki o meteorytach. Wydaje się, że jest on najlepiej strzeżonym sekretem meteorytyki. Po raz pierwszy usłyszałem o nim na początku tego roku na targach w Tucson. Edwin Thompson miał w samochodzie dużą płytę niezwykłego meteorytu żelaznego o nietypowej budowie oraz kilka mniejszych okazów zdobytych w wyniku wymiany z Instytutem Meteorytyki Uniwersytetu Nowego Meksyku. Historia tego meteorytu sięga do roku 1933, gdy pewien farmer, J. C. Dodson, zauważył osobliwy, zwietrzały kamień wystający z płytkiego wąwozu w piaskowcu na jego pastwisku. Nie przypominał on żadnego z pol-nych kamieni na tym terenie. Farmer uderzył go ciężkim młotem i stwierdził, że daje się kuć. Doszedł do wniosku, że jest to żelazo. Trudno uwierzyć, że przez kolejnych 20 lat nic się nie wydarzyło. W tym czasie Dodson ciągle próbował zainteresować kogoś kamieniem, gdyż był pewien, że jest to duży meteoryt żelazny. Potem farma Dodsona została wykupiona przez stan Oklahoma i stała się częścią Parku Stanowego Lake Murray koło Ardmore. Budowla w parku, zwana Wieżą Tuckera, została przekształcona

Młotek geologiczny jest oparty o częściowo odsłonięty meteoryt Lake Murray tkwiący w piaskowcu w miejscu jego znalezienia. Fot. Institute of Meteoritics.

w muzeum geologiczne, którym kierował młody geolog i paleontolog A. Allen Graffham. W lipcu 1952 r. Dodson odwiedził muzeum i powiedział Graffhamowi o swym znalezisku. Opowieść Dodsona wywarła duże wrażenie na Graffhamie, ale praca w muzeum nie pozwoliła mu na natychmiastowe rozpoczęcie badań. Po kilku tygodniach Graffham z Dodsonem udali się na miejsce znalezienia. Duża bryła wciąż tam się znajdowała, uwięziona w piaskowcu. Graffham natychmiast docenił wagę znaleziska. Była to duża bryła żelaza tkwiąca w nienaruszonej warstwie piaskowca datowanego na okres dolnej kredy. Meteoryt przykrywała 30-cm warstwa piaskowca, co wskazywało, że wylądował on w przybrzeżnej, słonej wodzie. Złoża tego piaskowca uformowały się około 110 milionów lat temu.

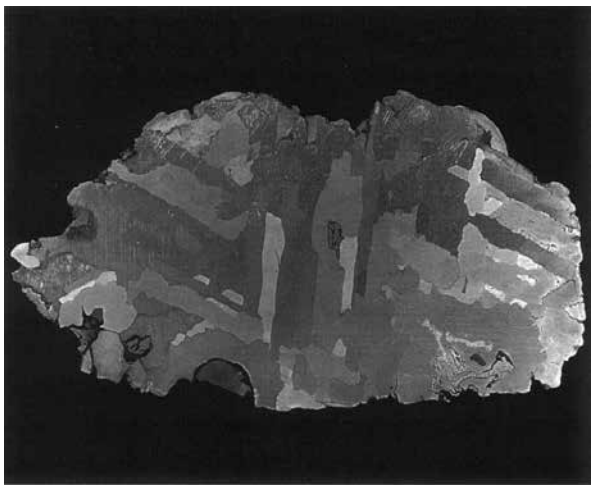
Graffham zadzwonił do dra Lincolna LaPaz, pierwszego dyrektora Instytutu Meteorytyki, i poinformował go o odkryciu. LaPaz już następnego dnia był na miejscu i potwierdził, że niezwykłe znalezisko to meteoryt. Czy możliwe, że zachował się choć kawałek pierwotnego żelaza? Bryła była otoczona dziesięciocentymetrowej grubości warstwą rdzawej materii, którą LaPaz nazwał oksydytem. To określenie, rzadko dziś używane, odnosi się do płatkowej, utlenionej materii wytworzonej w wyniku wietrzenia zewnętrznej części meteorytów żelaznych. Wiele kilogramów tej materii zwietrzało i utworzyło wokół meteorytu wieniec, zabarwiając otaczający piaskowiec i zbierając się na dnie wąwozu. Całą tę materię, około 450 kg, pieczołowicie zebrano starając się ocenić początkową masę meteorytu. Czy to możliwe, że ta gruba, rdzawa warstwa zapewniła w jakimś stopniu ochronę? Meteoryt zabrano do Instytutu, aby go przeciąć i odsłonięto stały, stosunkowo mało zwietrzały rdzeń ważący 254 kg. LaPaz ocenił później, że masa spadającej bryły wynosiła ponad 1300 kg. Według Buchwalda całkowita waga przed wietrzeniem chemicznym była około 500 kg. Po usunięciu utlenionych warstw rdzeń przybrał płaski, wydłużony kształt o wymiarach 60x40x23 cm. Stało się oczywiste, że Lake Murray jest najlepiej zachowanym i być może jedynym znanym „paleometeorytem żelaznym" na świecie, i o ile wiadomo autorowi, jest tak do dziś.

Pierwszym miejscem pobytu meteorytu było Muzeum Wieży Tuckera, dokąd zabrano go po wykopaniu. LaPaz chciał koniecznie go sklasyfikować i poprosił o odcięcie małego kawałka, około 7,5 cm^2, który zabrał do Instytutu, by go wytrawić. Fakt, że był to bardzo mały kawałek w porównaniu z gruboziarnistą teksturą, doprowadził do niedokładnej klasyfikacji. Gdy LaPaz wytrawił próbkę, stało się dla niego oczywiste, że nie był to typowy meteoryt żelazny. Przeważająca część okazu składała się z dużych, ziarnistych obszarów, co spowodowało, że LaPaz uznał Lake Murray za rzadko spotykany heksaedryt granularny, największy tego typu na świecie. Ta pierwsza ocena okazała się zbyt pochopna.

W grudniu 1952 r. zabrano meteoryt do Instytutu, aby przeciąć go na pół. Dopiero wytrawienie dużej powierzchni przekroju ujawniło rzeczywistą strukturę meteorytu. Lake Murray ma dwie struktury. Na pierwszy rzut oka są widoczne figury Widmanstättena oktaedrytu bardzo gruboziarnistego z paskami kamacytu o szerokości 5 – 12 mm. Jest to zgodne z zawartością niklu wynoszącą 6,3 %. (Dziś Lake Murray jest sklasyfikowany jako oktaedryt bardzo gruboziarnisty IIB o szerokości pasków 10 mm) Paski są poprzecinane równoległymi liniami Neumanna. Typowe heksaedryty są zwykle pojedynczymi kryształami i linie Neumanna przecinają całą wytrawioną powierzchnię. W Lake Murray każdy pasek kamacytu ma niezależny zestaw linii, odmienny od tych na sąsiednich paskach. W wielu miejscach linie Neumanna są słabe lub nie występują, co wskazuje na okresy znacznego ogrzania w przeszłości. Obszary z figurami Widmanstättena są ograniczone przez sąsiadujące z nimi duże obszary granularne, które dominują w meteorycie. Takie obszary granularne, chociaż nie występują tylko w Lake Murray, w innych meteorytach są rzadkością. Składają się z rdzenia z troilitu otoczonego schreibersytem, który z kolei jest otoczony przez grubą warstwę kamacytowej obwódki. Troilitowe bryłki mogą być dość duże, sięgające 30 mm średnicy, tak że łącznie z kamacytową otoczką całe ziarno może mieć średnicę 5 – 10 cm. Bardzo drobnoziarniste lamelki taenitu występują na granicach ziaren wraz ze schreibersytem, a czasem jako wstążki w paskach kamacytu. Schreibersyt często występuje w ziarnach granularnego kamacytu jako osobliwe, meandrujące, wydłużone i zaokrąglone bąble.

Lake Murray spadł w okresie wczesnej kredy. Okres kredy zakończył się 65 milionów lat temu zagładą dinozaurów i ponad 65% innych żyjących gatunków. Wiek piaskowca, w którym tkwił meteoryt, ocenia się na 110 milionów lat. Tak więc te dwa zjawiska dzieli 35 milionów lat. Czy możliwe, że Lake Murray jest fragmentem żelaznej planetoidy o średnicy 10 km, która zderzyła się z Ziemią, spadając na półwysep Jukatan? Można sobie wyobrazić, że planetoida, zbliżywszy się do Ziemi 35 milionów lat przed wielką katastrofą, rozpadła się wzdłuż istniejących wcześniej spękań. Lake Murray mógłby być pierwszym, ostrzegawczym sygnałem tego, co miało nadejść.

Autor pragnie podziękować Allenowi Graffhamowi za pomoc w opracowaniu historycznej części tej publikacji.



Płyta meteorytu Lake Murray z widocznymi figurami Widmanstättena oktaedrytu bardzo gruboziarnistego. Przestrzeń między paskami kamacytu wypełniają duże granularne obszary. Bryłka troilitu (u dołu z lewej) jest otoczona opaską kamacytu. Okaz ma 23 cm długości.

Widok na Krater Meteorowy z lotu planetoidy: Co czeka nas jutro?

Calvin Shipbaugh

(Artykuł z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

Okazy Canyon Diablo należą do najbardziej znanych meteorytów żelaznych. Z pewnością były to pierwsze meteoryty żelazne, jakie widziałem. Odpowiedzialne kolekcjonerstwo jest dla nauki bardzo cenne, ale znaczenie tych, czasem inkrustowanych diamentami, odłamków nie ogranicza się tylko do ozdabiania muzeum czy innej kolekcji. Jak chyba wszyscy meteorytofile wiedzą, istnieje większy skarb przyrody niż te oktaedryty, a jest nim krater związany z obszarem rozrzutu w pobliżu Canyon Diablo. Spośród kraterów uderzeniowych wyróżnia się on na pierwszy rzut oka.

Może pięćdziesiąt tysięcy lat temu dla miejsca, gdzie teraz z daleka widać krater, nastał bardzo zły dzień, gdy ponad dziesięć megaton energii spopieliło krajobraz. W ciągu kilku minut było po wszystkim, ale większość skutków zachowała się w dobrym stanie, tak że możemy je dziś obserwować i badać. Krater Meteorowy jest dziś atrakcją turystyczną. Niewątpliwie są jeszcze odkrycia naukowe z nim związane, które nas dopiero czekają, ale chyba największym odkryciem jest samo istnienie krateru jako struktury uderzeniowej.

Opowieści o badaniach Niningera i Barringera już dawno pobudziły mój apetyt. Najbardziej interesuje mnie fizyka zjawisk meteorytowych i zderzenia są dla mnie szczególną atrakcją. Najnowsze znakomite artykuły Paula Harrisa i Jamesa Tobina (w Meteorite Exchange na www.meteorite.com i gdzie indziej) dodatkowo pobudziły moje zainteresowanie kraterem. Zapragnąłem zobaczyć go i poznać jego sekrety osobiście. Zebrałem grupę naukowców, inżynierów i zainteresowanych analityków i wyruszyliśmy na krótki przegląd tego cudu natury. Standardową wycieczkę brzegiem krateru uzupełniliśmy obserwacjami z samolotu. Fizyk dr Michael Hynes i inżynier Rick Kujawa zrobili najlepsze zdjęcia z naszej grupy. Wynajęty odrzutowiec uniósł naszą ósemkę w górę, aby umożliwić obejrzenie miejsca zderzenia na tle otaczającego krajobrazu. Chwilowe uwolnienie się od regularnych rozkładów lotów linii lotniczych było w tym przypadku konieczne, ale i przyjemne.

Szczęśliwie mieliśmy tę przewagę nad wszystkimi dawniejszymi badaczami, którzy odczytywali przebieg zjawiska, prowadząc drobiazgowe badania terenowe, że mogliśmy tak wybrać kierunek, by zobaczyć prawdziwe miejsce uderzenia. Nasze podejście z północnego północnego zachodu z grubsza symulowało, według niektórych ocen, naziemną trasę podejścia niosącej zagładę żelaznej planetoidy (choć było niezgodne z innymi ocenami).[1] Oczywiście nie próbowaliśmy symulować kąta nachylenia. Wszyscy widzieliśmy publikowane zdjęcia krateru, ale nie przygotowały nas one do tego, co ujrzeliśmy na własne oczy. Krater z dość dużej odległości prezentował się jak ogromna plama na równinie. Były, oczywiście, w pobliżu inne fascynujące lub większe naturalne zagłębienia, jak Wielki Kanion, ale woleliśmy krater. Ogromna absolutna i względna głębokość krateru, chociaż do połowy wypełnionego, budziła grozę, świadcząc o sile uderzenia. Zwróciliśmy także uwagę na fakt, że brzeg wznosi się na dość znaczną wysokość, przekraczającą 30 metrów.

Krater pod nami był tylko przedsmakiem tego, co się stało i co może się zdarzyć ponownie. Chociaż zjawiska o największych konsekwencjach wywołują planetoidy i komety kilometrowej wielkości, które są globalnymi zabójcami, to jest prawdopodobne, że w odstępach kilku tysięcy lat, porównywalnych z czasem istnienia cywilizacji, a może nieco dłuższych, uderzają w naszą planetę mniejsze, lecz bardzo niebezpieczne obiekty. Możemy zastanawiać się, jakie jest niebezpieczeństwo, jakiej wielkości ciała są groźne i dyskutować o odpowiednich sposobach zmniejszenia zagrożenia z kosmosu. Jeden z naszych pilotów, Geoffrey Sommer, zajmuje się właśnie analizą sposobów postępowania i na ostatnim seminarium we Włoszech prezentował pracę na temat zagrożenia ze strony planetoid i komet.[2] Geoffrey bada problem: „Co teraz?", czyli co należałoby robić, gdyby pewnego dnia astronomowie znaleźli potencjalnie niebezpieczny obiekt. Nasza grupa miała szczęście, że mieszkamy tak blisko doskonale zachowanego krateru i możemy go bez trudu obejrzeć.

Chociaż roczne opady deszczu w kraterze są stosunkowo niewielkie, podczas planowania podróży w środku tegorocznego lata naszą uwagę zaprzątały burze w tej okolicy. Przyjechaliśmy w czasie, gdy niebo zasłaniało tylko trochę przyjemnych chmur na 3000 metrów. Daleko pod chmurami widać było, jak ich cienie bez przerwy przesuwają się przez krater. Naturalnie, staraliśmy się lecieć między ziemią a chmurami, gdy zaczęliśmy krążyć nad kraterem, poszukując dobrego widoku na ten element krajobrazu.

---

[1] „Air blast produced by the Meteor Crater impact event and a reconstruction of the affected environment", David A. Kring, *Meteoritics and Planetary Science*, (1997) Vol. 32, pp. 517–530.

[2] „Confirmed NEO Threats — Developing a Policy Framework", Geoffrey Sommer, RAND; przedstawiony na Impact Workshop, Turyn, Włochy, 1–4 czerwca 1999 r.

Ostrzegano nas przed ewentualnymi atmosferycznymi niebezpieczeństwami wytwarzanymi przez topografię krateru i znaliśmy historię pechowego przelotu samolotu, zakończonego rozbiciem się w kraterze w minionych latach. (Przewodnik pokazywał nam później fragment wraku, który pozostał w kraterze.) Na wszelki wypadek unikaliśmy bezpośredniego przelotu nad kraterem, mimo że miałem pełne zaufanie do samolotu i pilotów. Z naszego punktu obserwacyjnego mieliśmy doskonałe warunki do zdjęć. Wiele z nich miało tak dobrą rozdzielczość, że mogliśmy dostrzec stary kocioł na dnie krateru, obok białego piaskowca w środku. Byłoby pożądane dokładnie zbadać wnętrze krateru.

Kratery na całym świecie są nieustającym źródłem odkryć naukowych. Szkliwa impaktowe i inne skutki zderzeń, takie jak stożki uderzeniowe, mają wiele do powiedzenia. Krater Meteorowy jest tylko jedną z takich opowieści. Czy to w stosunkowo starym kraterze Aouelloul, czy w niemal współczesnym kraterze Wabar, jest wiele do zbadania. Szklane łzy i perły ze stosunkowo małego krateru Wabar zawsze wywierały na mnie wrażenie.

Krater Meteorowy jest chroniony jako park krajobrazowy. Bez pozwolenia nie można stamtąd zabrać najmniejszego kawałka skały (ani nie można zbierać meteorytów w jego okolicy bez pozwolenia właścicieli). Byłem zachwycony, że w sklepie z pamiątkami była przynajmniej jedna rzecz na sprzedaż — ziemia, w której można było szukać maleńkich okruszków meteorytu pozostałych po niemal całkowitym wyparowaniu planetoidy. Z woreczka, który kupiłem, zwykłym magnesem wyciągnąłem wiele potencjalnych okazów. Wciąż czekają one na nieunikniony test na zawartość niklu, który pewnego dnia zrobię z ciekawością.

Gdy wszystko już powiedziano i zrobiono, wrażenie zrobił dodatek do naszego naukowego wykształcenia, jaki zafundował nam ten dzień na początku sierpnia. Ostatnie deszcze uszczęśliwiły nas wyjątkową szansą zobaczenia krateru rozkwitającego zielenią roślin. Dla mych oczu było to o wiele przyjemniejsze niż sterylne obrazy na większości zdjęć, które

Oto on — taki jak we wszystkich książkach. Chociaż na tej czarno-białej reprodukcji tego nie widać, dno krateru było w rzeczywistości zielone. Fot. Rick Kujawa.

widziałem wcześniej. Ten niemal bujny rozwój zieleni na dnie krateru stanowił ostry kontrast z całkowitym zniszczeniem, jakie nastąpiło w momencie uderzenia planetoidy dawno temu. Tego dnia nie było wątpliwości — nawet z daleka, z góry — że krater znajduje się na planecie, na której istnieje życie.

Nasza grupa zakończyła dzień, ciesząc się z niezwykłego przeżycia. Moje myśli powędrowały z Arizony nad Podkamienną Tunguską i przyszło mi do głowy dość ponure pragnienie. Niech następne wielkie zderzenie, jakiego ludzkość doświadczy, będzie bardziej podobne do tej lokalnej eksplozji powietrznej czy jeszcze rzadszego krateru meteorytowego tego typu, który właśnie obejrzeliśmy. Prawdopodobnie, na co mam nadzieję, obudzi naszą czujność coś podobnego do tych zjawisk, zanim obiekt o średnicy setek czy tysięcy metrów rzeczywiście zniszczy nasze istnienie na lądach i morzach. Uderzenie jeszcze raz zdarzy się najprawdopodobniej w odludnym miejscu i będzie to „mały" obiekt, a nie coś o bardziej złowieszczych skutkach.

Nikt jednak nie wie tego na pewno. Musimy przynajmniej wspierać badania zagrożeń ze strony dużych obiektów, grożących zniszczeniem, oraz analizy możliwości obrony. Ziemia musi zrozumieć potrzebę obrony planety.

Dopiero stojąc na brzegu krateru, można odczuć ogrom zjawiska.

Fatalny deszcz meteorytów w XII-wiecznym Iranie

Hossein Alizadeh Gharib

(Artykuł z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4. Copyright © 1999 Pallasite Press)

W listopadowym numerze „Meteoritics" z 1994 roku Yau, Weissman i Yeomans wspominali o kilku nieszczęśliwych wypadkach uderzeń przez meteoryty, zapisanych w chińskich kronikach. Alfredo Brogioni także opisywał w *Meteorite!* bardzo interesujący przypadek śmierci od uderzenia meteorytu. Podczas poszukiwań struktur uderzeniowych w Iranie odkryłem kilka świeżych, nienaruszonych, prostych kraterów o średnicach od 100 do 300 metrów, które sprawiały wrażenie tak młodych, że stwarzało to nadzieję na znalezienie związku między kraterami a jakimś obserwowanym, historycznym superbolidem.

Wynikiem moich poszukiwań w ogromnym zbiorze perskich kronik i dzieł meteorologicznych, astronomicznych i literackich (w większości jeszcze w postaci rękopisów) było odkrycie ponad 100 przypadków zjawisk bolidów oraz spadków i deszczów meteorytów, wraz z następującym wypadkiem, który spowodował śmierć ludzi.

Mohammad-e-Mahmood-e-Ahmad-e-Toossi w swym wielkim dziele zatytułowanym *Ajayeb-ol-Makhlooghat* („Cudowne zjawiska"), które jest encyklopedią cudów zapisanych w latach 556–573 A.H. (1160–1177 A.D.) w rozdziale zatytułowanym „O spadających kamieniach „ pisze:

„...i przystępujemy do spisania innego rozdziału o deszczach kamieni i czy kamienie mogą spadać z nieba czy nie..."

Następnie wspomina szereg przypadków spadków meteorytów i dochodzi do tego zjawiska:

„...i słyszałem od osoby godnej zaufania, która powiedziała mi: „siedziałem w cieniu w Qazvin (100 km na południe od Morza Kaspijskiego), gdy ukazał się obłok z grzmotem, następnie w cień upadł kamień, potem drugi, oba identyczne. Byłem ciekaw, skąd one przybyły. Następnie doszły wieści, że w Hoosam (dzisiejsze Rud Sar, miasto w północnym Iranie na brzegu Morza Kaspijskiego) spadł deszcz kamieni i znaczna liczba osób została zabita."

Być może był to ten sam incydent, który nieznany autor *Sovar-ol-Aghalim* („Oblicza lądów"), geograficznego opisu średniowiecznego świata spisanego w roku 748 A.H. (1347 A.D.) opisał w czwartym rozdziale swej księgi:

„...i pewien człowiek opowiedział, że widział w Qazvin, iż kamień spadł na ziemię z błyskawicą..."

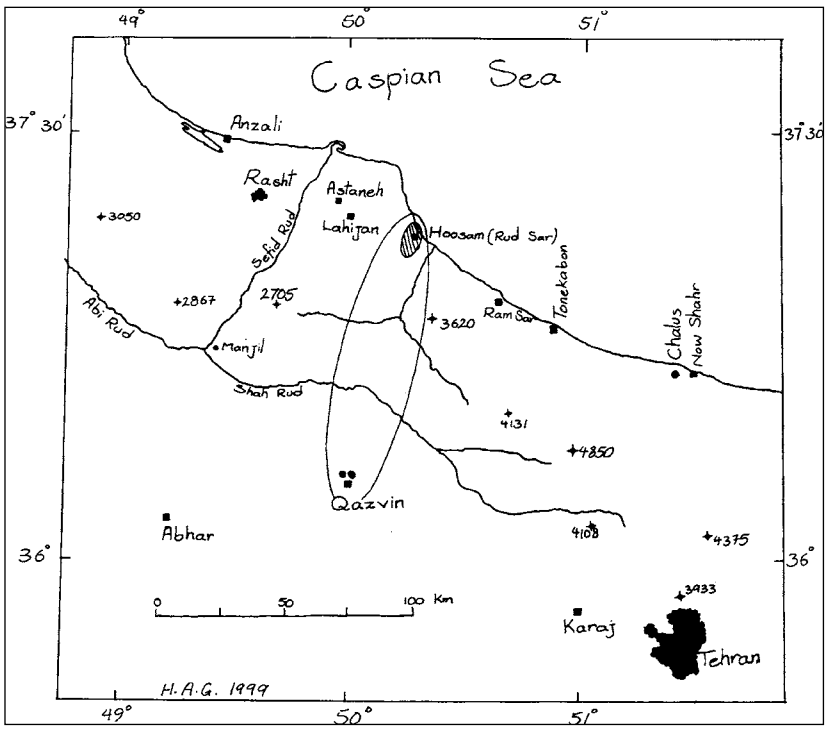
Wydaje się, że opowieści o spadkach meteorytów w Iranie rozchodziły się szeroko przynajmniej w świecie południowej Azji, co jest oczywiste na podstawie następującej opowieści w *Sovar-ol-Aghalim* o osobliwej rozmowie między Persem a Hindusem:

„...Pewnego razu khorassański (z prowincji Khorassan w północno-wschodnim Iranie) kupiec w Indiach zobaczył kogoś siejącego i spytał: — „Co siejesz?" — „Żelazo!", odpowiedział [Hindus]. Kupiec spojrzał zdumiony. Hindus powiedział: — „Czyż jest to dziwniejsze od tego, że w twoim kraju, jak mówią ludzie, z nieba spadają kawałki kamieni?"

Deszcz meteorytów Hoosam jest co najmniej o trzy stulecia wcześniejszy od deszczu meteorytów Ch'ing-yang, który spadł w Chinach w 1490 roku, a o którym wspominał Yau ze współpracownikami.

Znane są także niektóre inne przypadki bardzo dawnych uderzeń meteorytów w Persję, o których napiszę w przyszłych artykułach.

Iran Meteoritical Society



Przypuszczalna elipsa rozrzutu deszczu meteorytów Hoosam w XII-wiecznym Iranie. Ogromne rozmiary obszaru rozrzutu sugerują, że deszcz ten był podobny do deszczu meteorytów Allende w 1969 r. Relacja Toossi'ego wspomina o spadaniu „kamieni" z nieba, a nie brył żelaza. Według rękopisu z X wieku ludzie nazywali meteoryty „cegłami z nieba".

Spytaj geologa

odpowiada Bernard Spörli

Publikacja z kwartalnika Meteorite! Vol. 5 No. 4.
Copyright © 1999 Pallasite Press

1. ***Co to są żelaziste formacje wstęgowe i jakie jest ich znaczenie?***

Żelaziste formacje wstęgowe są cienko uwarstwionymi skałami osadowymi, składającymi się głównie z minerałów krzemionki i żelaza. Z reguły mają więc zabarwienie czerwone lub rdzawe. Chociaż niektóre z tych skał powstały w innych okresach ziemskiej historii geologicznej, to największe ilości żelazistych formacji wstęgowych osiadły w archaiku i wczesnym proterozoiku (od około 4000 do 2000 milionów lat temu), dając początek ogromnym złożom rud żelaza w Ameryce Północnej, Brazylii, Rosji i Australii Zachodniej.

Dlaczego te bogate w żelazo skały powstawały głównie w początkach historii Ziemi? Żelaziste formacje wstęgowe powstawały jako osady otwartego oceanu. Aż do wczesnego proterozoiku ocean dominował na powierzchni Ziemi a kontynentów było niewiele i były one małe. Z powodu większej ilości ciepła i innych efektów aktywność wulkaniczna w owym czasie była znacznie silniejsza niż dziś. Związane z nią otwory geotermalne wyrzucały do morskiej wody ogromne ilości żelaza i krzemionki.

W późniejszym czasie dawny globalny ocean rozwarstwił się na dolną część ubogą w tlen i górną, natlenioną. Dolna warstwa była w stanie przechowywać ogromne ilości rozpuszczonego żelaza i krzemionki. W miejscach, gdzie woda z głębin była wynoszona na wyższy poziom, żelazo i krzemionka wytrącały się. Proces ten został spotęgowany przez powstanie we wczesnym proterozoiku dużych kontynentów z rozległymi szelfami. Zniknięcie ogromnych żelazistych formacji wstęgowych 2000 milionów lat temu oznacza moment, w którym ocean został w wyniku mieszania całkowicie natleniony wskutek gwałtownego wzrostu ilości tlenu w atmosferze z powodu wzrostu aktywności biologicznej.

2. ***Słyszałem, że Ayers Rock w Australii jest nazywana „głazem narzutowym". Jak to jest możliwe, skoro ma ona ponad 3,5 km długości i 300 metrów wysokości?***

Istotnie, nie może to być głaz narzutowy. Głazy narzutowe to bloki skalne, które zostały przetransportowane na pewną odległość przez lodowiec. Chociaż w innych częściach Australii w okresie permu (ok. 250 milionów lat temu) występowało zlodowacenie, to w sąsiedztwie Ayers Rock nie ma żadnych jego śladów. Chociaż niektóre głazy narzutowe mogą być większe od domu, to wielkość Ayers Rock znacznie przewyższa największe znane bloki transportowane przez lodowiec. Jeśli spojrzymy na mapę geologiczną, zobaczymy, że Ayers Rock jest niczym innym jak izolowaną wychodnią całkowicie otoczoną przez młode, pustynne osady. Jest ona częścią bardziej rozległej jednostki geologicznej, formacji Mount Currie, która wyłania się także dalej na zachód w postaci innego widowiskowego obszaru, Mount Olga. Przy skale Ayersa jednostka ta składa się z czerwonego piaskowca, natomiast Mount Olga tworzą zlepieńce. Osady te zostały naniesione przez rzeki w okresie kambru, około 550 milionów lat temu, a następnie przechylone w czasie deformacji środkowego dewonu (380 milionów lat temu). Orientacja warstw między Mount Olga i Ayers Rock jest wciąż ciągła. Ayers Rock jest klasycznym przykładem „inselberg" (góry wyspowej, czyli ostańca — przyp. tłum). Utwory te, typowe dla tropikalnych pustyń, są spowodowane początkowym nieregularnym wietrzeniem podpowierzchniowym jednorodnej masy skalnej i późniejszym nadaniem kształtu przez erozję podczas wydźwigania terenu.

Od redaktora: Ayers Rock jest świętą górą Aborygenów. Jej zaokrąglone kształty i brak roślinności sprawiają, że istotnie wygląda na gigantyczny głaz narzutowy.

3. ***Czy reakcje jądrowe (z udziałem uranu) mogą zachodzić w naturalny sposób? Czytałem, że znaleziono na Ziemi miejsce występowania takich reakcji. Czy mogły one stanowić źródło ciepła dla Ziemi czy nawet planetoid?***

Możliwość istnienia naturalnych reaktorów jądrowych przewidywano na podstawie rozważań teoretycznych w latach pięćdziesiątych, ale dopiero w roku 1972 odkryto dowody zachodzenia takich procesów w Oklo i w pobliżu Bangombe w Gabonie. Próbki z niektórych kopalni uranu w tym obszarze były zubożone w izotop ^{235}U czyli „paliwo reaktorowe", który musiał zostać użyty w reakcji łańcuchowej. Rudy zostały nagromadzone w osadach dawnych rzek, a następnie zostały wzbogacone podczas pękania skał. Powstanie węglowodorów z materii organicznej także pomogło w utrzymaniu reaktorów jądrowych na chodzie. Przy pomocy izotopów różnych pierwiastków uczestniczących w reakcjach można pokazać, że zjawisko wystąpiło 1950 milionów lat temu (we wczesnym proterozoiku). W owym czasie uran miał wyższą zawartość izotopu ^{235}U niż w późniejszym okresie ziemskiej historii, co także ułatwiało uruchomienie reakcji.

Dotychczas znaleziono 16 miejsc w tych złożach rudy, w których uran był w stanie osiągnąć masę krytyczną. Każde nie ma więcej niż 10 do 20 metrów długości i szerokości i mniej niż metr grubości. Czas działania reaktorów jądrowych waha się od 22 000 do 620000 lat. Oklo i Bangombe są wciąż jedynymi naturalnymi reaktorami znanymi na Ziemi. Podobnie wyglądające złoże uranu w Nabarlek, w Australii, nigdy nie osiągnęło masy krytycznej. Ponieważ występują one tak rzadko i są zależne od początkowego wzbogacenia przez procesy osadowe i od wielu sprzyjających warunków pozwalających im działać, naturalne reaktory jądrowe (te, w których neutrony wywołują rozszczepienie uranu) nie mogą być znaczącym źródłem ciepła dla żadnego stałego ciała planetarnego. Na Ziemi to spontaniczny rozpad izotopów promieniotwórczych w cienkiej warstwie u podstawy płyt tektonicznych — astenosferze — jest jednym z głównych źródeł ciepła.