

METEORYT

Nr 1 (93)

Marzec 2015

ISSN 1642-588X

W numerze:

- Nowe wyniki i perspektywy badania meteoratów
- Wewnątrz Westy
- Wieloimpaktowość na granicy K-T
- Tyrania utleniania
- Nowy polski meteorat



METEORYT

kwartalnik
dla miłośników meteorytów

ISSN 1642-588X

Wydawca:

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

tel. (89) 533 49 51

opioa@planetarium.olsztyn.pl

konto:

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

Kwartalnik jest dostępny głównie w prenumeracie. Roczna prenumerata wynosi w 2015 roku 48 zł. Zainteresowanych prosimy o wpłacenie tej kwoty na konto wydawcy nie zapominając o podaniu czytelnego imienia, nazwiska i adresu do wysyłki. Wydawca dysponuje także numerami archiwalnymi.

Niektóre publikowane artykuły są tłumaczone z kwartalnika METEORITE za zgodą jego wydawcy, który zachowuje prawa do tych artykułów.

Redaguje i tłumaczy większość tekstów:

Andrzej S. Piłski

skr. poczt. 6

14-530 Frombork

tel. kom. 696 805 247

aspmet@wp.pl

Redakcja techniczna
i skład komputerowy:

Jacek Drażkowski

Druk: Studio Martin, Lidzbark W.

Od Redaktora:

Chciałbym rozpocząć od podziękowań dla autorów, bez których pracy ten numer nie mógłby się ukazać. Wykorzystałem wprawdzie jeszcze dwa teksty z „Meteorite”, ale resztę musiały wypełnić własne materiały. Na wdzięczność zasłużyli: Wiesław Czajka, Janusz W. Kosiński, Tomasz Brachaniec, Jan Woreczko, Tomasz Jakubowski i Agata Krzesińska, którą specjalnie wymieniam na końcu, by zwrócić uwagę na jej kolejne osiągnięcie.

W tegorocznym, marcowym numerze *Meteoritics and Planetary Science* zauważyłem z przyjemnością artykuł „Impact-related noncoaxial deformation in the Pultusk H chondrite inferred from petrofabric analysis”, którego autorami są: Agata Krzesińska, Jérôme Gattacceca, Jon M. Friedrich i Pierre Rochette. Gratuluję!

Już kilka miesięcy temu zaplanowałem, że rok samodzielnego wydawania „Meteorytu” rozpoczniemy od mapy pokazującej miejsca w Polsce, które są, lub mogą być jakoś związane z meteorytami. Mapa ta w gruncie rzeczy pokazuje, co mamy jeszcze do zrobienia. Doświadczeni poszukiwacze meteorytów wciąż podkreślają, że jest mało prawdopodobne, aby wszystkie meteoryty, które spadły na dany teren, zostały wyzbierane. Warto też szukać w okolicach, gdzie zostały zaobserwowane zjawiska sugerujące spadanie meteorytów. Wszyscy wiedzą, że prawdopodobieństwo odnalezienia meteorytu jest znikome, ale sukcesy odnoszą ci, których ta wiedza nie zniechęca do prowadzenia poszukiwań. Dziękuję autorowi za przygotowanie tej mapy.

Mamy w tym roku do zapelnienia jeszcze trzy numery, więc zachęcam wszystkich, którzy mają coś ciekawego do przekazania i potrafią to robić w interesujący sposób, by znaleźli trochę czasu na przygotowanie artykułu. Jest tu miejsce i dla poszukiwaczy, którzy zechcą podzielić się doświadczeniami z pracy w terenie, i dla kolekcjonerów, którzy mają do napisania coś ciekawego o swoich zbiorach, i oczywiście dla badaczy, którzy mogą napisać coś o swej pracy w sposób mniej formalny niż w jakimś periodyku naukowym.

Zaskakujące odnalezienie na strychu w Siewierzu ładnego okazu meteorytu kamiennego niech będzie przypomnieniem, że meteoryty mogą kryć się także w innych zbiorach kolekcjonerów osobliwości, więc jeśli nadarzy się okazja rzucenia okiem na podobne zbiory u znajomych, czy też może wystawione na jakimś pchlim targu, to warto o takiej możliwości pamiętać. A o meteorycie z Siewierza być może uda się napisać więcej w następnym numerze.

Andrzej S. Piłski

Okladka: płytka odcięta z meteorytu z Siewierza. Fot. M. Cimala

Niżej: polska mapa spadków materii kosmicznej opracowana przez Wiesława Czajkę.



Czytelników prosimy o przysyłanie do redaktora wszelkich uwag dotyczących mapy, a zwłaszcza kolejnych przypadków wartych umieszczenia na mapie. Jedy-
nym warunkiem zgłoszenia kolej-
nych obiektów jest podanie źródła
pisanego, z którego pochodzi in-
formacja.

VIII SEMINARIUM METEORYTOWE

organizowane przez

Polskie Towarzystwo Meteorytowe

i Olsztyńskie Planetarium

i Obserwatorium Astronomiczne

Olsztyn, 24–25 kwietnia 2015 r.



Po więcej informacji zapraszamy
na odnowioną stronę PTMet:
www.ptmet.org.pl

Bibliografia do Mapy Spadków Materii Kosmicznej

Wiesław Czajka, Andrzej S. Piłski

Widoczna na okładce Mapa Spadków Materii Kosmicznej, której autorem jest Wiesław Czajka, przedstawia miejsca na terenie Polski, o których napisano, że są, lub mogą być, związane ze zderzeniem kosmicznego obiektu z naszą planetą. Obejmuje ona nie tylko znane spadki meteorytów, ale także miejsca, w których obserwowano zjawiska sugerujące, że coś spadło, ale niczego nie udało się znaleźć lub znalezisko zaginęło, miejsca znalezienia wyrobów wykonanych z meteorytów, przypuszczalne ślady uderzeń meteorytów w ziemię i znaleziska szkliv wytworzonych w wyniku uderzeń wielkich meteorytów. Do każdego miejsca zaznaczonego na mapie, wymienionego w kolejności alfabetycznej, jest podana co najmniej jedna publikacja, na podstawie której miejsce to zostało oznaczone na mapie. Poniższa bibliografia nie jest wyczerpująca i usprawiedliwia jedynie oznaczenie lokalizacji na mapie. Mapa przedstawia obecny stan wiedzy i w miarę pojawiania się nowych znalezisk i nowych źródeł informacji będzie uzupełniana.

Astroblem Kościerzyny — Doktor S., Graniczny M., Kucharski R. (1989), „Astroblem Kościerzyny” *Przegląd Geologiczny* Vol.37, No 11, p. 571–573.

Baszkówka — Meteoritical Bulletin No 78 (1995). *Meteoritics*, Vol. 30, No 6, p.792. Artykuły w *Geological Quarterly*, vol. 45(3), (2001).

Białystok — Grady M. M. (2000) *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 101. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Białystok”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 13–16.

Cieszyn — Karwowski Ł., Kotowiecki A. (2009) „Cieszyn — nowy polski meteoryt.” *Acta Societatis Meteoriticae Polonorum* Vol. 1, p. 48–51

Czestochowa Rakow I i II — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 162. Kotowiecki A. (2003) „Polskie zabytki wykonane z żelaza me-

teorytowego” II Seminarium Meteorytowe Olsztyn, p. 55–64.

Gaj — Pokrzywnicki J. (1964) „Spadek w Gaju”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 5 p. 122–124.

Gdynia — Pokrzywnicki J. (1964) „Spadek w Gdyni”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 124–125.

Gnadenfrei — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 218. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Piława Górna”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 71–72.

Grüneberg — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 224. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Wilkanówko”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 115–117.

Grzempach — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 224. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Grzempy”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 17–19.

Bolid Wielkopolski — Czajka W. (2010) „Rozważania na temat Bolidu Wielkopolskiego” *Meteoryt* Nr 3 (75) p. 7–9.

Jankowo Dolne — Karwowski Ł. (2004) „Nowy polski meteoryt: Jankowo Dolne” *Meteoryt* Nr 4 (52) p. 3–4.

Jerzmanowice — Manecki A. (1993) „Interesujące zjawisko w Jerzmanowicach z dnia 14.01.1993” *Meteoryt* Nr 1 (5) p. 2.

Jezierzyce Małe — Kotowiecki A. (2003) „Polskie zabytki wykonane z żelaza meteorytowego” II Seminarium Meteorytowe Olsztyn, p. 55–64.

Jezioro Racze — Kotowiecki A. (2004) „Czy jezioro Racze na wyspie Wolin może być kraterem meteorytowym?” III Konferencja Meteorytowa Poznań, p. 63–66.

Krater Frombork — Korpikiewicz H. (1980) „New Polish Meteoritic Crater „Frombork””, *Meteoritics*, Vol. 15, No 1, p. 63–67.

Krater Morasko — Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Morasko”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 49–70.

Krupe — Karwowski Ł. (2004) „I znowu Mateusz... Kolejny nowy polski meteoryt” *Meteoryt* Nr 4 (52) p. 26–28.

Krzadka — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 284. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Krząd-

ka”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 19–23.

Kuniewo — Słownik geograficzny Królestwa Polskiego i innych krajów słowiańskich, Warszawa 1883, p. 877. (<http://wiki.meteoritica.pl/index.php5/Kuniewo>)

Lechówka — Brachanec T. (2012) „Zagłada sprzed 65 mln lat zapisana w skałach, cz. II”. *Meteoryt* Nr 1(81) p. 10–12.

Łowicz — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 310. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Łowicz”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 5 p. 23–49.

Moldawity — Brachanec T., Karwowski Ł., Szopa K. (2013) „Pierwsze znalezisko polskich moldawitów”. *Acta Societatis Meteoriticae Polonorum* Vol. 4, p. 37–38.

Morasko — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 341. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Morasko”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 49–70. „Morasko. Największy deszcz meteorytów żelaznych w Europie środkowej”. (2012). Praca zbiorowa. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

Oborniki Wlkp. — Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Oborniki”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 70–71.

Ostrzeszów — Pokrzywnicki J. (1964) „Spadek pod Ostrzeszowem”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 125–138.

Podgrodzie — *Meteoritical Bulletin* No 89 (2005). *Meteoritics and Planetary Science*, Vol. 40, p.A221–A222

Pułtusk — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 413. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Pułtusk”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 77–105.

Ratyn — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 422. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Ratyn”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15 p. 05–107.

Sagan — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 436. Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Dąbrowa Łużycka” *Studia Geologica Polonica*, Vol. 5 p. 117–122.

Schellin — Grady M. M. (2000). *Catalogue of Meteorites Fifth Edition*, p. 450.

Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Ska-
lin”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15
p. 107–108.

Schwetz — Grady M. M. (2000). *Cata-
logue of Meteorites Fifth Edition*, p. 450.
Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Świe-
cie”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15
p. 114–115.

Seelägen — Grady M. M. (2000). *Cata-
logue of Meteorites Fifth Edition*, p. 452.
Pokrzywnicki J. (1964) „Meteoryt Przela-
zy”. *Studia Geologica Polonica*, Vol. 15
p. 74–77.

Sołtmany — *Meteoritical Bulletin* No 100
(2014). *Meteoritics and Planetary Science*,
Vol. 49, p.E1–E101. Artykuły w *Meteorites*
Vol. 2 (2012).

Struktura Podlesie — Czajka W. (2004)
„Struktura Podlesie—czy w Polsce znajduje
się wielki krater uderzeniowy?” *Przegląd
Geologiczny* Vol. 52 Nr 3 p. 229–232.

Sulechów — Pokrzywnicki J. (1964)
„Meteoryt Sulechów”. *Studia Geologica
Polonica*, Vol. 15 p. 109–112.

Świdnica Górna — Pokrzywnicki J. (1964)
„Meteoryt Świdnica Górna”. *Studia Geo-
logica Polonica*, Vol. 15 p. 113–114.

Święcany — *Meteoritical Bulletin* No 94
(2008). *Meteoritics and Planetary Science*,
Vol. 43, p.1571

Tartak — *Meteoritical Bulletin* No 103
(2015).

Trepcza — Kotowiecki A. (2003) „Polskie
zabytki wykonane z żelaza meteorytowe-

go” II Seminarium Meteorytowe Olsztyn,
p. 55–64.

Wietrznó-Bobrk — Grady M. M. (2000).
Catalogue of Meteorites Fifth Edition,
p. 525. Kotowiecki A. (2003) „Polskie
zabytki wykonane z żelaza meteorytowe-
go” II Seminarium Meteorytowe Olsztyn,
p. 55–64.

Zakłodzie — *Meteoritical Bulletin* No 78
(2000). *Meteoritics and Planetary Science*,
Vol. 35, p.A219. *Przylibski T., Zagożdżon
P., Kryza R., Pilski A.S. (2005) „The
Zakłodzie enstatite meteorite: Mineralo-
gy, petrology, origin, and classification”.*
Meteoritics and Planetary Science, Vol. 40,
p.A185–A200.



Oliwiny i pirokseny oraz tyrania utleniania

Alan Rubin

Artykuł ukazał się najpierw w *METEORITE*, Vol. 20, No.4. Copyright: Arkansas Center for Space and Planetary Sciences, 2014

Chondryty enstatytowe są sku-
piskami silnie zredukowanych
minerałów. Zawierają znaczne
ilości metalicznego żelaza, ale ich
krzemianowe fazy mają niewiele FeO.
Typowe dla enstatytu jest $\text{Fs}_{0,03}$. Po-
niważ w czasie formowania się tych
skał było do dyspozycji dość mało
wolnego tlenu, to kilka procent krzemu
pozostało w fazie metalicznej, w stopie
z żelazem. Wiele pierwiastków, które
normalnie, w bardziej utleniających
warunkach, łączą się z tlenem i wcho-
dzą w skład krzemianów, weszło
w mniejszym czy większym stopniu
w skład siarczków. Chodzi o takie pier-
wiastki jak sód, potas, wapń, chrom,
magnez, mangan i tytan. Jest jednak
inna, zwracająca uwagę cecha zrówno-
ważonych chondrytów enstatytowych
(EH5-6 i EL5-6) — nie zawierają one
oliwinu.

Na przeciwnym krańcu widma
utleniania znajdują się chondryty
R. Te skupiska silnie utlenionych
minerałów zawierają bardzo mało
metalicznego żelaza, ale jest mnóstwo
FeO w krzemianach. Typowy skład
oliwinu to Fa_{40} ; te ziarna oliwinu
zawierają także małe ilości NiO.
W niektórych przypadkach Fe(III)

występuje w magnetycie. Ważną cechą
silnie zrównoważonych chondrytów R
jest to, że zawierają one bardzo mało
niskowapniowego piroksenu; niektóre
meteoryty (np. Y-793575) nie zawie-
rają go wcale.

Duże wahania stosunku oliwinu
do niskowapniowego piroksenu wi-
dać także w chondrytach zwyczaj-
nych. Idąc od najbardziej utlenionych
do najbardziej zredukowanych ty-
pów stosunek ten zmienia się od 3,6
w chondrytach LL do 2,0 w L i do 1,4
w chondrytach H.

Co z bogatymi w wapń piroksena-
mi — augitem i diopsydem? Chociaż
są one rzadkością w chondrytach
enstatytowych, to w chondrytach
zwyczajnych i chondrytach R mają
one dość stały udział, średnio ~6%
w chondrytach H, L i LL oraz ~5%
w typowych chondrytach R.

Z obserwacji tych wynikają dwa
interesujące problemy geochemiczne:
(1) Co powoduje, że zawartość oliwinu
i niskowapniowego piroksenu zmienia
się ze stopniem utlenienia? i (2) Dla-
czego zawartość diopsydu zmienia się
w znacznie mniejszym stopniu?

W miarę zwiększania się stopnia
utlenienia więcej metalicznego Fe

przekształca się w FeO. Zwiększa
to stosunek dwuwartościowego ka-
tionu Fe^{2+}/Si , co ułatwia tworzenie
się oliwinu $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ (który ma
stosunek 2:1) kosztem niskowapnio-
wego piroksenu $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ (który
ma stosunek 1:1). Przeciwny proces
dotyczy silnie zredukowanych chon-
drytów enstatytowych. Gdy więcej
FeO jest przekształcane w metaliczne
Fe podczas redukcji, to stosunek
dwuwartościowego kationu Fe^{2+}/Si
zmniejsza się, ułatwiając formowa-
nie się niskowapniowego piroksenu
(o stosunku 1:1) kosztem oliwinu
(o stosunku 2:1).

W przeciwieństwie do tego zmiany
stopnia utlenienia nie mają większego
wpływu na ilość piroksenu wapnio-
wego. Jest tak dlatego, że w umiarko-
wanie i silnie utlenionych skałach Ca
jest rozdzielony głównie pomiędzy
diopsydem a plagioklazem. I piroksen
wapniowy i plagioklaz zawierają mało
FeO i dlatego zmiany stosunku Fe/
FeO w całej skale podczas procesów
redox mają na nie niewielki wpływ.
Średnie modalne ilości piroksenu
wapniowego i plagioklazu w chondry-
tach R (~6 i ~12%) są dość podobne
do ilości w chondrytach zwyczajnych

(~6 i ~10%). To podobieństwo jest odzwierciedlone w ogólnym składzie chemicznym tych skał: np. $\text{Ca}/\text{Al} = 1,06$ w Rumuruti, obserwowanym spadku chondrytu R, wobec 1,07 średnio w chondrytach L; $\text{Ca}/\text{Mg} = 0,089$ w Rumuruti wobec 0,087 średnio w chondrytach L.

Niedobór diopsydu w (silnie zredukowanych) chondrytach enstatytowych jest wynikiem rozdzielenia Ca pomiędzy plagioklaz i siarczek wapnia (CaS — oldhamit), tak że pozostało niewiele Ca mogącego dołączyć do piroksenu.

Uzbrojeni w te wyjaśnienia możemy przewidywać zawartość oliwinu i niskowapniowego piroksenu w zrównoważonych członkach innych grup meteorytów.

Przyjrzyjmy się na przykład acapulcoitom. Te meteoryty są bardziej zredukowane niż chondryty zwyczajne i mają typowy skład oliwinu Fa4-12. Oczekiwalibyśmy więc, że mają one stosunek oliwinu do niskowapniowego piroksenu mniejszy niż 1,4 wartości dla chondrytów H. Oczekiwalibyśmy także, iż acapulcoity mają niezaniechanne ilości piroksenu wapniowego. Nasze oczekiwania się

potwierdzają: stosunek oliwinu do niskowapniowego piroksenu jest w tej grupie średnio około 0,6, a zawartość piroksenu wapniowego jest ~4–5%.

Przejdźmy w górę skali utleniania i zbadajmy zrównoważone chondryty CK. Ich ziarna oliwinu zawierają dość dużo FeO , średnio około Fa31. Magnetyt występuje w każdej próbce. Spodziewalibyśmy się, że chondryty CK mają stosunek oliwinu do piroksenu niskowapniowego wyższy niż chondryty LL (które mają średnią wartość Fa 29 i stosunek 3,6); oczekiwalibyśmy także, iż chondryty CK zawierają znaczące ilości piroksenu wapniowego. Nasze oczekiwania znów się potwierdzają: stosunek oliwinu do niskowapniowego piroksenu jest w chondrytach CK rzędu 10; w rzeczywistości w niektórych chondrytach CK (np. EET 83311, LEW 87009, LEW 87214) niskowapniowego piroksenu zupełnie nie ma. Jednakże te same meteoryty zawierają kilka procent piroksenu wapniowego.

Ponieważ nadal odnajdywane są meteoryty na Antarktydzie i na Saharze, a na pustyniach odkrywane są nowe obszary ich występowania, to w końcu pojawią się nowe grupy

chondrytów. Możemy spodziewać się, że oliwiny i pirokseny w nowych członkach tych grup będą podlegały tyranii utleniania. Zredukowane grupy będą miały dużo piroksenu niskowapniowego i mało oliwinu; utlenione grupy wręcz przeciwnie. I, z wyjątkiem silnie zredukowanych skupisk zawierających oldhamit, możemy oczekiwać kilkuprocentowej zawartości piroksenu wapniowego.

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



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



Badania meteorytów. Nowe wyniki i perspektywy

Agata Krzesińska

W ostatnich latach można zauważyć, że meteorityka bardzo dynamicznie zmienia swój charakter. Przestaje być nauką o „skałach z przestrzeni kosmicznej”, a w zamian staje się dziedziną geologii konkretnych, osiągalnych ciał Układu Słonecznego. Dzieje się tak dzięki licznie napływającym wynikom z misji kosmicznych. Badania wykonane w różnych obszarach Układu Słonecznego z jednej strony pozwalają nam usankcjonować połączenie pomiędzy planetoidami, planetami karłowatymi czy planetami a poszczególnymi grupami meteorytów. Z drugiej strony, wyniki misji kosmicznych, często zaskakujące, stawiają nowe pytania, prowokują do

intensywnych poszukiwań nowych meteorytów i zmuszają do coraz bardziej wysublimowanych badań laboratoryjnych czy eksperymentalnych nad meteorytami, tymi znanymi wcześniej i tymi dopiero odnalezionymi.

Realnym środowiskiem geologicznym i bezdyskusyjnym ciałem macierzystym meteorytów stała się Westa. Od czterdziestu lat bardzo prawdopodobny był związek tej planetoidy z meteorytami klanu howardyt-eukryty-diogenity (HED). Dziś jest to już fakt naukowy, potwierdzony przez misję Dawn (NASA). Sonda Dawn swoją podróż na Westę rozpoczęła we wrześniu 2007 roku, a eksplorację planetoidy zakończyła w październiku

2012 roku. Misja dostarczyła szczegółowej charakterystyki fizycznej, geomorfologicznej i fotometrycznej Westy, a także informacji o składzie chemicznym i mineralnym tego ciała. Uzyskane informacje pokazują, że meteoryty HED wyrzucone były z obszaru basenu Rheasilvia, znajdującego się w okolicach południowego bieguna Westy. Ten ogromny basen, o średnicy bliskiej średnicy całej planetoidy, jest skutkiem wydarzenia impaktowego w miejscu, gdzie istniał wcześniejszy krater impaktowy (Veneneia). Dzięki tej superpozycji możliwe było odsłonięcie skał z głębokich partii westańskiej skorupy i płaszcza, znanych nam jako diogenity. Wyniki misji Dawn

pokazują, że w rzeczywistości materiał podobny do diogenitów obecny jest tylko na dnie basenu Rheasilvia oraz w otaczających osadach post-impaktowych. Natomiast na całej powierzchni Westy widoczny jest materiał howardytowy, który prawdopodobnie reprezentuje regolit.

Dane grawitacyjne okolic basenu Rheasilvia (uzyskane przez instrument GRaND) wskazują ponadto, że diogenity mogą być fragmentami głębokiego plutonu magmowego. Pluton w geologii to magma, która w dużej objętości wniknęła w wyższe partie skorupy i tam zastygła. Alternatywnie diogenity mogą też być skałami płaszczowymi, ale wówczas musiałyby być ukryte pod grubszą westańską skorupą.

Co więcej, dane nie pozostawiają wątpliwości, że Westa ma żelazne jądro podobnie jak planety typu ziemskiego. Jest to cenna informacja dla meteorityki, bowiem potwierdza wcześniejsze wyniki badań zapisu paleomagnetycznego eukrytów oraz interpretację, dlaczego eukryty są zubożone w pierwiastki syderofilne (gr. lubiące metal). Badając eukryty naukowcy byli zgodni, że pierwiastki te musiały przemieszczać się ze skał skorupy właśnie do jądra metalicznego.

Zainteresowanym dotychczasowymi wynikami misji Dawn, powstałymi mapami Westy oraz tym, jak zmieniły one spojrzenie na achondryty HED, polecić można prace: Mc Sween, 2014; Ermakov i in., 2014; Bills i in., 2014; Jaumann i in., 2014.

Dane z misji Dawn w połączeniu z badaniami meteorytów z klanu HED dają nam szansę zrozumienia historii geologicznej Westy w stopniu, jakiego nie możemy oczekiwać dla żadnego innego ciała Układu Słonecznego. Zrozumienie geologii Westy wydaje się już być na tyle zaawansowane, że pozwala geologom na wskazywanie, że nie wszystkie meteoryty podobne do eukrytów pochodzą z tej planetoidy. Dla przykładu, badania izotopowe achondrytu bazaltowego Bunbura Rockhole (spadek: Australia, 2007) pokazują, że choć w składzie i strukturze podobny do eukrytów, pochodzi z innej zdyferencjonowanej planetoidy, prawdopodobnie A-881394 (Benedix i in., 2014).

Sonda Dawn po zakończeniu badań Westy skierowała się do Ceres — planety karłowatej będącej naj-



Fragment chondrytu CM2 Jbilet Winselwan. Fot. Tomasz Jakubowski.

większym obiektem w pasie planetoid. 13 stycznia 2015 roku Dawn przesłała pierwsze zdjęcia nawigacyjne Ceres, a 6 marca weszła na orbitę i rozpoczęła badania tej planety karłowatej.

Ceres najprawdopodobniej składa się z pierwotnej, bogatej w wodę materii Układu Słonecznego. Może misja ta pomoże w rozwiązaniu zagadek naukowych, jakie pojawiają się wokół chondrytów węglistych i ich ciał macierzystych. A w związku z nowymi znaleziskami tych chondrytów, pytań jest wiele.

Jednym z intrygujących znalezisk jest meteoryt Jbilet Winselwan (Sahara Zachodnia, 2013). Początkowo został zaklasyfikowany jako chondryt CM2. Od typowych chondrytów typu CM różni się jednak brakiem węglanów i bogatych w żelazo krzemianów warstwowych, czyli produktów zaawansowanych przeobrażeń z udziałem wody typowych dla chondrytów CM. Pod tym względem, a także swoim składem izotopowym, Jbilet Winselwan podobny jest do meteorytów Acfer 094, MAC 88107, MAC87300 czy Paris. Wydaje się, że wszystkie te chondryty są elementami pośrednimi pomiędzy chondrytami CM i CO. Grupy te różnią się od siebie stopniem utlenienia materiału oraz zaawansowaniem przeobrażeń minerałów spowodowanych przez obecność wody. Naukowcy podejrzewają, że chondryty tych grup, wraz z chondrytami CI, pochodzą z jednego ciała macierzystego i reprezentują różne fragmenty tego samego ciała, różniące się pierwotnie

ilością zagregowanego lodu wodnego (Grady i in., 2014).

Historia ciał macierzystych chondrytów węglistych może być jeszcze bardziej skomplikowana. Nowe badania nad niezgrupowanym achondrytem NWA 8186 (znaleziony w 2013) mogą sugerować bowiem, że pod powłoką uwodnionych skał chondrytów kryje się materiał zdyferencjonowany — żelazne jądro i krzemianowy płaszcz. Taką hipotezę pozwala postawić obserwacja achondrytu NWA 8186. Ma on strukturę niewątpliwie achondrytową, jest skałą zmetamorfizowaną i zrekrytalizowaną w wysokim stopniu. Geochemicznie i izotopowo (izotopy tlenu i chromu) jest jednak uderzająco podobny do chondrytów węglistych grupy CK. Naukowcy uważają więc, że może reprezentować reziduum z częściowego wytopienia chondrytów CK, które w takim modelu ciała macierzystego tworzyłyby części bliskie płaszczu. Nad płaszczem i nadległym materiałem typu chondrytu CK, w partiach zewnętrznej skorupy, znajdowałyby się niezmetamorfizowane, ale bardziej utlenione chondryty CV (Srinivasan i in., 2015).

Nowych danych możemy się spodziewać już wkrótce z analiz Ceres przez Dawn. A w nieco dalszej perspektywie nasza wiedza o chondrytach węglistych i ich ciałach macierzystych może się wzbogacić także dzięki dwom innym misjom. W grudniu 2014 pomyślnie została wystrzelona misja Hayabusa 2 (JAXA), a na rok 2016 zaplanowany jest start misji OS-

RIX-REx (NASA). Za cel obu misji obrane są planetoidy z grupy Apollo, dla Hayabusa 2 planetoida 1999 JU₃, o charakterystyce spektralnej ciał typu C a dla OSIRIS-REx planetoida typu B Bennu. Jeśli wszystko pójdzie zgodnie z planem, Hayabusa 2 dotrze do celu w lipcu 2018 roku, pobierze próbki regolitu planetoidy i powróci na Ziemię w grudniu 2020 roku.

Zagadnieniem, które chyba najbardziej nurtuje naukowców, jest pochodzenie wody i życia na Ziemi. Wiadomo, że Ziemia na początku swojej historii była zbyt gorąca, aby woda, która dziś obecna jest w oceanach, atmosferze a także skałach, mogła być zachowana od samego początku. Skoro więc została dostarczona później, naukowcy skierowali podejrzenia ku ciałom obecnie zawierającym uwodnione skały: kometom — ciałom znajdującym się na rubieżach Układu Słonecznego, w Obłoku Oorta lub Pasku Kuipera, oraz planetoidom z pasa między Marsem a Jowiszem. W określeniu pochodzenia wody pomocny jest jej skład izotopowy, gdyż wiadomo, że w zależności od miejsca powstania, woda może być wzbogacona lub zubożona w ciężki izotop wodoru (deuter) względem lżejszego (prot).

Istotnych nowych informacji dostarczyła w ostatnich miesiącach misja Rosetta (ESA), która weszła na orbitę jądra komety 67P/Czurimow-Gierasimienko (pochodzącej z Pasa Kuipera) i osadziła na jego powierzchni lądowik Philae. Rosetta rozpoczęła swoją misję w przestrzeni kosmicznej w marcu 2004 roku, w sierpniu 2014 roku pomyślnie zakończyła manewry wokół komety, a w listopadzie nastąpił historyczny moment lądowania.

Jednym z zadań tej misji było właśnie zbadanie składu izotopowego wody, jaka zawarta jest w minerałach tworzących jądro komety. Badania te pokazały, że stosunek deuteru do protu w wodzie z komety jest trzykrotnie wyższy niż w ziemskiej wodzie, co sugeruje, że komety z Pasa Kuipera są mało prawdopodobnym dostawcą wody na Ziemię. Wyniki tych, oraz wielu innych badań Rosetty, są już dostępne jako publikacje naukowe (np. Taylor i in., 2015; Altwegg i in., 2015). A w związku z dość zaskakującymi wynikami analiz wody z komety, naukowcy są zdania, że należy się

dokładniej przyjrzeć planetoidom, bo być może to im, i pochodzącym z nich meteoritom, zawdzięczamy wodę i życie na Ziemi.

Badania zawartości i składu wody przeprowadzono już wstępnie dla angrytów — najstarszych znanych bazaltów Układu Słonecznego. Analizy meteorytów D'Orbigny i Angrados Reis pokazują, że budujące je kryształy oliwinu zawierają śladowe ilości wody. Są to nieznaczne ilości, ale sugerujące, że stop z którego krystalizowały angryty musiał zawierać około 1% wody (Sarafian i in., 2015). Co więcej, istotne ilości wody są zawarte w fosforanach angrytów. Woda zamknięta w strukturze fosforanów jest wzbogacona w deuter względem wody w skałach ziemskich, a więc i tu nie można stawiać wniosków w kwestii dostawy wody na Ziemię. Interesującym i nieco sprzecznym z założeniami jest to, że fosforany angrytów powstały 4,5 mld lat temu (datowania metodą Pb-Pb), raptem 2–4 mln lat po krystalizacji inkluzji wapniowo-glinowych — najstarszych minerałów w Układzie Słonecznym, a wtedy raptem tworzyły się planetezymale (Sarafian i in., 2015). Pokazuje to, że woda agregowała do ciał macierzystych bardzo wcześnie i pomimo historii geologicznej tych ciał przetrwała na nich przez miliardy lat. Czy więc nie mogła przetrwać także na Ziemi?

Coraz więcej dowodów mamy także na to, że Mars nie jest wcale planetą pozbawioną wody. Z jednej strony pozwala o tym sądzić interpretacja danych dostarczonych przez misję Mars-Express (ESA) wysłaną

w czerwcu 2003 roku i od grudnia 2013 roku dostarczającą coraz to nowych danych. Już w styczniu 2004 roku ESA ogłosiła odkrycie lodu wodnego obecnego w czapie lodowej na południowym biegunie Marsa. W ostatnim czasie, dodatkowych, przekonujących dowodów dostarczają także analizy meteorytów marsjańskich. Bezcennym źródłem informacji jest shergottyt Tissint (obserwowany spadek w Maroku, 2011). Woda jest obecna w zauważalnych ilościach w strukturze budujących ten meteoryt oliwinów i piroksenów, które na Ziemi są uważane za minerały raczej bezwodne. Naukowcy są zdania, że Tissint powstał z krystalizacji stopu bazaltowego bogatego w marsjańską wodę magmową. Inne meteoryty marsjańskie nie zawierają takich ilości wody bo prawdopodobnie została ona uwolniona w późniejszej ewolucji, np. podczas wydarzeń impaktowych. Najnowsze wyniki badań nad shergottytym Tissint można znaleźć w pracy Bałta i in., 2015.

Nie bez znaczenia dla meteorityki są też badania eksperymentalne i analogowe. W ostatnim czasie opublikowano wyniki, które zmuszają do przemyślenia raz jeszcze sposobu pojmowania, jak formował się Układ Słoneczny i jak powstawały planety.

Naukowcy przeprowadzili symulacje zderzeń impaktowych jakie mogły zachodzić we wczesnej historii Układu Słonecznego, podczas formowania się planet. Zauważono, że gdy prędkość zderzenia dwóch protoplanet przekracza 2,5 km/s (9 000 km/h), stopiony w wyniku impaktu materiał tworzy „chmury”, w których warunki



Przekrój przez diogenit NWA 7464. Fot. Tomasz Jakubowski.

termiczne i chemiczne pozwalają na utworzenie się chondr (Johnson i in., 2015). Wbrew dominującym poglądom, chondry nie musiały więc powstawać w mgławicy protosłonecznej. Co najbardziej istotne, obfitość pyłu skalnego w takich „chmurach” powstałych przy zderzeniach dobrze tłumaczy obecny skład chemiczny minerałów chondr, znacznie lepiej niż tłumaczył to model nebularny. Przeprowadzony eksperyment w jasny sposób potwierdza to, co od lat sugerowali będący w mniejszości badacze tacy jak Hutchison czy Sanders. Eksperyment ten nasuwa istotną interpretację, że skoro chondry tworzyły się jako „produkty uboczne” z formujących się planet, to meteoryty i planetoidy nie są pozostałościami pierwotnego, „nie zużytego” materiału skalnego. Istotnie, w symulacji pokazano, że wydarzenia impaktowe na tworzących się planetach mogły prowadzić do wyrzucenia materiału w ilości wystarczającej do tego, aby po zagregowaniu powstały z niego dziesiątki asteroid. Planetoidy i meteoryty mogą więc być zagregowanymi zlepkami tego wszystkiego, co zostało wyrzucone podczas tworzenia się planet.

Zapewne ta teoria będzie musiała przejść wiele testów naukowych. Jeśli jednak przejdzie przez nie pozytywnie, to podręczniki o ewolucji materii skalnej we wczesnym Układzie Słonecznym będą musiały być poprawione.

Bibliografia:

Altwegg K., Balsiger H., Bar-Nun A., Berthelier J. J., Bieler A., Bochsler P., Briois C., Calmonte U., Combi M., De Keyser J., Eberhardt P., Fiethe B., Fuselier S., Gasc S., Gombosi T. I., Hansen K.C., Hässig M., Jäckel A., Kopp E., Korth A., LeRoy L., Mall U., Marty B., Mousis O., Neefs E., Owen T., Rème H., Rubin M., Sémon T., Tzou C.-Y., Waite H., Wurz P., 2015: 67P/Churyumov-Gerasimenko, a Jupiter family comet with a high D/H ratio. *Science* 347: 1261952

Balta J.B., Sanborn M.E., Udry A., Wadhwa M., McSween H.Y., 2015: Petrology and trace element geochemistry of Tissint, the newest shergottite fall. *Meteoritics and Planetary Science* 50: 63–85.

Benedix G. K., Bland P. A., Reddy S. M., Timms N. E., 2014: Mapping Geologic Processes in Bunburra Rockhole. 77th Annual Meeting of the Meteoritical Society. Abstract 5296.

Bills B.G., Asmar S.W., Konopliv A.S., Park R.S., Raymond C.A., 2014: Harmonic



Fragment shergottytu Tissint z widoczną strukturą wewnętrzną. Fot. Tomasz Jakubowski.

and statistical analyses of the gravity and topography of Vesta. *Icarus* 240: 161–173.

Ermakov A.I., Zuber M.T., Smith D.E., Raymond C.A., Balmino G., Fu R.R., Ivanov B.A., 2014: Constraints on Vesta's interior structure using gravity and shape models from the Dawn mission. *Icarus* 240: 146–160.

Grady M.M., Abernethy F.A.J., Verchovsky A.B., King A.J., Schofield P.F., Russell S.S., 2014: The Jbilet Winselwan Carbonaceous Chondrite 2. Light Element Geochemistry: Strengthening the Link Between CM and CO Meteorites?. 77th Annual Meeting of the Meteoritical Society. Abstract 5377.

Jaumann R., Nass A., Krohn K., Stephan K., McCord T.B., Williams D.A., Raymond C.A., Blewett D.T., Heisinger H., Yingst R.A., De Sanctis M.C., Palomba E., Roatsch T., Matz K.-D., Preusker F., Scholten F., Russell C.T., 2014: The geological nature of dark material on Vesta and implications for the subsurface structure. *Icarus* 240: 3–19.

Johnson B.C., Minton D.A., Melosh H.J., Zuber M.T., 2015: Impact jetting as the origin of chondrules. *Nature* 517: 339–343.

McSween H.Y., 2014: HED meteorites in the Light of Dawn. 77th Annual Meeting of the Meteoritical Society. Abstract 5002.

Sarafian A.R., Nielsen S.G., Berger E.L., Gaetani G.A., Hauri E.H., Messenger S.M., Richter K., Lapen T.J., Sarafian E., Monteleone B.D., Marschall H.R., 2015: Wet Angrites? A D/H and Pb-Pb Study of Silicates and Phosphates. 46th Lunar and Planetary Science Conference. Abstract 1542.

Srinivasan P., McCubbin F.M., Agee C.B., Ziegler K., Sanborn M.E., Yin Q.-Z., 2015: Petrologic and Isotopic Classification of Ungrouped Achondrite NWA 8186: Implication for a CK.CV Asteroidal Origin. 46th

Lunar and Planetary Science Conference. Abstract 1472.

Taylor M.G.G.T., Alexander C., Altobelli N., Fulle M., Fulchignoni M., Grün E., Weissman P., 2015: Rosetta begins its Comet Tale. *Science* 347: 387.

Adresy oficjalnych strony internetowych poświęconych omawianym misjom kosmicznym:

Dawn: <http://dawn.jpl.nasa.gov/>

OSIRIX-REx: http://www.nasa.gov/mission_pages/osiris-rex/

Hayabusa 2: <http://www.jspec.jaxa.jp/e/activity/hayabusa2>

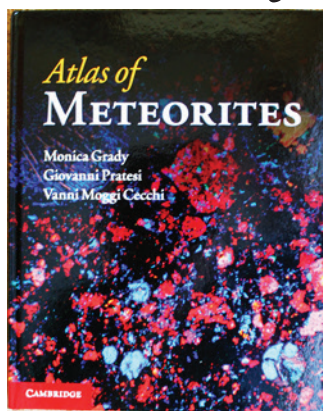
Rosetta: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Mars Express: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mars_Express



Agata Krzesińska pracuje w Instytucie Nauk Geologicznych PAN. Zajmuje się badaniami meteorytów i swoją uwagę kieruje ku rekonstrukcji procesów i wydarzeń impaktowych. W szczególności interesuje się wpływem tych wydarzeń na tworzenie się planetoid i planet.

RECENZJA



Monica Grady, Giovanni Pratesi, Vanni Moggi Cecchi (2014) Atlas of Meteorites. Cambridge University Press

Kupiłem sobie prezent pod choinkę. Nie to, żebym nie dostał prezentów od św. Mikołaja — byłem grzeczny i dostałem. I nie były to ani skarpetki, ani wspomagacze pamięci. Prezenty były bardzo miłe, ale ten jeden kupiłem sobie sam. Miałem go kupić już dwie Gwiazdki temu, ale nie był dostępny ani wtedy, ani rok później. Ale już jest: „Atlas of Meteorites”. Czy warto było czekać? O tym za chwilę.

Nasz rynek wydawniczy pomimo narzekania, że coraz mniej osób czyta książki (czyli i mniej kupuje) nie wygląda źle — nawet małe księgarnie oferują duży wybór książek, nie wspominając o internetowych sklepach i serwisach aukcyjnych, gdzie można kupić niemal wszystko. Spotykamy też sporo pozycji popularno-naukowych, chociaż mam wrażenie, że poziom edytorski w dużej części z nich nie idzie w parze z poziomem merytorycznym (na niekorzyść tego drugiego). A gdy chcemy kupić książkę napisaną/przetłumaczoną fachowo, na dobrym poziomie, dla bardziej wymagającego (merytorycznie) odbiorcy? Tu zaczynają się problemy — takich książek jest na naszym rynku bardzo mało... Niewidzialna ręka rynku działa: małe nakłady — duże koszty — mała opłacalność... a ile osób kupi? Może kupiłoby więcej, gdyby była informacja (reklama?), lepsza dystrybucja, niższa cena. Ale tego wszystkiego nie sposób pogodzić. I koło się zamyka.

Pozostaje więc uczyć się języków obcych (głównie angielskiego) i... korzystać z bogatej oferty wydawnictw zagranicznych. Na szczęście przez wspomniany Internet można kupić niemal wszystko — książki też. Dla

mnie jednak nic nie zastąpi chwili, gdy wchodząc do ulubionej księgarni, gdzie wiem, że zawsze znajdę coś ciekawego, widzę już z daleka na półce z szyldem NOWOŚCI książkę, na którą długo czekałem...

Przepraszam za ten pewnie przydługi wstęp, ale książki są niezwykle ważną częścią mojego życia i pomimo że mam ich w swojej bibliotece sporo, pojawienie się nowej pozycji nadal budzi we mnie emocje. Tak było i tym razem.

„Atlas of Meteorites” to książka, którą powinien mieć każdy miłośnik meteorytów i każdy, nawet już bardzo doświadczony badacz meteorytów (i bezwzględnie każda biblioteka nie tylko naukowa, ale nawet większa publiczna). Ktoś zapyta: to naprawdę taka świetna książka, zrozumiała dla każdego i zupełnie bez wad? Nie. Ale ma zaletę, która przysłania wady: jest. I domyślam się dlaczego tak długo powstawała: zebranie i weryfikacja wyników najnowszych badań meteorytów, zaprezentowanie ich w zrozumiałej, ale nie trywialny sposób, wykonanie i dobranie odpowiedniego materiału ilustracyjnego (reprezentatywnego, ale niebanalnego) nie było na pewno łatwe. Ale przecież autorzy to nie nowicjusze: Monica M. Grady, wieloletnia szefowa działu meteorytów w londyńskim Muzeum Historii Naturalnej, autorka „Catalogue of Meteorites”, obecnie profesor Open University; Giovanni Pratesi, dyrektor Muzeum Historii Naturalnej Uniwersytetu we Florencji, autor wielu badań oraz ponad 100 opracowań na temat meteorytów; Vanni Moggi-Cecchi, kurator Muzeum Nauk o Układzie Słonecznym w Prato, autor kilkudziesięciu publikacji dotyczących meteorytów — taki zespół zapewnia wysoki poziom publikacji oraz doświadczenie w przekazywaniu niełatwych czasami w zrozumieniu informacji. O wysoki poziom edytorski zadbało Wydawnictwo Uniwersytetu w Cambridge.

Książka ma układ, można powiedzieć, klasyczny. Na początku mamy więc wprowadzenie do świata meteorytów, ich klasyfikację, omówienie najważniejszych składników oraz teorii na temat ich wieku, powstania i historii. A dalej... omówiono poszczególne klasy i grupy meteorytów: chondryty węgliste, chondryty zwyczajne, chondryty enstatytowe... brachinity, winonaity +

I AB + III CD, ureility... aż po meteoryty z Księżyca i Marsa. Co ważne poszczególne grupy meteorytów omówione są według pewnego schematu, co łatwo pozwala znaleźć poszukiwane informacje czy porównać określone właściwości meteorytów z różnych grup. Tak przygotowane rozdziały książki uzupełnione są o reprezentatywną literaturę oraz zdjęcia meteorytów ukazujące szczegóły ich budowy (minerały, struktura) w niewielkich powiększeniach (rzędu 2–10×). Każda seria zdjęć opatrzona jest komentarzem,

Książka nie jest „porywająca”, może nawet jest „nudna”? Ale zgromadzenie w jednym miejscu usystematyzowanych informacji z dodatkowym, świetnie przygotowanym i wyselekcjonowanym materiałem fotograficznym, to strzał w dziesiątkę. A po co taka książka miałaby znaleźć się w każdej większej bibliotece? A chociażby po to, by muzea geologiczne, instytucje badawcze nie były zasypywane tonami polnych kamieni. By granity, bazalty, zlepieńce i piaskowce spokojnie spoczywały sobie na skalniakach. By każdy, kto zainteresuje się tym, jak wygląda i z czego składa się WŚRODKU meteoryt, nie mając takiego okazji pod ręką mógł go zobaczyć — zdjęcia wykonane w powiększeniach charakterystycznych dla zwykłej lupy świetnie się do tego nadają, a i zaawansowanym meteorytofilom taki systematyczny przegląd meteorytów zapewne się przyda.

Wydawnictwo ma z naszego punktu widzenia dwa mankamenty. Pierwszym jest to, że jest w języku angielskim, ale w dzisiejszych czasach to coraz mniej problem — edukacja i potrzeby codzienności współczesnego świata zrobiły swoje. Drugim jest niestety cena książki. W Foyles Bookshop (113-119 Charing Cross Rd, London) gdzie kupiłem swój egzemplarz, musiałem zapłacić 95 funtów z podobizną królowej Elżbiety II (ok. 535 zł). [W tej samej księgarni i wydana przez to samo wydawnictwo, również w twardej oprawie i z taką samą ilością stron „Encyklopedia od Meteorites” R. Nortona kosztowała 30 funtów szterlingów; ale to było już 10 Gwiazdek temu...] W polskim Internecie pierwsze egzemplarze kosztowały nawet 660 zł; w styczniu można było książkę kupić za 580 zł... Drogo. Ale zdecydowanie warto.

Janusz W. Kosiński

Wieloimpaktowość na granicy K/T?

Tomasz Brachanec

Ostatnie wielkie wymieranie w dziejach Ziemi miało miejsce ok. 65 mln lat temu (rys. 1), na końcu mezozoiku a początku kenozoiku. Wyeliminowanych zostało wtedy wiele rodzajów zwierząt, na czele z amonitami oraz dinozaurami.

Istnieje kilka hipotez na temat przyczyn wymierania, choć za najpopularniejszy uznaje się impakt Chicxulub. Datowanie wykazało, że olbrzymi 180 kilometrowy krater uderzeniowy, znajdujący się na płw. Jukatan, jest równowiekowy z wymieraniem K/T. Obecne badania tamtej katastrofy opierają się głównie na analizie geochemicznej osadów sprzed 65 mln lat. Występuje w nich tzw. anomalia irydowa, czyli anomalne nagromadzenie irydu, który wykazuje duże zawartości w ciałach kosmicznych. W 1980 roku Luis Walter Alvarez stwierdził taką anomalię we włoskim Gubbio (rys. 2) i jako pierwszy na świecie powiązał masowe wymieranie z kosmicznym impaktem, co zostało powszechnie zaakceptowane. W tym samym roku na podstawie wielkości

krateru obliczono, że asteroida miała ok. 11 km średnicy. Za alternatywę dla pozaziemskiego czynnika wymierania z przełomu K/T uznaje się wzmożony wulkanizm. Ze względu na zbieżność czasową, za najaktywniejszy paleoobszar przyjęto płw. Dekanu. Powulkaniczne pokrywy bazaltowe osiagają tam nawet 2 km miąższości.

Wbrew powszechnie przyjętym teoriom, jakoby sam Chicxulub miał wyeliminować większość zwierząt na Ziemi, rozpoczęły się badania nad kilkoma innymi strukturami poimpaktowymi celem rozwiązania zagadki sprzed 65 mln lat. Wstępne datowania wykazały, że są one mniej więcej równowiekowe z astroblemą na Jukatanie. Stało się to podstawą do stworzenia teorii wielu impaktów (rys. 3).

Teoria ta zakłada, że olbrzymia asteroida rozpadła się na kilka fragmentów, z których każdy spadł w tym samym czasie, ale w innej części świata. Paleontolog dr. Sankar Chatterjee z Teksasu szczególnie uważnie badał olbrzymi 500-km krater znajdujący się w Indiach, któremu nadał nazwę Shiva, od imienia hinduskiej bogini

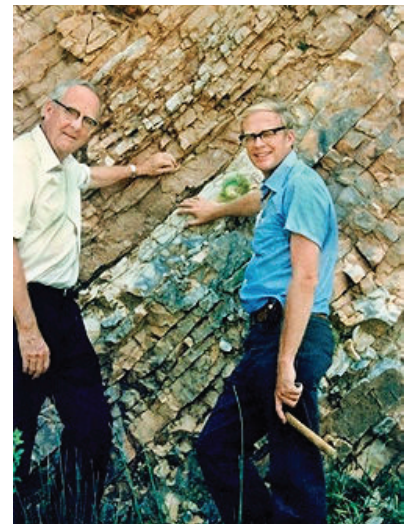
zniszczenia. Badania wieku struktury potwierdziły jego przypuszczenia, że to ten krater a nie Chicxulub może być odpowiedzialny za minioną katastrofę. Krater utworzony w dnie morskim, na skutek spreadingu (rozciągania dna morskiego) przybrał postać ły o wymiarach 600×400 km, a utworzyć miałyby go asteroida o średnicy nawet 40km. Eksplozja takiego impaktu byłaby 100 razy silniejsza od tej na Jukatanie. W indyjskich stanowiskach z osadami granicy K/T odnotowano wystąpienia wysokich stężeń irydu oraz kwarców zszokowanych powstałych w bardzo wysokich ciśnieniach pod pokrywą dawnych wylewów magmowych (rys. 4).

Czyżby więc intensywny wulkanizm Dekanu był skutkiem kosmicznego uderzenia? Idąc tym tropem pojawiły się przypuszczenia, że kolejnym efektem było powstanie ryftu, wzdłuż którego Seszele oderwały się od Dekanu.

Najnowsze badania wykazują, że zderzenie Chicxulub nastąpiło ok. 300 tys lat przed końcem mezozoiku. Oznaczałoby to, że w osadach z prze-

EON	ERATEM/ERA	SYSTEM/OKRES	ODDZIAŁ/EPOKA	MLN LAT	
FANEROZOIK	KENOZOIK	CZWARTORZĘD	HOLOCEN	1,8	
			PLEJSTOCEN		
		NEOGEN	PLIOCEN	23,5	
			MIOCEN		
			OLIGOCEN		
		TRZECIORZĘD	PALEOGEN	EOCEN	65
				PALEOCEN	
			KREDA	GÓRNA/PÓŻNA	
		DOLNA/WCZESNA			
		MEZOZOIK			

Rys.1. Ostatnie wielkie wymieranie wyznaczyło granicę między erą mezozoiczną a kenozoiczną.



Rys.2. Luis Walter Alvarez (po lewej) i Walter Alvarez przy granicy kredy i paleogenu we włoskim Gubbio. Źródło ilustracji: <http://www.nyteknik.se/incoming/article3070992.ece/BINARY/original/LuisWalterAlvarez1103.jpg>

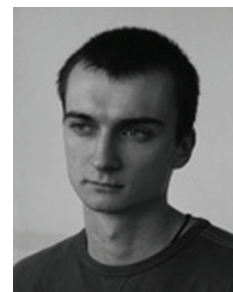
łomu K/T powinny znajdować się dwie anomalie irydowe — jedna z uderzenia jukatańskiego, druga ze zdarzenia Shiva. Mimo, że 300 tys lat to bardzo mało w geologicznej skali czasu, przez co 2 ewentualne anomalie mogły połączyć się w jedną, odnaleziono ich oddzielny zapis kopalny w miejscowości Anjar w północnych Indiach. Czy jest to wystarczający dowód na obalenie powszechnie przyjętej teorii jednego impaktu — na pewno nie. Jednak jest to znacząca poszlaka, że być może już niedługo świat naukowy będzie musiał zatwierdzić fakt, iż 65 mln lat temu miało miejsce ogólnoświatowe bombardowanie olbrzymimi ciałami kosmicznymi.

Literatura

Chatterjee, S., Guven, N., Yoshinobu, A., Donofrio, R. 2006. Shiva Structure: a possible KT boundary impact crater on the western shelf of India. *Museum of Texas Tech University Special Publications* 50: 39.

Rampino, M. R., Haggerty, B. M. 1996. The "Shiva Hypothesis": Impacts, mass extinctions, and the galaxy. *Earth, Moon, and Planets* 72: 441-460.

Tomasz Brachaniec jest doktorantem na Wydziale Nauk o Ziemi w Sosnowcu. Zajmuje się mineralogiczno-geochemicznymi aspektami granicy K/T oraz efektami szoku w meteorytach żelaznych.



Rys.3. Kratery wieku późno kredowego. Nr.1 — krater Chicxulub, Meksyk. Udział pozostałych impaktów (2-6) w wymieraniu K/T nie został jeszcze potwierdzony naukowo. Nr.2. — krater Silverpit, Morze Północne. Nr.3. — krater Boltys, Ukraina. Nr.4. — krater Shiva, Ocean Indyjski. Nr.5. — krater Eagle Butte, Kanada. Nr.6. — krater Vista Alegre, Brazylia.



Rys.4. Trapy Dekanu stanowiące świadectwo dawnej wzmożonej aktywności wulkanicznej. Źródło fotografii: wikipedia.org



Doniesienia z Wiki

Egzotyczna nazwa, egzotyczny „typ”

Jan Woreczko

Spośród europejskich meteorytów, ten nosi chyba jedną z najdziwniejszych nazw — *Mezö-Madaras*. Chyba tylko meteoryty z Finlandii mają nazwy brzmiące bardziej egzotycznie? Pod tą nazwą zarejestrowano w katalogach spadek deszczu meteorytów 4 września 1852 roku (sobota) w okolicy miejscowości Mădăraş w Rumunii. Przedrostek *Mezo* mógłby sugerować, że to meteoryt żelazno-kamienny, ale to nieprawda. Ponad 160 lat temu spadły w Rumunii „tylko” chondryty zwyczajne, ale za to bardzo rzadkiego typu L3.7. Tego typu meteorytów zarejestrowano dotąd tylko 25 (wyłączając znaleziska antarktyczne), wśród nich tylko kilka nie jest z pustyni, a spadki są tylko dwa.

Szczegółowy opis dotyczący okoliczności spadku zaświadczamy Wilhelmowi Knöpflerowi, człowiekowi o dość egzotycznej profesji — balnolog-geolog. Bolid z którego spadły meteoryty poruszał się w kierunku SW-NE. Towarzyszyły mu wybuchy i dudniące grzmoty. Deszcz meteorytów spadł w eliptycznym obszarze o długości ~10 km i ~4 km szerokości. Świadkowie pracujący w pobliżu jeziora *Isten* (*Isten-tó*), słyszeli świst i widzieli kamienie spadające do południowej części jeziora. Wielkość znajdowanych okazów w terenie rosła z kierunku SW na NE. Znalaziono ponad 60 okazów meteorytu o łącznej wadze około 28 kg. Największy o wadze 17 funtów 26½ łutów tzn. 9,984 kg, został wysłany do muzeum w Wiedniu, zapłacono za niego znalazcy 500 ówczesnych forintów. Mniejsze okazy trafiły do muzeum w Budapeszcie. W posiadaniu Wilhelma Knöpflera zostały trzy duże okazy o wagach: 8^{18/32}, 4^{26/32} i 3^{2/32} funtów (odpowiednio: 4,795, 2,695 i 1,155 kg). Ale według relacji spadło dużo więcej meteorytów (ok. 50–60 kg) niż zebrano.

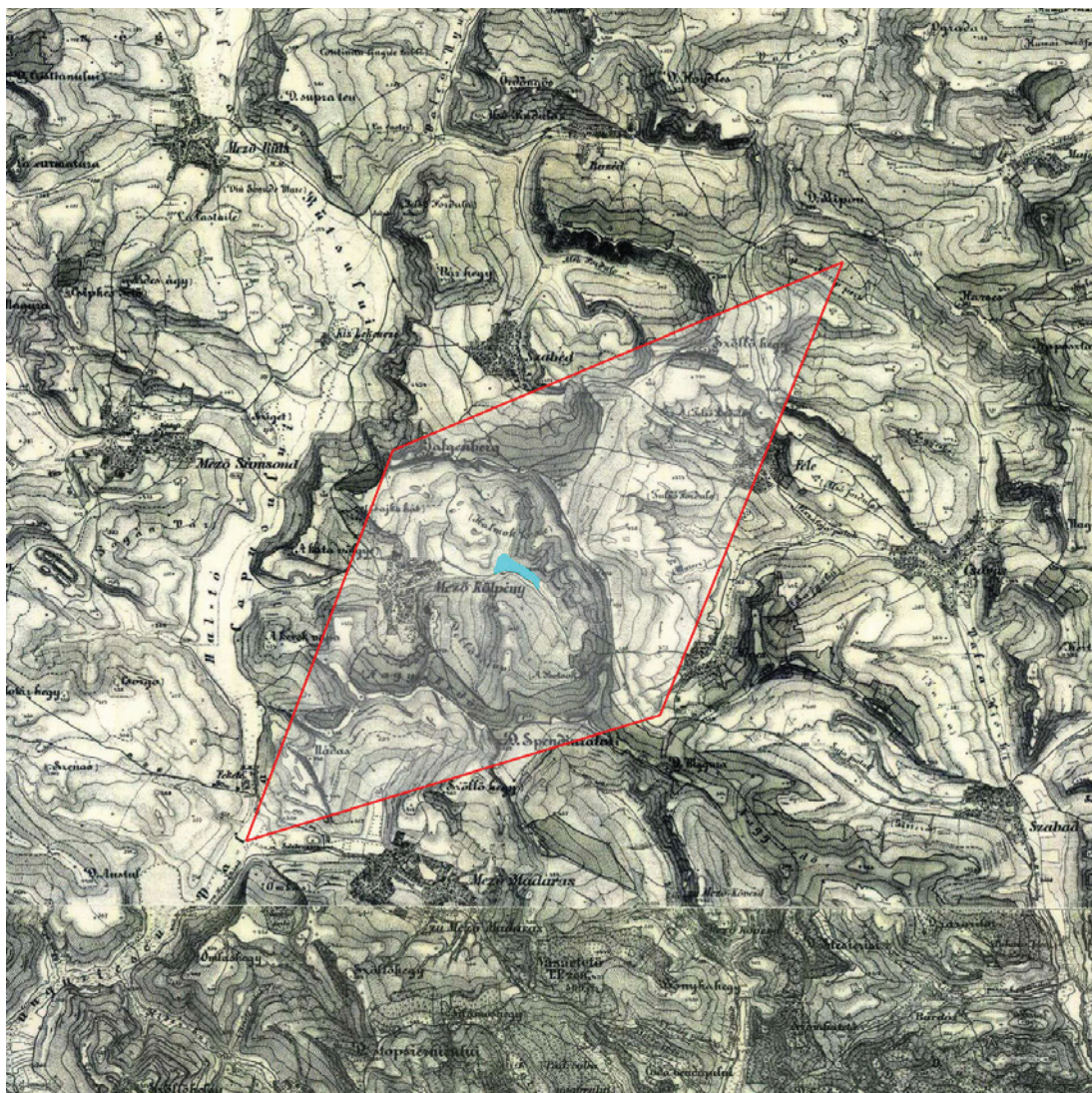
W katalogu meteorytów Grady (2000) podano błędnie lokalizację (46°30'N, 25°44'E) wskazującą na miasto *Mădăraş* (dawn. *Mezö-Madaras*) w regionie *Harghita*. Rzeczywisty rejon spadku znajdował się na północ od miasta o tej samej nazwie, ale leżącego w regionie *Mureş* na Równinie Transylwańskiej (węg. *Mezőség*). W relacji Knöpflera (1854) podano bliższe prawdziwe współrzędne jako: 46°57'N, 41°59' O.L.v.F. (*östliche Länge v. Ferro* — historyczny układ współrzędnych geograficznych), co odpowiada współczesnemu: 46°57'N, 24°19'E. Obszar spadku rozciągał się w kierunku SW-NE wokół jeziora *Lacul Culpiu* (określanego dawniej jako *Isten-tó* — *Boskie jezioro*).

Okoliczności spadku meteorytu *Mezö-Madaras* według Töröka (1882b) (tłumaczenie z węgierskiego Piotr Antypiuk):

Trzecim w węgierskiej kolekcji meteorytów zawierających drobinki żelaza jest kamień, który został nazwany *mezömadarasi*. W tym przypadku nie ma mowy o spadku jednego czy dwóch kamieni, a o całej ich gromadzie. 4. września 1852 roku, między 4. a 5. godziną po południu przez Transylwanię przeszła prawdziwa burza meteorytów. Spadały one w obrębie długiej na półtorej mili [~10 km] i szerokiej na pół mili [~4 km; chodzi o milę (*mérfold*, *postamérfold*) używaną w Monarchii Austro-Węgierskiej; jej długość wynosiła 7585,9 metrów] elipsy na terenie Równiny Transylwańskiej, w okolicach gminy *Mezö-Madaras*, w miejscu, gdzie znajduje się długie na 500 kroków, szerokie na 250 kroków i głębokie na 2 sążnie [~4 m] jezioro zwane *Boskim* (*Istentó*). W pobliżu owego jeziora znajdowało się tzw. Czarne gospodarstwo. Liczni chłopcy pracujący na polach i łąkach gospodarstwa widzieli na własne oczy meteorytową burzę, zebrali także część czarnych kamieni, które spadły z nieba. Okoliczności spadku szczegółowo opisał Dr Vilmos Knöpfler. Przy zupełnie bezwietrznej pogodzie, na całkowicie czystym, niezachmurzonym niebie pojawiła się kula ognia poruszająca się z południowego-zachodu na północny-wschód. Po wypaleniu się kuli na terenie od *Károlyvár'u* [*Alba Iulia*] i *Nagy-Enyed* [*Aiud*] po miejscowości *Torada* [*Turda*] i *Kolozsvár* [*Cluj-Napoca*], w kierunku północno-wschodnim zaś aż po *Maros-vásárhely* [*Târgu Mureş*] i *Szász-Régen* [*Reghin*] dało się słyszeć huk zbliżony do tego towarzyszącemu burzy czy też grzmot powstający na skutek wystrzałów z odległych armat, dział. Po tym huku chłopcy, obserwując spadające kolejno kamienie, słyszeli jeszcze powtarzające się, świszczące dźwięki. Kilku wieśniaków, jako że stali w pobliżu jeziora Boskiego, widzieli także, jak w taflę wody uderza jeden ze spadających kamieni, wzbijając tym samym wodę na wysokość jednego sążnia [~2 m] i powodując duże zafalowanie jeziora. Co istotne, na południowy-zachód od jeziora Boskiego — czyli kierunek, z którego meteoryt wyruszył, pojawił się — spadały mniejsze kamienie. Na północ od jeziora z kolei znajdowano okazy wielkości pięści, zaś w odległości na pół godziny marszu od zbiornika wodnego natrafiono na okaz ważący 18 funtów [10,1 kg], który był wbity w ziemię do tego stopnia, że widać było tylko jego krawędzie. Ten znakomity egzemplarz trafił do muzeum wiedeńskiego i stanowi prawdziwy skarb w jego zbiorach. W kolekcji muzeum są zaledwie dwa meteoryty większe od tego, tj. *okahabai* i *knyahinyai* [chodzi o meteoryty *Ohaba*



Kompletny okaz meteorytu *Mezö-Madaras* (1,068 kg) ze zbiorów Muzeum Historii Naturalnej w Budapeszcie (fot. Wadi & Jan Woreczko)



Mapa rejon spadku z zaznaczonym jeziorem Lacul Culpiu (dawn. Isten-tó) i schematycznym zasięgiem elipsy spadku (źródło mapy: II. vojenské mapování — Františkovo, 1806–1869)

i Knyahinya] — oba pochodzą z Węgier. Łączną masę meteorytów z tego spadku można ocenić na cetnar [50-60 kg].

Meteoryty z Mező-Madaras są czarne, na nierównych skorupach znać liczne zagłębienia zbliżone kształtem do palców u dłoni. Kształt kamienia jest kolejno: zaokrąglony, bulwiasty, spłaszczony. Część właściwa jest szara z brudno-białymi plamami, pokryta wieloma mieniącymi się na biało lub żółtawo, żelaznymi przebarwieniami. Szczyty pęknięć połyskują stalą. Ciężar właściwy 3,50.

Pál Partsch, ówczesny dyrektor Wiedeńskiego Muzeum Mineralnego poprosił o poddanie analizie meteorytów meżőmadarasi wykładowcę z Getyngi, Wöhlera, który parał się tym już od wielu lat. Wöhler przeprowadził analizę we współpracy z angielskim chemikiem, Atkinsonem. W jego opinii — uśredniając — 19,06% składu meteorytów stanowi żelazo, 7,4% nikiel, 0,25% natomiast kobalt i fosfor. W masie właściwej poza oczkami żelaza zauważalne są także drobne plamki siarczynu żelaza i dwa rodzaje krzemianów, z których jeden po rozpuszczeniu w kwasie solnym przyjmuje postać galaretowatą, drugi zaś jest nierozpuszczalny. Krzemiany te są mieszaną oliwinów, augitów i labradytów.

Spadek ten jest tylko kilka lat starszy od naszego deszczu meteorytów Pułtusk. Biorąc pod uwagę podobne warunki klimatyczne w rejonie spadku meteorytu Mező-Madaras,

nie można wykluczyć, że na okolicznych polach okalających jezioro *Lacul Culpiu*, leżą jeszcze całkiem pokaźnych rozmiarów okazy?!

Więcej na portalu <http://wiki.meteoritica.pl>

Bibliografia

Grady Monica M., (2000), **Catalogue of Meteorites. 5th Ed.**, Natural History Museum, Cambridge University Press, London, UK, 2000.

Knöpfler Wilhelm, Partsch Paul Maria, (1854), **Anszug aus dem ämtlichen Berichte über den am 4. September 1852 bei Mező-Madaras in Siebenbürgen stattgehabten Meteoriten-Fall**, w: Über den Meteorstein-Niederfall unweit Mező-Madaras in Siebenbürgen am 4. September 1852, *Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, 11, 1854, s. 675–681.

Knöpfler Wilhelm, (1855), **Verzeichniss aller bisher aufgefundenen und bekannt gewordenen Stücke der. am 4. September 1852 bei Mező-Madaras gefallenen Aerolithen**, *Verhandlungen und Mittheilungen des Siebenbürgischen Vereins für Naturwissenschaften zu Hermannstadt*, 6, 1855, s. 87–88.

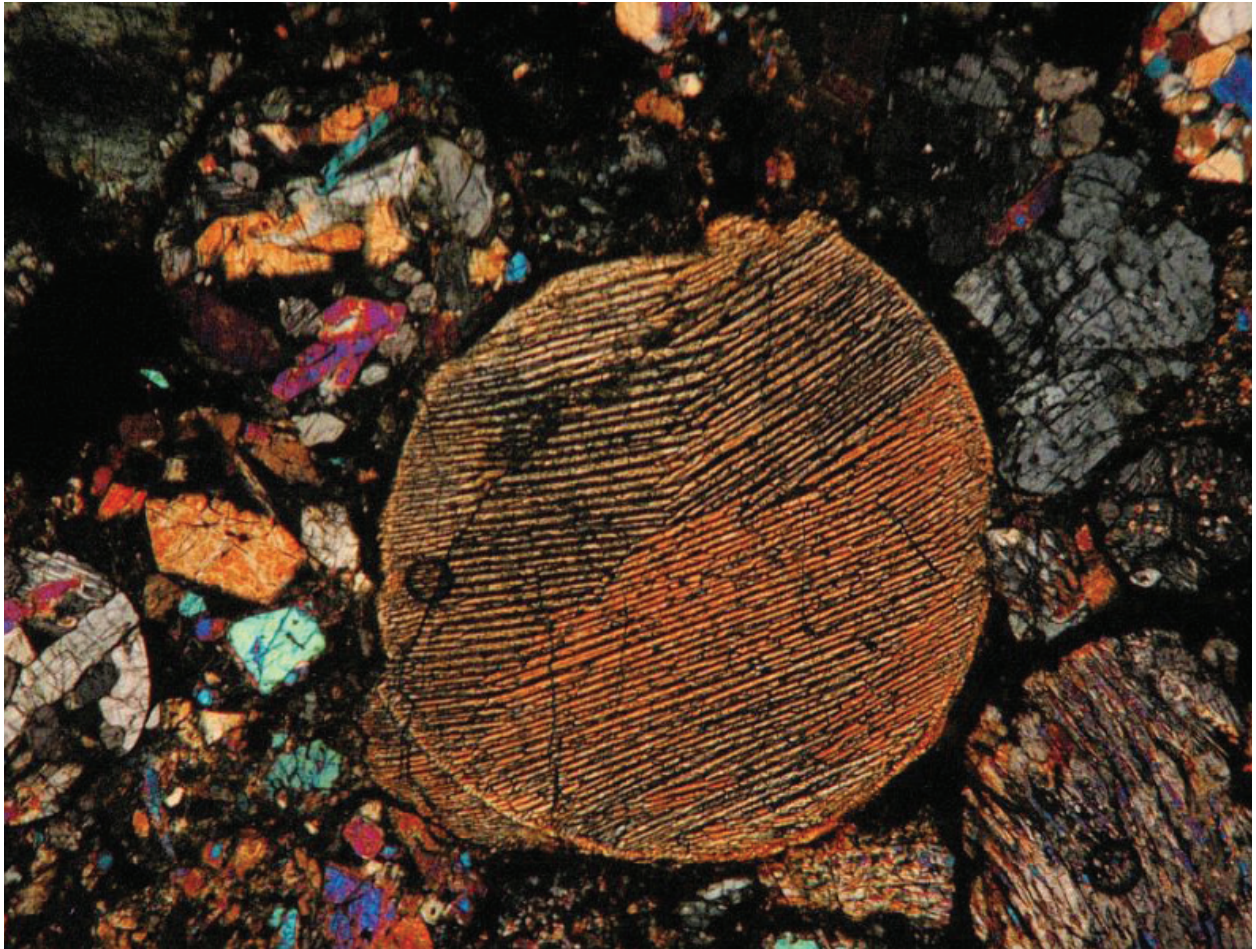
Török József, (1882b), **A Magyar Birodalom meteoritjei (II. rész)**, *Természettudományi Közlöny*, XIV (160), 1882, s. 497–514.

Galeria chondr

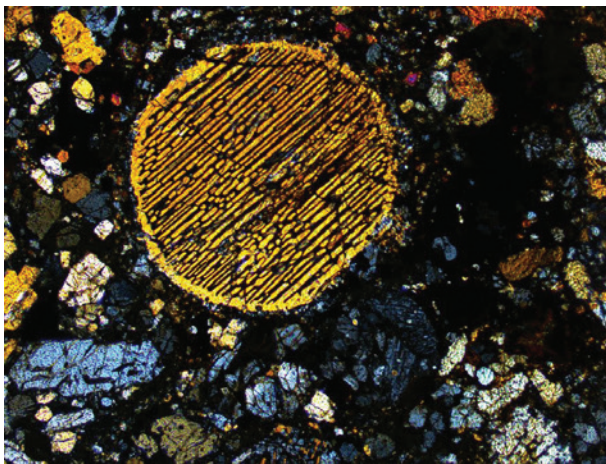
Tomasz Jakubowski

Magia płytek cienkich przyciąga tak samo naukowców jak i amatorów. Chondry są tu chyba szczególnie wyróżnione, nie tylko przez procesy które doprowadziły do ich powstania (niespotykane tu na Ziemi), ale przede wszystkim przez ich piękno. Gdy skrzyżujemy nikole w mikroskopie polaryzacyjnym, szczególnie efektownie wyglądają w chondrach oliwinowych,

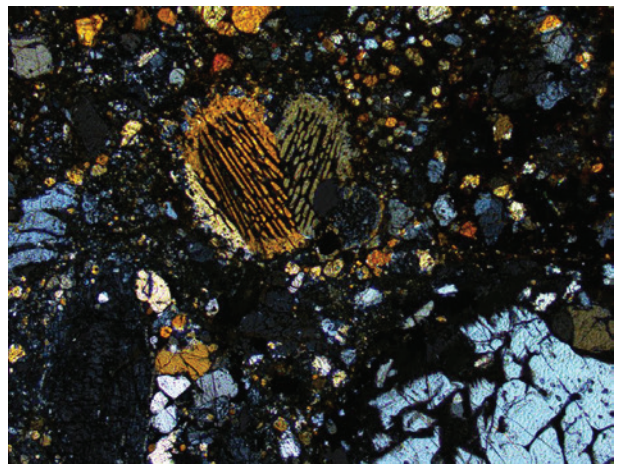
a ich żywe barwy interferencyjne pięknie to podkreślają. Utwierdza nas to w przekonaniu, iż natura tworzy wspaniałą sztukę. Zatem zapraszam do galerii chondr, od których wszystko się zaczęło. Większość zdjęć została wykonana na mikroskopie Nikon EclipseLV100POL na Wydziale Geoinżynierii Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.



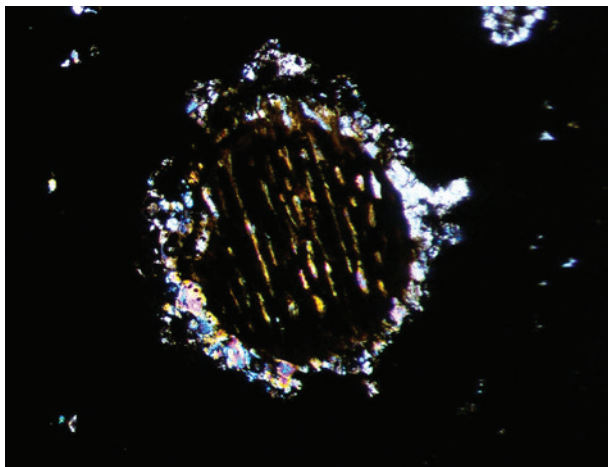
Chondra belkowa oliwinowa z chondrytu zwyczajnego typu LL3 NWA 7308 światło przechodzące skrzyżowane nikole (fot. Jakubowski)



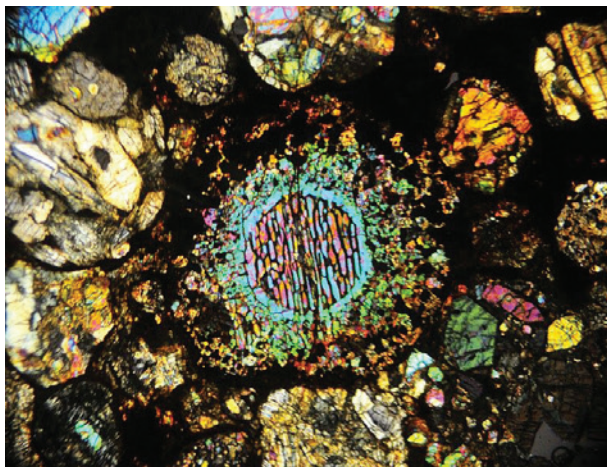
Chondra belkowa oliwinowa z chondrytu zwyczajnego typu LL5 NWA 5929, światło przechodzące, skrzyżowane nikole (fot. Jakubowski, Łuszczek)



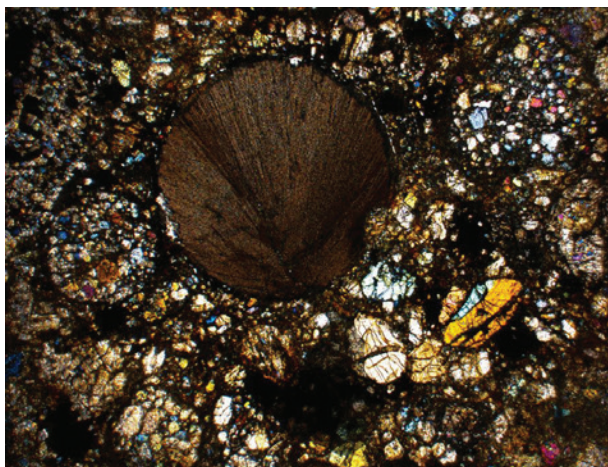
Chondra belkowa oliwinowa z chondrytu zwyczajnego typu LL5 NWA 5929, światło przechodzące, skrzyżowane nikole (fot. Jakubowski, Łuszczek)



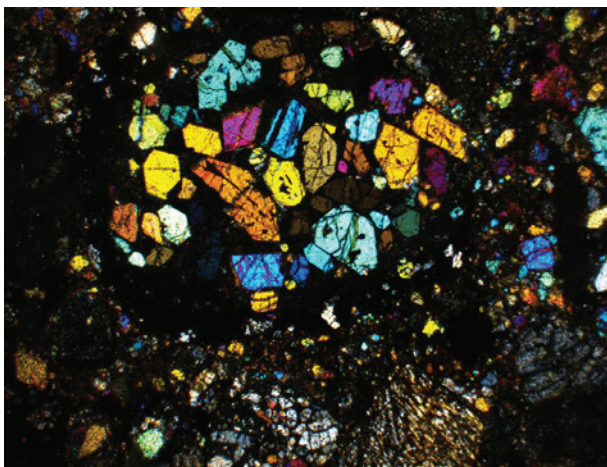
Chondra belkowa oliwinowa z oliwinową otoczką z chondrytu węglistego typu CM2.6 Jbilet Winselwan, światło przechodzące, skrzyżowane nikole (fot. Jakubowski, Łuszczek)



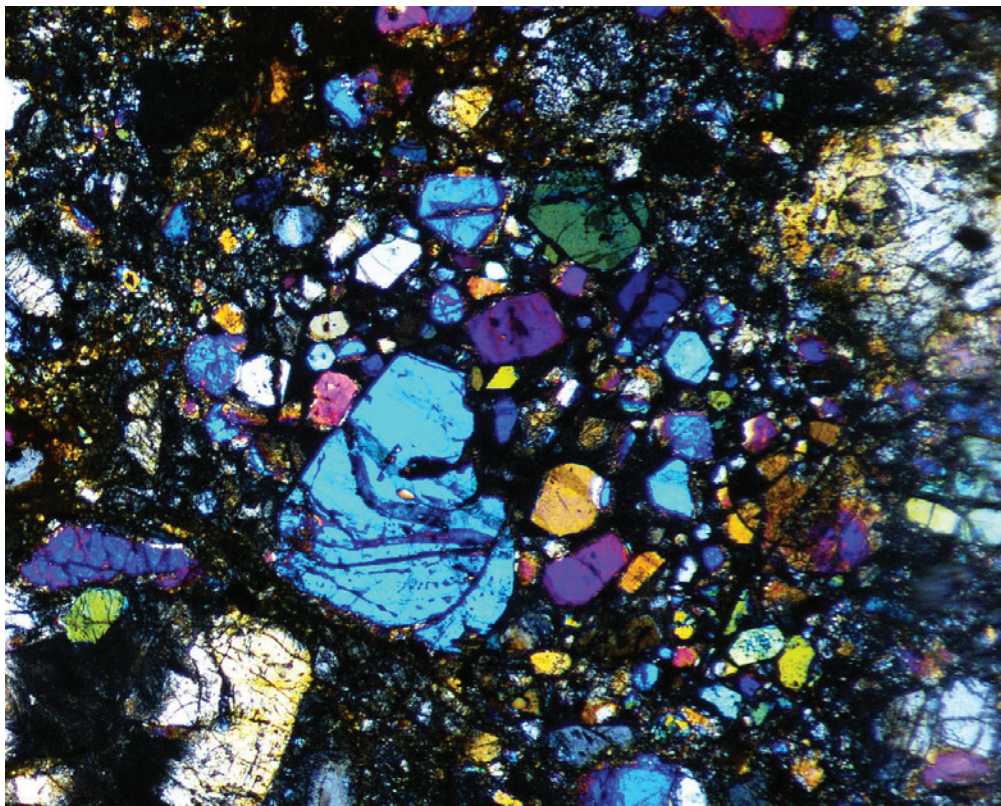
Chondra belkowa oliwinowa z oliwinową otoczką z chondrytu zwyczajnego typu LL3 NWA 7308 światło przechodzące, skrzyżowane nikole (fot. Jakubowski)



Chondra promienista piroksenowa z chondrytu zwyczajnego typu LL5 NWA 5929 światło przechodzące skrzyżowane nikole (fot. Jakubowski, Łuszczek)



Chondra porfirowa oliwinowa z chondrytu zwyczajnego typu LL5 NWA 5929 światło przechodzące skrzyżowane nikole (fot. Jakubowski, Łuszczek)



Chondra porfirowa oliwinowa z chondrytu zwyczajnego typu LL5 NWA 5929 światło przechodzące skrzyżowane nikole (fot. Jakubowski, Łuszczek)



Tomasz Jakubowski — kolekcjoner meteorytów, członek zarządu PTMet, autor strony www.collectingmeteorites.com

Naukowo zajmuje się węglem w meteorytach.

Wewnątrz ciała macierzystego HED: planetoidy 4 Westa

Rhiannon Mayne

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

Uwielbiam pisać artykuły dla kwartalnika „Meteorite”, więc byłam nieco zdziwiona brakiem natchnienia, jaki doskwierał mi mocno w ostatnim tygodniu. Siedziałam i gapiałam się na monitor mego komputera tak długo, że ostatniej nocy, gdy położyłam się spać i zamknęłam oczy, mogłam widzieć wszystkie ikonki. Myślę, że dziś udało mi się przygotować idealne warunki do pisania: wygodne krzesło, kubek kawy wielkości mojej głowy, żadnego berbecia błagającego o parówóz Thomas i fantastyczna publikacja o Weście. Latem przeczytałam znacznie więcej publikacji, niż jestem w stanie w trakcie roku akademickiego, i ta praca, opublikowana w lipcu w „Nature” wyjątkowo mi się spodobała. Nosi tytuł „A deep crust-mantle boundary in the asteroid 4 Vesta” a autorem jest Harold Clenet i inni. Powinniście już wszyscy wiedzieć, że mam pewną słabość do wszystkiego, co jest związane z HED, więc mogę tu być trochę nieobiektywna. Zawsze jednak starałam się umieszczać moje badania w szerszym kontekście; gdybyście zajrzeli na mój naukowy profil na stronie TCU, to jest tam napisane, że moje „badania dotyczą zagadnienia, w jaki sposób ciała planetarne ulegają dyferencjacji”. Mój pierwszy artykuł dla kwartalnika „Meteorite” pokazywał, dlaczego Westa jest naszą największą szansą uzyskania odpowiedzi na to pytanie (zob. „Dzieci Westy: howardyty, eukryty i diogenity”, Meteorit 2/2013). W skrócie:

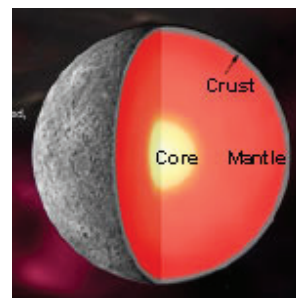
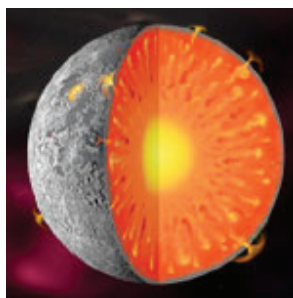
jest to mini-Ziemia, która zachowała dowody procesów zachodzących w pierwszych latach istnienia Układu Słonecznego. Jeśli pominąć zderzenia, to w zasadzie pozostała niezmieniona od momentu jej uformowania się 4,56 miliarda lat temu.

Istota procesu dyferencjacji polega na ogrzewaniu chondrytowego ciała macierzystego aż do stopienia skał, a następnie rozdzielaniu lżejszej i cięższej materii, w wyniku czego, w miarę stygnięcia i krzepnięcia, powstaje warstwowa struktura jądro-płaszcz-skorupa (fot. 1). Prostota tego modelu pozwala naukowcom modelować formowanie się zdyferencjowanego ciała. Oczywiście same modele są bardzo złożone i wymagają rozumienia, jak każdy pierwiastek z chondrytowego, wyjściowego materiału będzie się zachowywał, gdy ciało topi się, rozwarstwia, ponownie krystalizuje i stygnie. Końcowy wynik można porównać z obserwacjami: na przykład czy modelując Westę możemy dopasować modelowy skład skorupy do składu eukrytów? Jednym z rezultatów modelu jest przewidywanie grubości i składu każdej warstwy w zdyferencjowanym ciele. W przypadku Westy Clenet z kolegami mówi nam, że z modeli wynika, iż granica między skorupą a płaszczem powinna być około 30-40 km pod powierzchnią. Pamiętajmy, że jest to oparte na założeniu, że topimy materię chondrytową, a ponadto modele omawiane w tej pracy zakładają także uformowanie

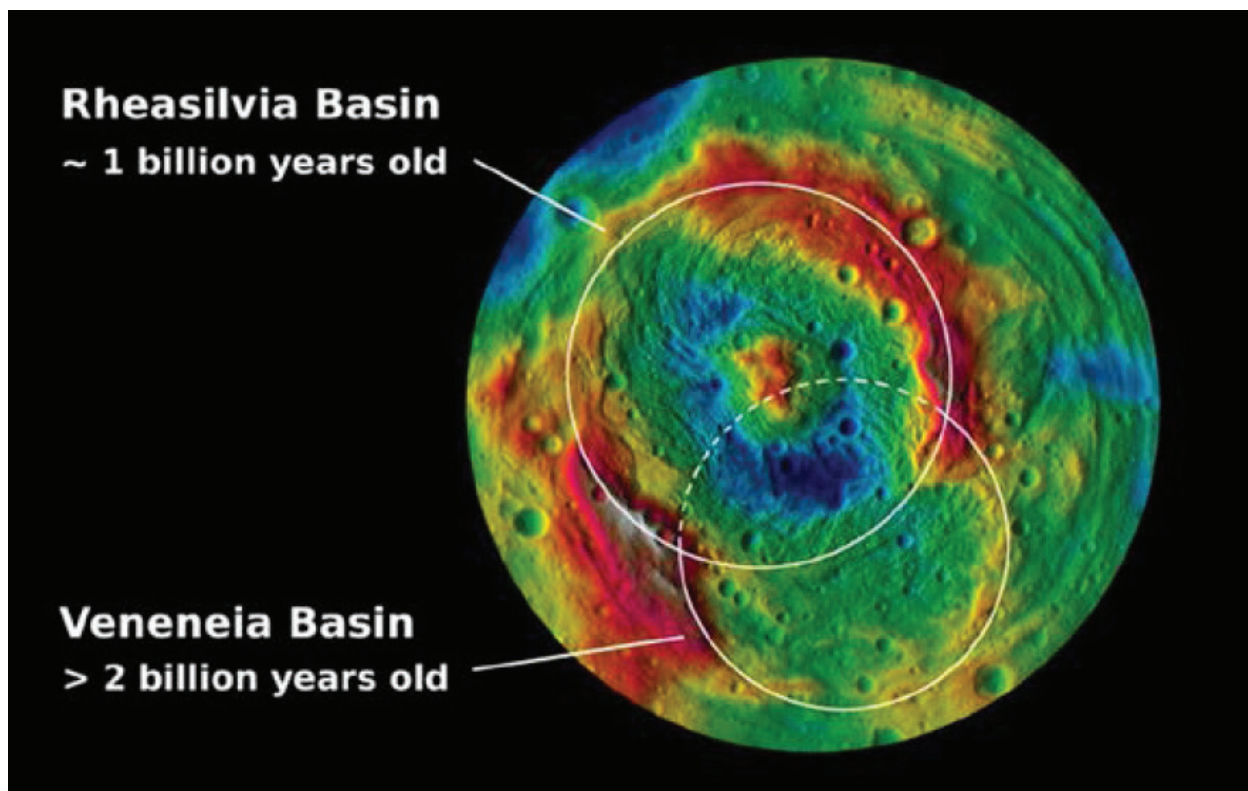
się oceanu magmy na Weście podczas jej dyferencjacji. Jest to model typowy dla ciał Układu Słonecznego włącznie z Ziemią i Księżycem.

Wróćmy na chwilę do podstaw. Istotą metody naukowej jest zasada, że każda hipoteza musi dać się testować. Aby rozwijać hipotezę, powinniśmy robić przewidywania i TESTOWAĆ je. To pozwala na stopniowe udoskonalanie każdej hipotezy i lepsze dopasowywanie jej do danych z każdą poprawką. Jak stwierdzono wyżej, modele dyferencjacji przewidują, że granica między skorupą a płaszczem na Weście powinna znajdować się na głębokości między 30 a 40 km. W jaki sposób możemy to przetestować?

Zobrazowanie wewnętrznej struktury obiektu planetarnego wymaga fal o bardzo wysokiej energii. Ziemia ma swoje własne źródło energii, ponieważ trzęsienia ziemi wyzwalają ogromną ilość energii, która może podróżować przez jej całe wnętrze — naukowcy muszą jedynie zmierzyć i zinterpretować, jak te fale wędrują. Na Weście nie mamy takiego luksusu. Jednak jeden z charakterystycznych utworów Westy może podać nam pomocną dłoń. Wiemy od wielu lat, że powierzchnia Westy została oszpecona przez ogromny krater uderzeniowy na południowej półkuli. Sonda Dawn, która krążyła wokół Westy przez nieco ponad rok w 2011 i 2012 r., zdołała uzyskać bardzo szczegółowe obrazy tego obszaru i okazało się, że w istocie były w tym regionie dwa nakładające się baseny



Fot. 1. Formowanie się i dyferencjacja ciała skalistego. Źródło: Narodowe Muzeum Historii Naturalnej w Waszyngtonie (<http://www.mnh.si.edu>).



Fot. 2. Ta mapa topograficzna z sondy Dawn, NASA, ukazuje dwa największe baseny uderzeniowe na południowej półkuli planetoidy Westy. Kolor czerwony oznacza wyżej położone obszary, a niebieski oznacza tereny niżej położone. Krater Rheasilvia ma 310 mil i powstał miliard lat temu. Krater Veneneia ma 250 mil średnicy i przynajmniej 2 miliardy lat.

uderzeniowe. (fot 2). Te zderzenia nazywają się Rheasilvia i Veneneia i są ogromnymi katastrofami w bardziej „niedawnej” historii Westy. Odsłoniły one także wnętrze Westy. Clenet et al. odwołują się do pracy Jutzi et al, w której stwierdzono, że symulacje tych zderzeń sugerują, iż w kraterach tych została wykopana materia z głębokości 60—100 km. Oznacza to, że w tych kraterach powinny być odsłonięte skały z głębokości większej niż przewidywana granica skorupy i płaszcza (30-40 km). Moglibyśmy więc zajrzeć do tych basenów uderzeniowych i zobaczyć płaszcz Westy, a ponadto materia płaszcza byłaby także wykopana i wyrzucona z Westy.

Tu właśnie napotykamy zagadkę. Płaszcz Ziemi w znacznej części składa się z oliwinu. Clenet et al. wskazują, że gdyby płaszcz na Weście był odsłonięty, to powinniśmy spodziewać się, że zobaczymy:

1) Wyraźne widmo oliwinu w danych uzyskanych przez sondę Dawn z wnętrza kraterów.

2) Oliwinowe Westoidy. Te planetoidy reprezentują materię wyrzuconą z Westy i ich skład powinien odzwierciedlać skład tej materii.

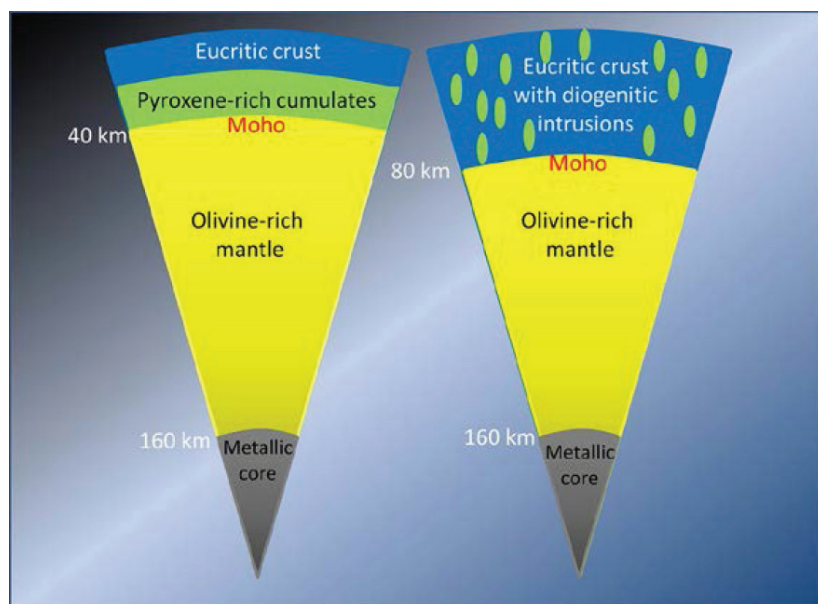
3) Oliwinowe meteoryty wśród meteorytów HED. Jeśli skały z płasz-

cza Westy zostały wykopane i wyrzucone, to powinniśmy widzieć ich próbki wśród meteorytów uważanych za pochodzące z Westy.

Praca ta wskazuje, że w rzeczywistości nie obserwujemy żadnej z tych rzeczy. Test daje wynik negatywny; w ogóle nie obserwujemy skał płaszcza.

Nie jest to pierwszy przypadek, że HED i Westa okazują się być problematyczne; modelowanie ich

powstawania zawsze było dość skomplikowane.... ale wyjaśnianie tego wymagałoby odrębnego artykułu, a może nawet całej ich serii, więc jeśli możemy uwierzyć, że tak jest istotnie, to ten artykuł będzie bardziej zwarty. Jeśli użyjemy tu brzytwę Ockhama (najprostsze rozwiązanie jest najlepsze), to możemy powiedzieć, że mimo wykopania materii z co najmniej 60 km w głąb Westy, te dwa zderzenia na południowej półkuli nie przebieły



Fot. 3. Z lewej obecna teoria budowy wnętrza Westy. Z prawej teoria proponowana przez Cleneta i jego współpracowników w jednym z ostatnich numerów Nature.

granicy skorupy i płaszcza na Weście. Znajduje się ona więc głębiej niż przewidywano i skorupa Westy ma około 80 km grubości, ponad dwukrotnie więcej niż oceniał model (fot. 3).

Clenet et al. twierdzą, że obecność grubszej skorupy, chociaż nie można jej pogodzić z modelami krystalizacji oceanu magmy, zgadza się z zbranymi danymi dotyczącymi grawitacji Westy.

Do czego więc doszliśmy? Jeśli skorupa Westy jest znacznie grubsza (i wobec tego płaszcz znacznie cieńszy) niż przewiduje model krystalizacji, to być może te modele nie wykorzystują właściwych materiałów startowych. Cieńszy płaszcz wskazuje, że Westa ma mniej oliwinu w porównaniu z modelami zdyferencjowanych ciał wywodzących się z materii chondrytowej. Autorzy wskazują także, iż dawno

już stwierdzono, że eukryty mają mało składników lotnych i sodu i w przeszłości sugerowano już, że być może pochodzą one z uboższego w składniki lotne pyłu w mgławicy słonecznej. Tak czy owak trudno przecenić znaczenie tego odkrycia dla zrozumienia, jak ulegały dyferencjacji ciała w początkach istnienia Układu Słonecznego.

Może to być klucz do zrewolucjonizowania naszych modeli formowania się Westy, które można by potem wykorzystać bezpośrednio do modelowania, jak ewoluowały planety ziemskie. Czasem piękno nauki nie kryje się w umacnianiu jakiejś koncepcji, lecz w wykazywaniu jej błędności. Tak właśnie działa nauka, tak się rozwija i zmienia nasze postrzeganie świata wokół nas — i to, moi przyjaciele, jest rewolucyjne. Właśnie dlatego mam najlepszą pracę na świecie.

A Deep Crust-Mantle Boundary in the Asteroid 4 Vesta by H. Clenet, M. Jutzi, J. Barrat, E.I. Asphaug, W. Benz, and P. Gillet. *Nature* 2014 doi:10.1038/nature13499.



Rhiannon Mayne jest badaczką meteorytów i kustoszem Kolekcji Monniga w Texas Christian University.



Nowy polski meteoryt — strzępy informacji

Andrzej S. Pilski

Siedemnastego stycznia tego roku Marcin Cimała umieścił na swoim profilu na Facebooku informację w języku angielskim, wraz ze zdjęciami, o zakupieniu nowego meteorytu znalezione w Polsce. Poprosiłem go wtedy o napisanie o tym do „Meteorytu”, ale ponieważ nie znalazł na to czasu, przedstawiam luźne tłumaczenie tej wiadomości:

„Miałem szczęście nabyć nowy polski meteoryt, ważący 2440 g całkowity okaz z regmagliptami. Jest to chondryt zwyczajny, najprawdopodobniej L5 lub L4, bardzo świeży. Odnalazła go pewna młoda pani wśród okazów, które kolekcjonował jej zmarły dziadek. Między monetami, znaczkami, motylami i porożami jeleni znajdował się też ten wyjątkowy meteoryt. Niestety miejsce znalezienia i moment spadku czy odnalezienia nie są znane, ponieważ nie odnaleziono żadnej informacji na ten temat. Kolekcjoner zmarł ponad 20 lat temu. Prowizoryczna nazwa meteorytu może więc brzmieć: Siewierz, od



Meteoryt z Siewierza z widocznym miejscem odcięcia próbki przekazanej gemmologowi. Fot. A. Żak.

miasta, w którym kolekcjoner spędził całe życie.

Jak widać, okaz jest bardzo świeży, więc został odnaleziony wkrótce

po spadku, a może nawet kolekcjoner był świadkiem tego spadku. Regmaglipty są pokryte kurzem, tak jakby okaz był w rodzinie od kilku



Fragment meteorytu z Siewierza z kolekcji Kazimierza Mazurka na Gieldzie Mineralów w Sosnowcu. Na dołączonym zdjęciu widoczny meteoryt po odcięciu próbek do badań. Fot. A. S. Piłski

dziesięciu lat. Ponadto jest to bardzo ładny chondryt i jestem dziś bardzo szczęśliwy.

Moja służba identyfikowania domniemanych meteorytów została w końcu wynagrodzona.”

Historia tego meteorytu zaczęła się jednak nieco wcześniej. Pod koniec ubiegłego roku pewien gemmolog z Katowic powiadomił Kazimierza Mazurka, że jest do kupienia meteoryt gdzieś pod Częstochową. Dostał fragment tego meteorytu od pewnej pani, która przy porządkowaniu strychu znalazła meteoryt i chciała go sprzedać. Prosił o spotkanie, by upewnić się, czy to rzeczywiście jest meteoryt. Do spotkania doszło 29 grudnia i przyniesiony przez gemmologa fragment okazał się płytką odciętą od chondrytu zwyczajnego ze świeżą skorupą na brzegu.

Na początku roku właścicielka, pomimo złożonej przez gemmologa oferty kupna, wzięła sprawę w swoje ręce i przeszukując internet natrafiła na stronę Marcina Cimały. Uznała, że jest to odpowiednia osoba i zaproponowała Marcinowi zakup meteorytu. Wynik znamy z notatki na Facebooku.

Gemmolog natomiast postanowił wymienić otrzymany od właścicielki fragment na kilka niewielkich, ale bardziej znanych meteorytów. W taki sposób ten fragment o wadze 5,283 g znalazł się w kolekcji Kazimierza Mazurka i mógł być pokazany na Gieldzie Mineralów w Sosnowcu.

Badania w celu sklasyfikowania meteorytu prowadzi prof. Łukasz Karwowski.



Meteoryt z Siewierza. Fot. K. Mazurek.



Druza strona płytki odciętej od meteorytu, prezentowanej na okładce. Fot. M. Cimała.

Mechanizm tworzenia się zagłębień bezodpływowych na morenie moraskiej, tak zwanych „kraterów meteorytowych”

Wiesław Czajka

Hipotezy dotyczące pochodzenia zagłębień

Niebywałą karierę zrobiła hipoteza o kosmicznej genezie zagłębień bezodpływowych znajdujących się na morenie moraskiej. Sugestię o ich pochodzeniu uderzeniowym rzucił nestor polskiej meteorytyki Jerzy Pokrzywnicki w roku 1957¹, jednak wyrażał się o tym dość ostrożnie nazywając je „kraterkami”. Koncepcja ta została podchwycona jako pewnik w 1961 roku w czasie wspólnego pobytu Pokrzywnickiego z radzieckim uczonym K. Staniukowiczem w Morasku². Profesor Staniukowicz zajmował się kraterami impaktowymi na estońskiej wyspie Saaremaa i był uważany za autorytet w tej dziedzinie. Była to jednak tylko emocjonalna opinia wydana na podstawie wycieczki terenowej. Mimo to „kratery meteorytowe” zdominowały umysły badaczy i społeczność Poznania. Zaangażowanie w sprawę geologów, którzy wysuwali wątpliwości, nic nie zmieniło. Tak jest do dzisiaj. Zastanawiające jest to, że przez pięćdziesięcioletni okres lansowania tej hipotezy nie napisano ani jednego opracowania, w którym by, chociażby w najmniejszym skrócie, umieszczono opis mechanizmu impaktu (wybuchu). Zwolennicy tej koncepcji nie znaleźli też w obrębie „kraterów meteorytowych” ani jednego fragmentu materii ziemskiej, która powinna być zmieniona pod wpływem zderzenia z ciałem kosmicznym. Innymi słowy nie ma dowodów materialnych na to, że pochodzenie zagłębień bezodpływowych ma jakikolwiek związek

z obecnością meteorytów znajdujących w okolicy Moraska.

Dzisiaj już zaprzestano nawet zauważać, że jednak były rozważane inne koncepcje ich utworzenia. W roku 1957 sam Pokrzywnicki rozważa genezę krasową, lodowcową, lodowcowo-eworsyjną³. W tej rzeczowej dyskusji uczestniczyli naukowcy uniwersytetu poznańskiego. Jeszcze w 1976 profesor Andrzej Karczewski z UAM widzi ułożenie warstw geologicznych w otoczeniu „kraterów” jako typowe dla utworów lodowcowych, bez oznak przemieszczania gruntu charakterystycznego dla dynamiki zderzeń kosmicznych. Zagłębieniom przypisał charakter wytopisk⁴. W materiałach konferencji meteorytowej odbytej w Poznaniu w 2004 roku, a zbiegającej się z 90-leciem znalezienia przez Coblina pierwszego meteorytu poddanego systematycznym badaniom, znajduje się mój artykuł, w którym w oparciu o model powierzchni terenu została przedstawiona interpretacja geomorfologiczna obszaru moreny wraz z rezerwatem „Meteoryt Morasko”⁵. W sposób analityczny przedstawiłem wynik obserwacji uzyskanego reliefu, z którego wynikało, że muszą to

być głębozki⁶, rodzaj kotłów podlodowcowych powstałych na skutek spływania wód z lodowca.

Postęp nauk geologicznych od lat 60-tych XX wieku, a szczególnie jego ostatnie dziesięciolecie, przyjął niezwykle tempo. Wynikało to z rozwoju technik teledetekcyjnych włączonych w systemy informacji przestrzennej oraz możliwości weryfikacji terenowej uzyskanych danych wraz laboratoryjną obróbką pobranych próbek. Nasza wiedza o procesach impaktowych i glacialnych weszła w takie zakresy, że ostateczne rozstrzygnięcie o genezie zagłębień w rejonie Moraska nie przedstawia żadnego problemu.

Zagadnienia nierozstrzygnięte w 2004 roku

W roku 2004, gdy w zasadzie o Morasku nie wiedziałem nic, przeprowadziłem analizę geomorfologiczną moreny moraskiej z udziałem numerycznego modelu powierzchni terenu, który specjalnie sporządziłem na tę okazję. Wyciągnięte wnioski polegały na stwierdzeniu, że tak zwane „kratery meteorytowe” zostały ukształtowane w jednej formacji skalnej, czyli w obszarze zmienionych glacictektonicznie ilów poznańskich i glin zwałowych tworzących wewnętrzny próg moreny moraskiej. Jest to bardzo niewielki obszar z punktu widzenia geologicznego. Nawet gdyby ciało kosmiczne wcelowało w ten obszar, to uwzględniając dynamikę impaktów, efekty zjawiska musiałyby wkroczyć poza to wydzielenie geologiczne. Była to podstawa

⁶ Głębozek, kocioł podlodowcowy — zagłębienie utworzone w wyniku erozji przez wody roztopowe u podstawy młyna lodowcowego, w skale mało zwietrzłej. Ma dużą głębokość przy stosunkowo małej powierzchni, lejkowaty kształt i strome zbocza; często występuje w rynie polodowcowej. (SGD)

¹ Pokrzywnicki J. „Meteoryty Polski”, *Studia Geologica Polonica* Vol. XV Warszawa 1964, s. 55

² Tamże, s. 68

³ Eworsja — drażnienie naturalnych przegłębień w dnie strumienia lub rzeki wskutek działania wirów wody, zwykle obciążonej grubym materiałem rumowiskowym; zachodzi szczególnie przy wodospadach, w rozszerzeniach koryta i pod szczelinami lodowcowymi. (SGD)

⁴ „Morasko. Największy deszcz meteorytów żelaznych w Europie środkowej” Monografia pod redakcją zbiorową, Wydawnictwo naukowe Bogucki, Poznań 2012 ISBN 978-83-63400-50-7 str. 28

⁵ CZAJKA W. „Analiza geomorfologiczna okolic rezerwatu „Meteoryt Morasko” w oparciu o model powierzchni terenu” III Konferencja Meteorytowa — Streszczenia referatów, UAM Poznań 2004

do zaprzeczenia uderzeniowego (wybuchowego) pochodzenia zagłębień. Odrzucenie tej teorii należało poprzeć rozwiązaniem alternatywnym i takie padło. Wszystko wskazywało, że są to głęboczki, rodzaj kotłów podlodowcowych. U podstawy tej tezy leżał mechanizm ich tworzenia z udziałem olbrzymich mas wody. W obrębie moreny moraskiej występują wysoko położone liczne rynny polodowcowe⁷. Ich istnienie w obrębie najwyższych partii Góry Moraskiej potwierdza, że miały tu miejsce olbrzymie przepływy wód. Przypuszczalny kierunek spływu został wtedy określony. Ruch masy wodnej zmienia rzeźbę w sposób nieoczekiwany, zaś mała ilość osadów utrudnia geologiczną interpretację zjawiska. Trudności nie oznaczały, że należało odrzucać koncepcje związane z rzeźbą czwartorzędową charakterystyczną dla Niżu Polskiego.

W trakcie ówczesnych swoich analiz nie korzystałem z kultowego opracowania Jerzego Pokrzywnickiego „Meteoryty polskie”. Po prostu go jeszcze nie znałem. W pozycji tej na stronie 57 znajduje się jego notatka sporządzona w 1957 roku z profesorem Bogumiłem Krygowskim, w której czytamy „*Oczka lodowcowego pochodzenia zawdzięczają swe powstanie bądź procesom wytopiskowym, bądź eworsyjnej działalności wód roztopowych (subglacialnie), przy czym formy tego rodzaju są w strefie moreny czołowej pospolite, nie są niczym niezwykłym. Oczka okolicy Moraska reprezentujące strefę moreny czołowej można zaklasyfikować do tej właśnie kategorii form i dotychczas uważano za typowe tego rodzaju formy, zawdzięczające swe pochodzenie lodowcom i ich wodom. Są jednak pewne poszlaki, które podważają przedstawione wyżej prostolinijne wnioski. Tak więc na podstawie oględzin terenowych stwierdzono, że* 1 — wszystkie oczka tkwią w glinie (brązowej), co wskazywałoby na ich eworsyjne powstanie (nie wytopiskowe), 2 — przy największym oczku występuje wokół typowy kołnierz (wał obramowujący oczko), **który dość trudno wyjaśnić eworsyjnym wyrzucaniem materiału z powstającego**

⁷ Rynna polodowcowa, dolina rynnowa — silnie wydłużone obniżenie o stromych zboczach i nierównomiernym dnie, utworzone pod lodowcem w wyniku erozji (w tym niekiedy eworsji) wód subglacialnych. (SGD)

zagłębienia. [podkreślono do celu niniejszego artykułu] *Glina bowiem uległaby zniesieniu przez silny prąd wodny, a na miejscu, tj. w kołnierzu pozostałby jedynie gruby materiał wymyty z gliny morenowej: żwir, glazy. Tego materiału w kołnierzu nie ma. 3 — Przy innych oczkach kołnierzy brak; 4 — chaotyczny układ glazików (pomiarów dokonał mgr Wojciech Stankowski) w glinie budującej kołnierz oczka, dalej zaburzenie struktury gliny w partii kołnierzowej (w przecięciu wału krateru nr 2 — uwaga autora) polegające na tym, że na glinę została nałożona warstwa (silnie zaburzonego) iłu plicieńskiego, mogą wskazywać na wyrwanie (wyrzucenie) z głębi starszego materiału i rzućcie go na młodszy — glinę lodowcową.”* Na podstawie ostatniego zdania utrwaliła się koncepcja, że materiał skalny wyrwany został pod wpływem ciała kosmicznego, tworząc późniejsze pojęcie „wału uderzeniowego”. Warto jednak zwrócić uwagę na niezwykle celne uwagi dotyczące procesów eworsyjnych, których ówczesznie nie potrafiono wytłumaczyć.

W podobnym tonie odbyła się wspólna kularowa dyskusja z prof. Wojciechem Stankowskim z UAM po wygłoszonym przez mnie referacie w czasie konferencji meteorytowej w Poznaniu w 2004 roku na temat eworsyjnej genezy zagłębień. Profesor zwrócił mi uwagę na problem nieobecności osadów charakterystycznych dla przepływu wód w dnach form eworsyjnych, jakimi są piaski i żwiry. Sam widziałem ten problem, gdyż znałem świetnie karkonoskie marmity⁸. Profesor stwierdził również, że warstwy takie nie zawsze muszą występować. Pamiętam to świetnie, gdyż tego zagadnienia wtedy do końca nie rozumiałem. Zdania swojego jednak nie zmieniłem, gdyż koncepcja kotłów podlodowcowych wynikała nie z obecności samych form krateropodobnych, a z całości oglądu moreny moraskiej, w której zaznacza się bardzo wyraźna działalność wód podlodowcowych. Ich współczesnym przejawem są liczne rynny (dzisiaj wąwozy) i oczka wodne, które możemy spotkać w okolicach Moraska.

Zatem w 2004 roku nie udało się **nam rozstrzygnąć**, dlaczego w głę-

⁸ Kocioł (kociołek), kociołek eworsyjny, marmit, — przegłębienie w dnie strumienia lub rzeki utworzone w wyniku eworsji u podnóża wodospadu lub progę skalnego. (SGD)

boczkach nie było osadów charakterystycznych dla przepływających wód, czyli piasków i żwirów, oraz jak utworzyły się „wały uderzeniowe”, które Pokrzywnicki zwał „kołnierzami”. Ta ostatnia struktura widoczna jest jedynie w profilach glebowych do głębokości około 1,5 m na obwodzie (krawędzi) największego moraskiego „krateru”. Objawia się występowaniem glin zwałowych przemieszanych z łąkami poznańskimi pochodzącymi z wnętrza zagłębienia. Całość leży na skośnie warstwowanych osadach piaszczystych około dwudziestocentymetrowej miąższości i glinie zwałowej.

Czas płynął. W 2009 roku Krzysztof Socha wygłosił w czasie seminarium meteorytowego w Olsztynie znamieny referat pod tytułem „Pożegnanie kraterów Morasko”. Jego prowadzone od lat obserwacje terenowe podczas poszukiwań okazów poddawały w wątpliwość kosmiczną genezę „kraterów”. Zwieńczeniem tego było znalezienie meteorytu wbitego w pień drzewa. Na tej podstawie żegnał „kratery”. Nikt go nie słuchał. Tymczasem koncepcja genezy eworsyjnej krzepła wraz ze światowym postępowaniem wiedzy o procesach geologicznych ery lodowcowej. Takim szczególnym momentem było udowodnienie istnienia potężnych zapór lodowych przytrzymujących masy wód nie znane ludzkiej wyobraźni. Uwolnienie tych wód wywoływało efekt „kanałowania”, polegającego na złozeniu gigantycznych wawozów. Najsłynniejsze z nich to Scablands na zachodnim pograniczu USA i Kanady. Zapory takie, utrzymywane były w warunkach ujemnych temperatur w okresach **stagnacji lub recesji lądolodu**, zaś napływająca i gromadząca się woda była przez nie blokowana. Wystarczały małe przecieki, aby nastąpiła katastrofa geologiczna. Uwolnione masy wód spływały w ciągu godzin i dni zmieniając krajobraz, którego sposób tworzenia nieznany był do ostatniej dekady lat XX wieku.

Moja koncepcja dotycząca zagłębień bezodpływowych w rezerwacie „Meteoryt Morasko” również łączyła się z zagadnieniem intensywnych przepływów. Do konferencji 100-lecia badań meteorytów moraskich zorganizowanej 12 listopada 2014 roku przez Uniwersytet Adama Mickiewicza,

Polskie Towarzystwo Astronomiczne i Polskie Towarzystwo Meteorytowe nie podnosiłem tej kwestii, licząc na to, że organizatorzy odpowiedzą na nadchodzące sygnały o „niekosmicznym” charakterze zagłębień moraskich. W czasie konferencji alternatywne hipotezy skrzętnie przemilczano, podobnie jak hipotezę bolidu wielkopolskiego, według której meteoryty moraskie spadły nieco ponad 700 lat temu.

Potem wydarzenia potoczyły się błyskawicznie. Po konferencji stulecia badań obecny na niej miłośnik i fotograf „kociołków moraskich”, artysta-plastyk i poznaniak, pan Adam Drogomirecki nadesłał mi swoją interpretację tworzenia się zagłębień wykonaną na podstawie mojego artykułu z 2004 roku. Jako grafik sporządził ją w postaci dwóch zobrazowań opartych na dostępnych w internecie materiałach. Było to zdjęcie satelitarne okolic Moraska z GOOGLE Map oraz obraz tego miejsca przedstawiony w technice LIDAR⁹. Jego interpretacja wymagała tylko jednej poprawki — zwiększenia miąższości lądolodu. Ponadto pan Adam pragnął uzyskać wyjaśnienia jak powstały „wały” wokół kociołków. Osobie tak zaangażowanej, musiałem odpowiedzieć w sposób precyzyjny, prosty, ze szczegółami i takim językiem, aby nie było wątpliwości co do stawianych hipotez.

Owo wyjaśnianie dało opis mechanizmu i potwierdzenie faktu, że zagłębienia bezodpływowe w rezerwacie „Meteoryt Morasko” są kotłami eworsyjnymi, co rozważali już Pokrzywnicki z Krygowskim, ja zaś zdefiniowałem je jako głęboczki zgodnie z licznymi definicjami geologicznymi w oparciu o model powierzchni terenu. Pozostaje wyjaśnić mechanizm ich tworzenia się.

Pojęcie głęboczków — kotłów podlodowcowych

Schemat obiegu wody w lądolodzie co do zasady wydaje się prosty. Wewnątrz lądolodu, tak samo jak na i w gruncie, występują jeziora, rzeki, tworzą się wezbrania, a krążenie wód odbywa się w pionie poprzez sieć szczelin i kanałów. W rzeczywisto-

ści zmienna natura lodu sprawia, że zachodzące wewnątrz przepływy są nieprzewidywalne. Z tego też względu bardzo trudno bada się zjawiska wewnątrz lodowca. Nietrwały w czasie charakter masy lodowej powoduje, że współczesny opis zachodzących niegdyś procesów wywodzi się na zasadzie indukcji. Nie zmienia to wniosków, co form morfologicznych jakie wytwarzają krążące wewnątrz lodowca wody.

W warunkach rzeki podlodowej (subglacialnej) w dnie koryta mogą tworzyć się wiry, zaś ich prędkość przepływu umożliwia urabianie podłoża. Na większości odcinków rzeka taka ma otwarte zwierciadło, na pozostałych w zależności od intensywności przepływów woda płynie wypełnionym kanałem podlodowym (przewodem hydraulicznym zamkniętym). Tak tworzyły się znane w Polsce rynny lodowcowe, w dnach których znajdują się różnej wielkości i kształtu kotły eworsyjne (głęboczki subglacialne).

Nieco inaczej należy widzieć procesy towarzyszące opróżnianiu wewnętrznych zbiorników wodnych lodowca lub jezior supraglacialnych¹⁰. Woda spływa wtedy pionowo, nierzadko w kanałach zamkniętych, zaś jej przepływ może odbywać się pod znacznym ciśnieniem, nawet do kilkunastu atmosfer¹¹. Porównać to można do odkorkowania wanny z wodą. W procesie takim, intensywne przepływy, napotykając grunt w spągu lodowca, zaczynają jego urabianie. Ten proces można z kolei sobie wyobrazić jako cięcie metalu strumieniem wody pod wielkim ciśnieniem (technologia *waterjet*). Wytwarzają się wtedy głęboczki supraglacialne, których mechanizm powstawania jest dla nas szczególnie interesujący. W zależności od tego, w jakim podłożu nastąpiło „hydrowiercenie”, wytworzone formy mają mniej lub bardziej regularne kształty. Nadmiar wody z urobkiem (płuczka) wynoszony jest poza utworzoną strukturę i rozplywa się. Do czasu otwarcia większych kanałów odpływowych płuczka wciskana jest pomiędzy lód a grunt. Po ich przebiegu zwiększenie przekroju czynnego powstałej rzeki subglacialnej powoduje spadek ciśnienia, co zmniejsza

zdolność do transportowania materiału wleczonego. Następuje wtedy osadzenie materiału wyrwanego i przemieszanego tuż poza kotłem. Przetopienie i wymycie kanałów odpływowych kończy proces deponowania materiału wyrwanego i przemieszanego z wnętrza głęboczków. Tak wyglądał proces powstania „kołnierzy” Pokrzywnickiego wokół współczesnych kotłów jeziornych¹² zawieszonych w strefie szczytowej moraskiej moreny, którym nadano na wyrost nazwę „wałów uderzeniowych”.

Warunki brzegowe do powstania głęboczków moraskich

Aby dokładniej pokazać mechanizm tworzenia się głęboczków moraskich, należy postawić warunki brzegowe dla zaistnienia zjawiska, a następnie pokazać, że „siły i środki” na wykonanie przez naturę zadania były spełnione. Warunki brzegowe zawierają się w poniższych punktach:

Dynamika przepływu wody musiała być na tyle duża, aby wystąpiło „hydrowiercenie” podłoża, zaś system wodny mógł odbierać intensywnie napływającą wodę z urobkiem (płuczka).

Podłoże musi cechować się stabilnością (odpornością) na rozmywanie i samozawalanie się na skutek wielkich przepływów, tak aby po zakończeniu procesu utrzymać charakter kotłów.

Warunkiem fakultatywnym, ale nie koniecznym, jest aby przepływająca woda była czysta bez zawiesiny, tak aby śladów jej działalności pozostało jak najmniej (minimalna ilość osadów żwirowo-piaszczystych w obrębie zagłębień bezodpływowych zgodnie z istniejącymi obserwacjami terenowymi).

Warunek pierwszy spełniał któryś z licznych okresowych zbiorników wodnych tworzących się w lodowcu w czasie jego recesji. Musimy pamiętać, że pomimo wstrzymania się jego ekspansji, grubość pokrywy lodowej sięgała setek metrów. Dla porównania najwyższy punkt moreny moraskiej to około 150 m npm. Miejscowy lodowiec subpolarny¹³ miał wewnątrz przemarznęte i posiadał nieckowaty kształt odzwierciedlający topogra-

⁹ LIDAR (Light Detection and Ranging) — urządzenie działające na zasadzie oświetlenia obiektu laserem i analizie odbitej wiązki. W idei swej jest analogiczne do urządzeń radarowych, pracujących w zakresie fal ultrakrótkich.

¹⁰ Jezioro supraglacialne — jezioro położone w obniżeniu na lodzie lodowcowym, zanikające w miarę jego topnienia. (SGD)

¹¹ 1 atmosfera odpowiada około 10 m słupa wody.

¹² Kotły jeziorne to określenie dla dzisiejszej pozostałości po głęboczkach moreny moraskiej.

¹³ Lodowiec subpolarny — lodowiec, który latem na powierzchni topnieje, podczas gdy jego masa jest stale przemarznęta. (SGD)

ficznie wewnątrz moreny moraskiej. Przemarznięcie i kształt misy umożliwiły gromadzenie wód roztopowych. W okresie recesji lodowca były warunki umożliwiające szybki napływ wód do rezerwuarów wewnątrzlodowcowych. Wydaje nam się to niemal niemożliwe, ale aby wypełnić taki zbiornik wystarczyła jedna duża burza w okresie letnim. W przypadku moraskim rozszczelnienie musiało nastąpić w jednym z młynów lodowcowych¹⁴, w tak zwanej strefie przetain¹⁵, które występowały nad kulminacją czoła moreny moraskiej. Jest to na przykład obszar dzisiejszego rezerwatu. Reszta była już tylko katastrofą geologiczną. Spływające w dół wody rozpoczęły „hydrowiercenie” tworząc głędoczki supraglacialne. U Pokrzywnickiego są to kraterki o numerach od 1 do 4 oraz 6; u Stankowskiego zagłębienia od A do C oraz E i F. Odpływająca dalej woda tworzyła rzekę subglacialną. W jednej z odnóg prąd wody utworzył głędoczek subglacialny znany jako kraterka Pokrzywnickiego o numerze 7. Katastrofa taka trwała nie dłużej jak 2 doby. Wyliczyć to można z potencjalnej zasobności zbiornika znajdującego się w lodowcu (powierzchnia niecki pomnożona przez słup wody) oraz przekrojów odpowiadających powierzchni głędoczków supraglacialnych.

Spełniając drugi warunek trzeba zaznaczyć, że przedstawione wyżej procesy odbywały się cyklicznie. Fenomenem pozostaje fakt, że jeden ze „spustów” wody trafił na podłoże, które spełniało warunki do wytworzenia się dokładnie kolistych form, nie podatnych na rozmywanie. Do skał takich należą gliny zwałowe i leżącej tuż pod nimi glaciektonicznie zmienione iły poznańskie. Twardoplastyczne skały ilaste są mało podane na rozmywanie. Wynika to z ich małej nasiąkliwości. Potrzeba długiego czasu, aby rozmiękczyć iły i je wypłukać. Jak napisano wyżej, czas trwania katastrofy należy szacować w dniach, co uniemożliwiało ten proces. Natomiast potopowy przepływ powodował wy-

¹⁴ Młyn lodowcowy pionowa szczelina w lodowcu, złobiona przez obficie spływające z powierzchni lodu, wirujące wody supraglacialne z pokruszonym materiałem skalnym. U jego podstawy może występować głędoczek. (SGD)
¹⁵ Stankowski W. „Meteoryt Morasko. Osobliwość obszaru Poznania” Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2010, ISBN 978-83-232-2113-5 s. 33

rywanie całych fragmentów podłoża i deponowanie ich w pobliżu kotłów tworząc współcześnie znaną mieszaninę. Właściwości mechaniczne gruntów powstałych struktur zbudowanych z glin zwałowych i iłów poznańskich powodowały, że po zakończeniu procesu ich ściany nie zawały się, utrzymując kształt znany obecnie.

W przypadku trzeciego warunku należy zaznaczyć, że wody zbiornika wewnątrzlodowcowego generalnie cechowały się małą ilością zawieszin i materiału wleczonego. To jest przyczyna małych ilości osadów żwirowych i piaszczystych w obszarze oddziaływania zjawiska.

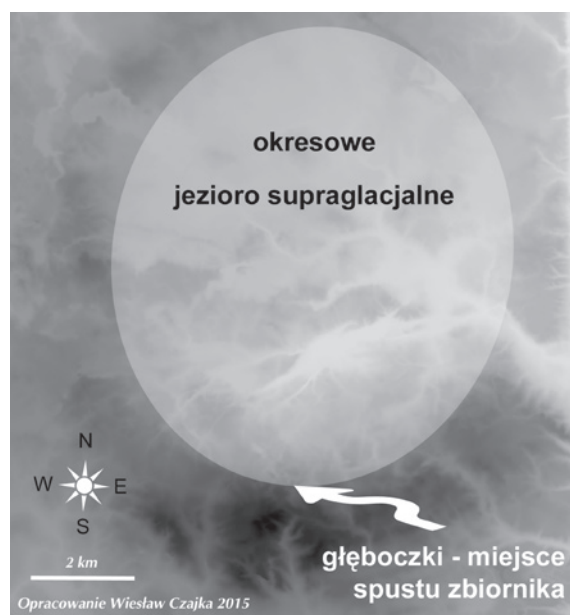
Następujące dane potwierdzają lodowcowo-eworsyjne pochodzenie głędoczków moraskich:

Zobrazowanie w technice LIDAR, na którym faktura pokrycia wzniesień moraskich jednoznacznie wskazuje, że czas powstania kotłów jest nie młodszy niż czas wykształcenia się rzeźby najbliższego otoczenia. Zauważalny jest brak oznak ingerencji innych późniejszych sił w utworzoną powierzchnię zrównania. Zaburzenie takie musiałoby wystąpić, gdyby nastąpiła kolizja ciała kosmicznego z gruntem ziemskim. Obraz LIDAR wykazałby to.

Regularny kolisty kształt kotłów wskazujący na działanie przepływu olbrzymich mas wody urabiających wirowo podłoże, które charakteryzowało się znaczną odpornością na rozmywanie.

Brak w strukturze iłów poznańskich, nawierconych we wnętrzu największego zagłębienia bezodpływowego¹⁶, zaburzeń dynamicznych charakterystycznych dla kolizji kosmicznych. W żadnej serii skalnej uzyskanego rdzenia nie ma oznak działania fali uderzeniowej, rozprężeniowej bądź innej formy dynamicznego

¹⁶ Tamże, profil A s. 42



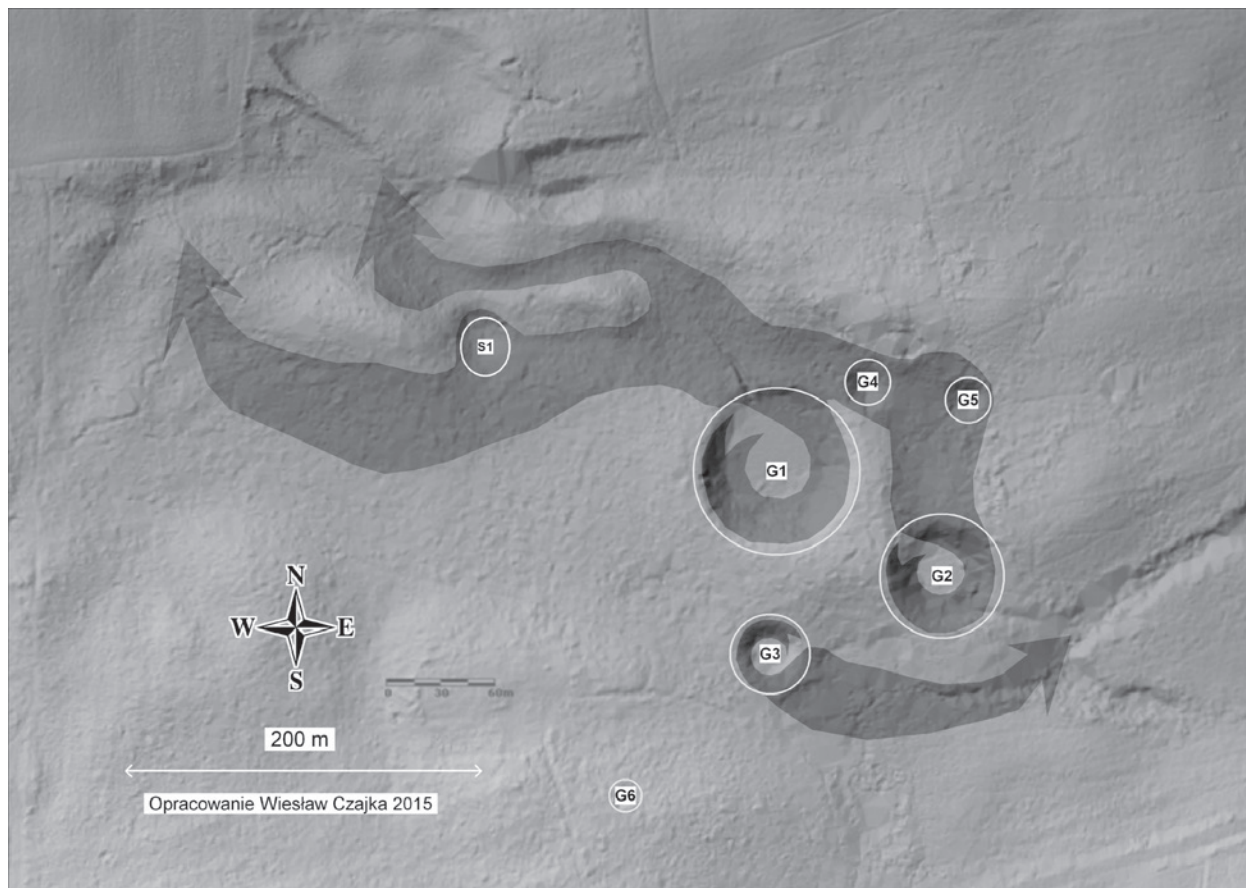
Ilustracja 1 – Zbiornik supraglacialny
 Zobrazowanie należy postrzegać jako pole lądolodu moraskiego. Ciemniejsze pola ilustrują współczesną rzeźbę. Najciemniejsze obszary należy kojarzyć z miejscami osłabienia pokrywy lodowej, tak zwanymi przetainami. W niecce zaznaczono maksymalny zasięg potencjalnego zbiornika wodnego, który mógł wystąpić na lub wewnątrz lodowca (zbiornik supraglacialny). (Do analizy wykorzystano numeryczny model powierzchni terenu z 2004 roku).

oddziaływania na te utwory. Warstwa iłów poznańskich jest niemal ucięta, a na niej spoczywają młodsze osady organiczne. Ostra granica odpowiada procesowi związanemu z powstaniem głędoczka. Analogiczna uwaga dotyczy pozostałych profili geologicznych nawierconych w zagłębieniach moraskich.

Brak osadów piaszczystych i żwirowych w wymienionych wyżej profilach, świadczący o niezwykle intensywnym przepływie wody.

Obecność mieszaniny glin zwałowych oraz iłów poznańskich urobionej i zdeponowanej na krawędzi największego kotła i tworzącej pierścien osadów, uważanej za „wał uderzeniowy” powstały w wyniku kolizji kosmicznej. Obecność tego osadu odpowiada mechanizmowi tworzenia się osadów w obrębie głędoczków supraglacialnych.

Obecność kanałów odpływowych w obrębie szczytowej partii moreny moraskiej wskazujących na znaczne przepływy wód roztopowych, łącznie z głędoczkami subglacialnymi utworzonymi na skutek pojawienia się przeszkód na drodze rzeki powstałej po wywierceniu otworów. Ich obecność warunkuje zdolność do osiągania dużych przepływów poprzez możliwość odprowadzania, a nie blokowania mas wodnych.



Ilustracja 2 – Obraz kotłów moraskich

Zobrazowanie ilustrujące rozkład głęboćków i kierunek spływu okresowych rzek subglacialnych powstałych w trakcie ich tworzenia się. Od G1 do G6 głęboćki supraglacialne, S1 — głęboćek subglacialny. Do analizy wykorzystano fragment zdjęcia wykonanego w technologii LIDAR (Wiki.Meteoritica.pl).

Nieckowaty kształt wnętrza moreny moraskiej ograniczonej łukiem moren czołowych umożliwiającą tworzenie zbiorników supraglacialnych będących częścią miejscowego lodowca subpolarnego.

Obecność zaledwie dwudziestocentymetrowej warstwy gytii spoczywającej na dnie największego kotła potwierdzająca, że wiek głęboćków odpowiada czasom ustępowania lodowca w rejonie najwyższych partii moreny moraskiej. Gytia jest typowym, niemal wskaźnikowym osadem strefy peryglacialnej. Cechuje się znaczną ilością węglanu wapnia, który jest pochodzenia nieorganicznego. Węglan wapnia wytrąca się z przesyconego roztworu zimnego jako osad chemiczny. Warstwy gytii narastają bardzo wolno w warunkach strefy zimnej w dość długich okresach czasu. Jakiegokolwiek ocieplenie klimatu przerywa ten proces. Do czasu ocieplenia małe zlewnie zagłębień moraskich nieumożliwiały gromadzenie zasobnych w składniki mineralne wód, w których mogłyby wytwarzać się osady. Niewielka warstewka gytii to wskaźnik potwierdzający, że powstałe jezioro

miało charakter oligotroficzny¹⁷, którego trwanie mogło być liczone w tysiącach lat. Zagłębienia moraskie są dużo starsze niż ich „kosmiczne” datowanie.

Podsumowanie

Ze względu na ograniczenia wydawnicze niniejsza publikacja zawiera jedynie niezbędne informacje dla pokazania mechanizmu powstania zagłębień moraskich. Głęboćki supraglacialne są większą osobliwością geologiczną, niż mogli przypuszczać autorzy genezy „kosmicznej”. Prawdopodobnie tego typu formacja nigdzie na świecie nie została jeszcze opisana, choć procesy towarzyszące ich powstawaniu są dość dobrze znane. Niedostępność materiału porównawczego nie można jednak usprawiedliwić zaniechania rozwijania koncepcji lodowcowych, a także marginalizowania sygnałów świadczących o takiej

¹⁷ Jezioro oligotroficzne — w typologii jezior: jezioro słodkowodne, charakteryzujące się niską zawartością substancji odżywczych rozpuszczonych w wodzie i dobrym natlenieniem. Cała wyprodukowana materia organiczna podlega procesowi mineralizacji i powraca do obiegu, stąd mała ilość osadów. (Wikipedia)

właśnie genezie. Niech ten przykład będzie *memento* dla środowiska meteoritowego. Podstawą diagnozy kraterów impaktowych jest weryfikowanie hipotezy wraz z każdą nową napływającą informacją i jej pełna dyskusja. Nadchodzące z różnych kierunków i dziedzin sygnały o „niekosmicznym” pochodzeniu struktur moraskich były bagatelizowane, w niektórych przypadkach wręcz wyśmiewane, a ich autorzy, posądzeni o niedorzeczność, poddawani presji środowiska. Nie zważano na argumenty, że żadne kryterium dotyczące struktur impaktowych, zamieszczone na przykład w dodatku do kultowej pozycji Bevana M. Frecha „Traces of Catastrophe” z 1998 roku, nie zostało w Morasku spełnione. Meteority moraskie, poza wspólną lokalizacją, nie mają nic wspólnego z głęboćkami supraglacialnymi utworzonymi na morenie, na którą spadły.

Zagłębienia bezodpływowe partii szczytowej moreny czołowej Moraska nazwałem „polskim Scablands”, gdyż mechanizm ich powstania, podobnie jak mechanizm „kanałowania”, czyli tworzenia gigantycznych wąwozów na pograniczu Kanady i USA, kry-

je się w procesach katastrofalnych przepływów związanych z pękaniem barier lodowych tamujących wielkie zbiorniki wodne. Tam pękały lodowe zapory pionowe, w Morasku przytrafił się przypadek przebiccia przez lodową warstwę poziomą. Wszystkie bariery kiedyś pękają.

Definicje oznaczone jako SGD podane są według „Słownika geologii dynamicznej” W. Jaroszewskiego, L. Marksa i A. Radomskiego, Wydawnictwa Geologiczne 1985

Wiesław Czajka, warszawianin. Geolog, geodeta, hydrograf morski, kartograf. Autor licznych publikacji w uprawianych przez siebie dziedzinach. Członek PTMet od 2003 roku.



Morasko a inne kraterotwórcze meteoryty żelazne

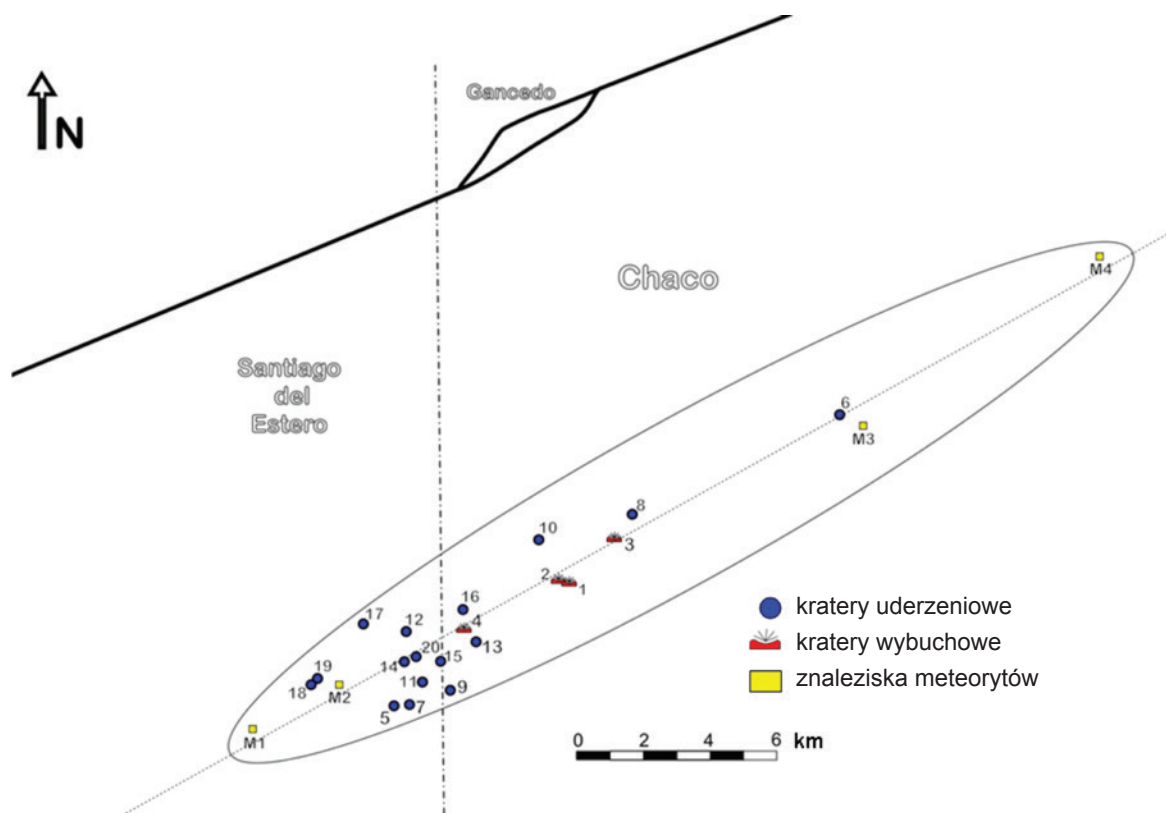
Andrzej S. Pilski

Temat ten intryguje mnie od pewnego czasu, a do jego rozważenia zdopingowało mnie natrafienie na opracowania dotyczące meteorytu i krateru Whitecourt oraz Campo del Cielo, a ponadto wizja pustych stron w tym numerze „Meteorytu” lub konieczność zmniejszenia jego objętości. Nie zamierzam jednak zapychać numeru byle czym, bo wydaje mi się, że ten problem jest interesujący i wart rozważenia.

Deszcz meteorytów Morasko jest uważany za spadek kraterotwórczy nie dlatego, że od czasów Pokrzywnickiego trwa dyskusja nad pochodzeniem zagłębienia na terenie rezerwatu Morasko, ale dlatego, że już Vagn Buchwald zwrócił uwagę na obecność „szrapneli”, czyli fragmentów meteorytu Morasko, których wygląd zewnętrzny i zdeformowana struktura wskazują na przeobrażenia szokowe wskutek uderzenia w grunt. Takie deformacje

pojawiają się zwykle wtedy, gdy większa bryła meteorytu zostaje, w wyniku uderzenia w ziemię, rozerwana na kawałki, w miejscu uderzenia powstaje krater, a oderwane fragmenty lądują w jego pobliżu.

Obecność szrapneli wykorzystuje się w dyskusji o pochodzeniu zagłębienia na terenie rezerwatu, jako argument za ich meteorytowym pochodzeniem. Skoro Morasko jest spadkiem kraterotwórczym, to gdzie są



Rys. 1. Pole kraterów Campo del Cielo. Kółka oznaczają kratery uderzeniowe, a kwadraciki miejsca znalezienia meteorytów ważących ponad 700 kg bez widocznego krateru. Rysunek adaptowany z pracy S. P. Wright et al. (2007). Numery kraterów pochodzą z pracy W. A. Cassidy, M. L. Renard (1996). Obecnie znanych jest 26 kraterów.



Ważący 544 g szrapnel Morasko znaleziony przez autora przy zachodniej granicy rezerwatu Morasko w warstwie kamieni na głębokości około 30 cm.

kratery, jeśli uznamy, że zagłębienia są polodowcowe? Warto jednak zwrócić uwagę na właściwości kraterów, by wiedzieć, co jeszcze powinno występować w Morasku i czego powinniśmy szukać.

Bardzo dobry materiał porównawczy oferuje krater Whitecourt. Odkryto ten krater w roku 2007 i od samego początku jego badaniem zajęli się naukowcy. Wszystkie znaleziska były prawidłowo dokumentowane

i dziś znamy dokładny obraz rozmieszczenia materii meteorytowej wokół krateru. Ponadto krater został utworzony w osadach polodowcowych podobnie jak zagłębienia w rezerwacie Morasko. Można więc spodziewać się w Morasku podobnych efektów jak w Whitecourt.

Krater Whitecourt ma 36 m średnicy i około 6 m głębokości. Około, ponieważ krater jest na zboczu. Jest więc porównywalny ze średniej wiel-

kości zagłębieniami w rezerwacie Morasko. Jego wiek nie przekracza 1100 lat, więc stopień zwietrzenia meteorytów znajdujących w jego pobliżu może dać pewne sugestie co do wieku ziemskiego meteorytów Morasko. Indywidualnych, pokrytych regmagliptami okazów meteorytu Whitecourt znaleziono tylko 14, co sugeruje, że fragmentacja rozpoczęła się dość nisko nad ziemią. Meteoryt Whitecourt jest jednak typu IIIAB, więc bardziej zwarty i z mniejszą liczbą inkluzji w porównaniu z Moraskiem. Natomiast w pobliżu krateru, głównie po jego wschodniej stronie, znaleziono ogromną liczbę, ponad 4700, szrapneli. Liczba ta wydaje się zaskakująca, skoro meteoryt uderzył w dość miękkie podłoże. Widać jednak, że mimo to przy uderzeniu bryła została rozerwana, a jej fragmenty wyrzucone poza krater.

Porównanie z Moraskiem jest utrudnione przez fakt, że w Morasku nie prowadzono podobnie systematycznych poszukiwań. Poszukiwacze pozostawiali większość małych okazów w całości, wobec czego, z wyjątkiem wyraźnie zdeformowanych okazów, trudno powiedzieć, ile znalezionych meteorytów jest szrapnelami.



Wytrawiony przekrój szrapnela ze zdjęcia wyżej z widocznymi deformacjami figur Widmanstättena.

Tego rodzaju informacji większość poszukiwaczy nie udostępniała. Wiadomo jedynie, że szrapnele znajdowano, ale ich liczba i lokalizacja jest niewiadomą. Wydaje się, że większość znajdowanych meteorytów Morasko, to okazy całkowite, co by się zgadzało z faktem, że Morasko ma znacznie więcej inkluzji ułatwiających fragmentację i musiał rozpadać się na wyższej wysokości niż Whitecourt. Niemniej skoro są krater, to przy nich powinny być szrapnele. Co więcej, lokalizacja tych szrapneli powinna odpowiadać kierunkowi spadania meteorytów, bo tak jest i w Whitecourt i w Henbury. Czy wobec tego niedobór szrapneli wskazuje, że zagłębienia w rezerwacie Morasko nie mają związku z meteorytami, czy też może mniejsze szrapnele poszukiwacze ignorowali biorąc je za złom?

Nieco inna sytuacja jest w przypadku Campo del Cielo, gdzie meteoryty spadały pod bardzo małym kątem na równinę pokrytą lessem. Krater, są tam płytkimi, przeważnie wydłużonymi zagłębieniami w lesowej równinie. Największy krater ma 115×81 metrów. Podobnie przy największych kraterach znajdowane są szrapnele, co wskazuje na rozerwanie się bryły meteorytu przy zderzeniu z ziemią. W mniejszych kraterach znajdowane są całe meteoryty.

Badania kraterów Campo del Cielo prowadził przez wiele lat profesor William A. Cassidy, którego pierwsza publikacja o nich ukazała się 50 lat temu. Później był autorem lub współautorem wielu kolejnych. Organizowane przez niego badania terenowe doprowadziły do odnalezienia przy jednym z kraterów największego okazu meteorytu Campo del Cielo, którego wagę oceniono na 33,4 tony (obecnie podawana jest waga 37 ton).

Krater, przy którym znaleziono ten okaz, ma wymiary około 24×16 metrów. Meteoryt był jednak zagrzebany w ziemi obok krateru. Badacze doszli do wniosku, że krater powstał w wyniku działania fali uderzeniowej wytworzonej przez spadającą bryłę, a spadający ukośnie meteoryt wbił się w ziemię przemieszczając się poza brzeg krateru.

Do roku 2007 zlokalizowano w kraterach trzy meteoryty. Ten największy wbił się na głębokość 6 m przy kraterze nr 10, przemieszczając

się w poziomie o około 30 m. W 2005 roku znaleziono przy kraterze 13 bryłę ważącą 14850 kg, która wbiła się na głębokość 7,6 m przemieszczając się w poziomie ponad 50 m. Rok później odnaleziono przy kraterze 17 bryłę 7850 kg wraz z fragmentami ważącymi około 1000 kg, która wbiła się na głębokość 4,6 m, przemieszczając się w poziomie o 24 m.

Wyniki badań obu wspomnianych meteorytów sugerują, że graniczna średnica krateru może wynosić około 30 metrów. W większych kraterach meteoryty zostały rozerwane i w pobliżu takich kraterów powinny być rozrzucone szrapnele, natomiast meteorytu w samym kraterze nie ma co szukać. Mniejsze krater, natomiast zostały utworzone przez meteoryty, które wbiły się w tym miejscu w ziemię bardziej lub mniej centralnie zależnie od kąta spadania.

Wymiary zagłębień w rezerwacie Morasko sugerują więc, że jeśli powstały one w wyniku uderzeń meteorytów, to większość jest kraterami wybuchowymi, którym powinny towarzyszyć liczne szrapnele. Jedynie w dwóch najmniejszych kraterach

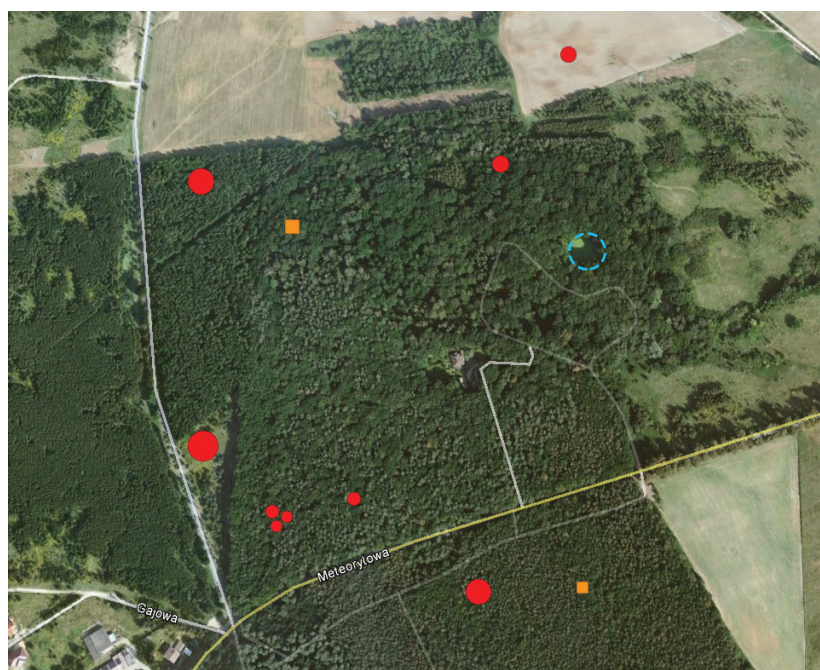


Piętka 58,4 g, odcięta od szrapnela z Moraska. Miejsce znalezienia nieznane. Kolekcja Łukasza Racyńskiego.

można spodziewać się zagrzebanych meteorytów. Dobrze by było ich tam poszukać.

Bibliografia

- W. A. Cassidy, M. L. Renard (1996) Discovering research value in the Campo del Cielo, Argentina, meteorite craters. *Meteoritics & Planetary Science* 31,433–448.
- R. S. Kofman, C.D. K. Herd, D. G. Froese (2010) The Whitecourt meteorite impact crater, Alberta, Canada. *Meteoritics & Planetary Science* 45,1429–1445.
- S.P. Wright, M.A. Vesconi, M.G Spagnuolo, C. Cerutti, R.W. Jacob, W.A. Cassidy (2007) Explosion craters and penetration funnels in the Campo del Cielo, Argentina crater field. *Lunar and Planetary Science* XXXVIII.



Rozmieszczenie szrapneli Morasko znalezionych przez Łukasza Smulę (kółka) i autora (kwadraty). Linia przerywaną obwiedziony jest największy krater w rezerwacie.

Meteoryty w Sosnowcu

Wostatni weekend marca miłośnicy meteorytów spotkali się w Sosnowcu przy stoisku Kazimierza Mazurka. Stoisko było usytuowane przy wejściu do Muzeum, gdzie również można było obejrzeć meteoryty. Zapraszamy do obejrzenia kilku migawek z tego spotkania. Jeśli nie podpisano inaczej, to fot. A. S. Pilski.



Fot. 1. Stoisko gotowe do przyjęcia zwiedzających.



Fot. 2. Zawsze mile widziany przy stoisku prof. Łukasz Karwowski.



Fot. 3. Tomasz Brachanec z nowinami o wietawitach znajdujących w Polsce.



Fot. 4. Młodzi kolekcjonerzy są szczególnie mile widziani.



Fot. 5. Młodzi, ale już poważni, kolekcjonerzy wraz ze sponsorami. Rodzice oczywiście wspierają, ale to chłopcy sami tworzą swoje kolekcje. Fot. K. Mazurek.

Fot. 6. W Muzeum: kącik z Sołtmanami.

