



X Konferencja Meteorytowa

Polskiego Towarzystwa Meteorytowego

w 150-lecie spadku Meteorytu Pułtusk



Pułtusk 2018

KOMITET ORGANIZACYJNY X KONFERENCJI METEORYTOWEJ:

Jadwiga Biała – przewodnicząca

Zbigniew Tymiński

Janusz Kosiński

Paweł Zaręba – grafika & strona www

Jolanta Gałązka-Friedman

SKŁAD I REDAKCJA

Zbigniew Tymiński

*Organizatorzy Konferencji oraz Zarząd Polskiego Towarzystwa
Meteorytowego pragną serdecznie podziękować*

Panu

Konradowi Wójtowiczowi, Prezesowi TE Solutions

w Warszawie



za wsparcie finansowe X Konferencji Meteorytowej w Pułtusku.

SPIS TREŚCI

PROGRAM KONFERENCJI METEORYTOWEJ W PUŁTUSKU.....	5
MIEJSCE I ATRKCJE TOWARZYSZĄCE	7
STRESZCZENIA REFERATÓW	8
PROF. JANA SAMSONOWICZA PRZYGODA Z METEORYTEM PUŁTUSK	9
HISTORIA METEORYTU PUŁTUSK ZANIM DOTARŁ DO NAS.....	10
WYJĄTKOWE OKAZY METEORYTU PUŁTUSK.....	12
METEORYT PUŁTUSK W ZAGRANICZNYCH KOLEKCJACH.....	13
CZY WARTO BADAĆ NADAL METEORYT MORASKO?	14
WŁAŚCIWOŚCI PLANETOID TYPU V ORAZ METEORYTÓW Z GRUPY HED A MODEL POWSTAWANIA UKŁADU SŁONECZNEGO.....	15
JAK POWSTAJĄ PĘCHERZYKI W SKORUPIE OBTAPIENIOWEJ METEORYTÓW?	17
HISTORIA KOLEKCJI METEORYTÓW PUŁTUSKICH ZE ZBIORÓW PAN MUZEUM ZIEMI W WARSZAWIE	19
PFN - POLSKA SIEĆ BOLIDOWA.....	20
CO WYDARZYŁO SIĘ NA MORASKU? PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ NUMERYCZNYCH.	21
JAK ODRÓŻNIĆ ORYGINAŁ OD FAŁSZYWEK: KOPALNY METEORYT Z LECHÓWKI	22
IZOTOP ²⁶ AI WE FRAGMENTACH METEORYTU PUŁTUSK	23
WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW MÖSSBAUEROWSKICH PRÓBKII METEORYTU PUŁTUSK OTRZYMANYCH W TEMPERATURZE POKOJOWEJ (300 K) ORAZ TEMPERATURZE CIEKŁEGO AZOTU (80 K)	24
WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW MÖSSBAUEROWSKICH METEORYTU PUŁTUSK PRZEPROWADZONE W WARUNKACH STANDARDOWYCH ORAZ Z DUŻĄ ROZDZIELCZOŚCIĄ.....	25
NOWE METODY MORFOMETRYCZNE POMOCNE W IDENTYFIKACJI I BADANIACH STRUKTUR IMPAKTOWYCH	26
OSTRÓW-GRĄDY – CZY MAMY DO CZYNINIENIA Z NIEZNANYM POŁEM KRATERÓW W POLSCE?	28
ANALIZA SKUTKÓW OGROMNEGO IMPAKTU W 110 ROCZNICĘ KATASTROFY TUNGUSKIEJ (KT)	30

PROGRAM KONFERENCJI METEORYTOWEJ W PUŁTUSKU

Piątek 20 IV

9:00 – Uroczyste otwarcie Konferencji

9:10 – 9:40 Wykład inauguracyjny

Profesora Jana Samsonowicza przygoda z meteorytem Pułtusk

J.W. Kosiński [Str. 9](#)

9:45 – 11:00 I sesja referatowa

9:45 – 10:10 Historia meteorytu Pułtusk zanim dotarł do nas

A. Krzesińska [Str. 10](#)

10:10 – 10:35 Wyniki analiz wyjątkowych okazów meteorytu Pułtusk

T. Przylibski, K. Łuszczek [Str. 12](#)

10:35 – 11:00 Meteoryt Pułtusk w zagranicznych kolekcjach

J. Biała, T. Jakubowski [Str. 13](#)

11:00 – 11:15 Przerwa kawowa

11:15 – 12:30 II sesja referatowa

11:15 – 11:40 Czy warto badać nadal meteoryt Morasko?

A. Muszyński, Ł. Karwowski [Str. 14](#)

11:40 – 12:05 Poszukiwania meteorytów na pustyniach

M. Woźniak

12:05 – 12:30 Badanie libijskich meteorytów

*A. El Mallul, K. Płacheta, A. Radaszkiewicz, J. Ferdzyn, P. Galdyn,
K. Cuadra, M. Zrobek, A. Jędrzejczak, M. Makówka, M. Krystek,
T. Jakubowski, M. Kozanecki, A. Karczemska*

12:30 – 14:00 Obiad

14:30 – 16:45 Walne Zebranie Polskiego Towarzystwa Meteorytowego

16:45 – 17:00 Przerwa kawowa, a po niej zwiedzanie miasta Pułtusk

19:00 Uroczysta kolacja

Sobota 21 IV

9:15 – 10:35 III sesja referatowa

9:15 – 9:45 Właściwości planetoid typu V oraz meteorytów z grupy HED a model powstawania Układu Słonecznego

D. Oszkiewicz [Str. 15](#)

9:45 – 10:10 Jak powstają pęcherzyki w skorupie obtopieniowej meteorytów?

A. Nicolau- Kuklińska [Str. 17](#)

10:10 – 10:35 Historia kolekcji meteorytów pułtuskich w PAN Muzeum Ziemi

R. Maćkowska [Str. 19](#)

10:35 – 10:50 Przerwa kawowa

10:50 – 12:00 IV sesja referatowa

10:50 – 11:15 PFN, Polska Sieć Bolidowa [Str. 20](#)

Z. Tymiński, P. Żołądek, M. Wiśniewski, K. Polakowski, M. Stolarz, P. Zaręba, M. Myszkiewicz, A. Jaśkiewicz, M.P. Gawroński, T. Suchodolski, A. Olech & PFN

11:15 – 11:40 Od meteoroidu do kraterów – rekonstrukcja spadku Morasko na podstawie badań numerycznych

M. Bronikowska [Str. 21](#)

11:40 – 12:05 Jak odróżnić oryginał od fałszywek: kopalny meteoryt z Lechówki

K. Szopa Ł. Karwowski, T. Brachaniec [Str. 22](#)

12:05 – 12:15 DYSKUSJA

12:15 – 14:00 Obiad

14:00 – 15:00 Sesja plakatowa

- Izotop ²⁶Al we fragmentach meteorytu Pułtusk [Str. 23](#)

A. Burakowska, Z. Tymiński, A. Krzesińska, M. Stępisiewicz, R. Maćkowska, K. Tymińska

- Mossbauerowskie badania meteorytu Pułtusk w temperaturze pokojowej i temperaturze ciekłego azotu, *P. Duda, P. Kazulo, A. Setniewski, P. Bogusz i M. Woźniak* [Str. 24](#)

- Wstępne wyniki pomiarów moessbauerowskich meteorytu Pułtusk przeprowadzone w warunkach standardowych oraz z dużą rozdzielczością

P. Duda, M. Ojrzyńska, P. Szewczak, U. Zielińska, P. Rzepecka, M. Woźniak [Str. 25](#)

- How are the bubbles formed in the fusion crust?

A. Nicolau- Kuklińska, A. Łosiak

15:00 – 16:30 V sesja referatowa

15:00 – 15:20 Nowe metody morfometryczne pomocne w identyfikacji i badaniach struktur impaktowych

T. Walesiak [Str. 26](#)

15:20 – 15:40 Ostrów-Grądy – czy mamy do czynienia z nieznanym polem kraterów w Polsce?

T. Walesiak [Str. 28](#)

15:40 – 16:00 Analiza skutków ogromnego impaktu w 110 rocznicę Katastrofy Tunguskiej

T. Walesiak [Str. 30](#)

16:00 – 16:15 Przerwa kawowa

16:15 – 16:45 Podsumowanie i zakończenie cz.1 Konferencji

Niedziela 22 IV – cz.2. Wizyta w MZ PAN w Warszawie

11:00 – 12:30 Zwiedzanie kolekcji meteorytów, R. Maćkowska

MIEJSCE I ATRKCJE TOWARZYSZĄCE

Coroczna Konferencja Polskiego Towarzystwa Meteorytowego stanowi świetną okazję do poszerzenia wiedzy z zakresu astronomii, planetologii i meteorytyki. Jest spotkaniem kolekcjonerów i ludzi nauki, wspaniałą możliwością do wymiany doświadczeń dotyczących materii pozaziemskiej i nawiązywania kontaktów, współpracy naukowej czy nawet wymiany okazów meteorytów.

Nadchodząca X Konferencja Meteorytowa odbędzie się w Sali Sesyjnej Ratusza w Pułtusk w dniach 20 – 21 kwietnia 2018.

W piątek 20 kwietnia zapraszamy na wspólne zwiedzanie Pułtusk.

Na kolację z okazji 150-lecia spadku Meteorytu Pułtusk zapraszamy do renesansowego Hotelu Zamku Pułtusk czyli do Domu Polonii w Pułtusk.

Umieszczona poniżej mapka przedstawia centrum Pułtusk z oznaczonymi kolorem czerwonym najważniejszymi obiektami, które odwiedzimy podczas X Konferencji.



X Konferencja meteorytowa 20-22.04.2018 r.



STRESZCZENIA REFERATÓW

Abstrakty uszeregowano w kolejności wygłaszanych referatów.

PROF. JANA SAMSONOWICZA PRZYGODA Z METEORYTEM PUŁTUSK

Janusz W. KOSIŃSKI¹

¹ Wyszaków; e-mail: meteoryty@vp.pl

Profesor Jan Samsonowicz (1888-1959) był znakomitym geologiem i paleontologiem, a jego zasługi dla polskiej geologii trudne są do przecenienia. Po studiach w Petersburgu, w 1915 r. podjął pracę jako asystent w Zakładzie Geologii Uniwersytetu Warszawskiego i kontynuował (rozpoczął już w 1911 r.) badania geologiczne w Górach Świętokrzyskich. Z Warszawą był związany do końca życia, a jedynie w latach 1935-1939 mieszkał w Lwowie, gdzie na Uniwersytecie Jana Kazimierza był profesorem i kierownikiem Zakładu Paleontologii. W czasie pracy tak w Warszawie jak i Lwowie, prowadził liczne badania geologiczne, których efektem były odkrycia m.in. złóż węgla kamiennego nad Bugiem, złóż hematytu, syderytu i piritu w Górach Świętokrzyskich czy złoża fosforytów w Rachowie nad Wisłą. Prof. Samsonowicz prowadził też prace w zakresie paleontologii, hydrogeologii i stratygrafii, redagował liczne wydawnictwa geologiczne (m.in. *Acta Geologica Polonica*), opublikował setki prac i artykułów, a podręcznik akademicki „Zarys geologii Polski” napisany wspólnie z Marianem Książkiewiczem i Edwardem Rühle doczekał się wydań w języku rosyjskim i angielskim. Był wykładowcą akademickim, członkiem polskich i zagranicznych towarzystw naukowych, zajmował się historią i popularyzacją geologii; był wielokrotnie odznaczany i nagradzany.

W roku 1922 oraz 1929 Jan Samsonowicz odwiedził obszar spadku meteorytu Pułtusk. Było to dla niego o tyle łatwe, że od 1920 r. był żonaty z Henryką Korwin-Krukowską, której rodzice byli właścicielami majątku w Lipniku, miejscowości oddalonej od obszaru spadku meteorytu o kilka-naście kilometrów. Zebrane informacje od żyjących jeszcze wówczas świadków wydarzenia oraz analiza wcześniejszych źródeł i opracowań były podstawą przygotowania znanej chyba wszystkim interesującym się polską meteorytyką „elipsy rozsiewu pułtuskiego deszczu kamiennego” (oryginalny tytuł mapy). Mapa ta stała się z kolei podstawą do obliczeń gęstości rozsiania odłamków, ich ilości i masy. Wyniki prac, zarówno kameralnych jak i terenowych, ukazały się dopiero w 1952 r. w wydawnictwie „Wiadomości Muzeum Ziemi”. Ma to też wymiar symboliczny, bowiem okazy meteorytu Pułtusk pozyskane przez J. Samsonowicza w trakcie jego poszukiwań terenowych trafiły właśnie do warszawskiego Muzeum Ziemi, jeszcze przed II wojną światową.

Z analizy publikacji oraz pozostawionych w rękopisie notatek z badań terenowych z lat 1921 – 1959 (Archiwum PAN), wynika że prof. Samsonowicz niestety nie podejmował więcej w swoich pracach naukowych – poza wskazanymi powyżej – tematyki meteorytowej. A okazja była: chociażby w 1935 r. w okolicach Łowicza...

LITERATURA

Samsonowicz J., 1952 – O wieku, pochodzeniu i przypuszczalnej ilości oraz masie meteorytu pułtuskiego (z mapką). *Wiadomości Muzeum Ziemi*. IV, 57-68

Wójcik Z.J., 1992-1993 – Samsonowicz Jan (1888-1959), *Polski Słownik Biograficzny*. XXXIV, 436-439

HISTORIA METEORYTU PUŁTUSK ZANIM DOTARŁ DO NAS

Agata KRZESIŃSKA^{1,2}

¹Instytut Nauk Geologicznych PAN, Podwale 75, 50-449 Wrocław, Polska

²Department of Earth Sciences, Natural History Museum, SW7 5BD London, United Kingdom.

Meteoryt Pułtusk jest polimiktyczną brekcją, zbudowaną z fragmentów o różnym stopniu przeobrażeń termalnych H3.8 do H6 [1,2] oraz materiału ksenolitycznego węglistego CM2.6 [3]. Chondryt ten doświadczył skomplikowanej, wielofazowej deformacji na ciele macierzystym [4-6]. Dzięki dużej ilości fragmentów tego chondrytu dostępnego do badań (276 kg oficjalnie zdeponowane jest w kolekcjach prywatnych i muzealnych), możliwe było odtworzenie sekwencji wydarzeń impaktowych, które następując po sobie przeobrażały skałę chondrytową i jej ciało macierzyste.

Historia deformacji chondrytu Pułtusk została zrekonstruowana za pomocą wysokorozdzielczej tomografii komputerowej, skorelowanej z mikroskopią skaningową SEM i analizą składu chemicznego minerałów w mikroobszarze EPMA oraz analizą więźby magnetycznej. Badane fragmenty chondrytu rejestrują skutki deformacji nabytej podczas co najmniej trzech niezależnych wydarzeń impaktowych.

Wiele fragmentów meteorytu zawiera żyły metaliczne, zbudowane z ziaren kamacytu o amebowatym kształcie. Segregacja metalu dla utworzenia żył nastąpiła podczas synakrecyjnego wydarzenia impaktowego, wskutek uprzywilejowanego płynięcia metalu w polu o silnym gradiencie ciśnień. Podczas tego wydarzenia skała chondrytowa otaczająca żyły znalazła się pod wpływem podwyższonych temperatur oraz działania fluidów bogatych w chlor i fluor [5]. Doprowadziło to do silnej rekrytalizacji skały, lokalnego nierównowagowego topienia oraz do przeobrażeń metasomatycznych.

W czasie opóźnionego wielkiego bombardowania wewnętrznego Układu Słonecznego, 3,6 Ga, ciało macierzyste chondrytów H doznało silnej deformacji szkowej, skutkującej powszechnym topieniem [7]. Zapis tego wydarzenia jest także widoczny we fragmentach chondrytu Pułtusk [6]. W brekcji obecne są klasty przechłodzonego stopu krzemianowego z odmieszanymi globulkami eutektycznych przerostów kamacytowo-troilitowych.

Obok produktów tych dwóch deformacji, meteoryt Pułtusk zapisuje wpływ mechanicznego rozdrobnienia, kataklazy i zbrekcjonowania. Jednolita więźba fazy metalicznej w brekcji [4] świadczy, że brekcja została zlitfikowana wskutek późnego impaktu, prawdopodobnie dotyczącego miąższy regolit na ciele macierzystym [4]. Obecność ksenolitów CM wyłącznie w strefach kataklastycznych w brekcji [3] sugeruje ich inkorporację podczas tego właśnie wydarzenia. Być może ostatnie wydarzenie impaktowe związane było z kolizją ciała macierzystego chondrytu Pułtusk z fragmentem węglistym.

LITERATURA

- [1] Manecki A., 1972. Studium mineralogiczno-petrograficzne meteorytu Pułtusk. *Prace mineralogiczne PAN* 27: 53–65.
- [2] Krzesińska A. M., 2016: Thermal metamorphic evolution of the Pułtusk H chondrite breccia – Compositional and Textural Properties not Included in Petrological Classification. *Geological Quarterly*, 60: 211–224.
- [3] Krzesińska A., Fritz J., 2014: Weakly shocked and deformed CM microxenoliths in the Pułtusk H chondrite. *Meteoritics and Planetary Science* 49: 595–610.
- [4] Krzesińska A., Gattacceca J., Friedrich J.M., Rochette P., 2015: Impact-related non-coaxial deformation in the Pułtusk H chondrite inferred from petrofabric. *Meteoritics and Planetary Science* 50: 401–417.
- [5] Krzesińska A.M., 2017: Contribution of early impact events to metal-silicate separation, thermal annealing and volatile redistribution: evidence in the Pułtusk H chondrite. *Meteoritics and Planetary Science* 52: 2305–2321.
- [6] Krzesińska A.M., 2018: Impact melt clasts in the Pułtusk breccia. *Acta Societatis Metheoriticae Polonorum* 9: 31–48.
- [7] Wittmann A., Swindle T.D., Cheek L.A., Frank E.A., Kring D.A., 2010: Impact cratering on the H chondrite parent asteroid. *Journal of Geophysical Research* 115: E07009–E07030.

WYJĄTKOWE OKAZY METEORYTU PUŁTUSK

Tadeusz A. PRZYLIBSKI¹, Katarzyna ŁUSZCZEK¹

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Zakład Geologii i Wód Mineralnych; Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27; 50-370 WROCŁAW; e-mail: Tadeusz.Przylibski@pwr.edu.pl, Katarzyna.Luszczek@pwr.edu.pl

Największy obserwowany deszcz meteorytów kamiennych w historii ludzkości na Ziemi miał miejsce w czwartkowy wieczór 30 stycznia 1868 roku, około godziny siódmej w okolicach Pułtusk. Mimo 150 lat badań spadku pułtuskiego i sklasyfikowaniu meteorytów jako H5, S3 do chwili obecnej nie istnieje żadne opublikowane opracowanie naukowe podsumowujące wszystkie dotychczasowe wyniki badań. Do miana takiego całościowego opracowania pretenduje jedynie niepublikowany doktorat Agaty Krzezińskiej z 2013 roku. Brakuje także w literaturze publikowanych wyników analiz chemicznych minerałów meteorytów z pułtuskiego spadku. W związku z tym autorzy podjęli próbę dołożenia małej cegiełki do poznania mineralogii i petrologii chondrytu Pułtusk.

Znalezione przez Piotra Kusia w 2015 roku okazy meteorytu są niewątpliwie częścią spadku pułtuskiego z 30.01.1868 r. Badany okaz można sklasyfikować jako chondryt zwyczajny H5, W2, S2. Podobnie, jak przedstawiła to obszernie w swojej pracy doktorskiej Agata Krzezińska (2013) autorzy stwierdzili, że badaną skałę charakteryzuje zróżnicowany stopień szokowy – od S1 do S2/3, jak również obecność klastu (chondry?) chromitowo-plagioklazowego skały niezrównoważonej, scharakteryzowanej przez Krzezińską (2013) jako materiał należący do typu petrograficznego H3.8. Ze względu na obecność klastu skały typu H3.8, mimo braku widocznych makroskopowo cech brekcji, badany okaz można uznać za zbrekcjowany.

W składzie badanego fragmentu chondrytu Pułtusk autorzy zidentyfikowali krzemiany: oliwin, diopsyd, enstatyt i klinoenstatyt oraz oligoklaz, tlenki: chromit (i spinel), siarczki: troilit, fazy mineralne stopu FeNi: kamacyt i taenit, a także fosforany: merrylit i apatyt. Skład chemiczny kryształów oliwinu, a także piroksenów nisko i wysoko wapniowych oraz plagioklazów (o składzie oligoklazu) potwierdza, że badany okaz pochodzi ze spadku pułtuskiego i stanowi skałę, którą należy zaliczyć do typu petrograficznego H5.

LITERATURA

Krzezińska A., 2013 – Deformacja i metamorfizm meteorytu pułtuskiego. Praca doktorska. Instytut Nauk Geologicznych PAN, Wrocław. Maszynopis.

METEORYT PUŁTUSK W ZAGRANICZNYCH KOLEKCJACH

Jadwiga BIAŁA
Tomasz JAKUBOWSKI

Okazy meteorytu Pułtusk są licznie reprezentowane w światowych kolekcjach. Przede wszystkim dlatego, że meteoryt ten spadł w postaci największego deszczu meteorytów kamiennych.

W niniejszej pracy przedstawiamy wyniki analizy informacji jakie uzyskaliśmy z muzeów w Europie i Stanach Zjednoczonych, na temat liczby okazów, czasu ich pozyskania oraz pochodzenia (jeśli wiadomości na ten temat zachowały się w dokumentach muzealnych). Dokumentacje muzealne nie zawsze są kompletne, ale największe muzea takie jak Berlin, Londyn, Wiedeń, Paryż mają na tyle dobrze opracowane zbiory, że posłużyć mogły do przygotowania niniejszego opracowania. Niekiedy dostępne są jedynie informacje o liczbie okazów z ich wagami, gdyż nie zachowały się jakiegokolwiek etykiety, czy dokumenty kupna lub wymiany z instytucjami.

Praca daje przybliżoną wiedzę na temat wędrówki meteorytów Pułtusk po światowych kolekcjach. Ukazuje jak w XIX wieku wymieniano meteoryty i nimi handlowano. Jest to również historia badaczy materii pozaziemskiej, kolekcjonerów meteorytów i ludzi, którzy taką materią handlowali.

CZY WARTO BADAĆ NADAL METEORYT MORASKO?

Andrzej MUSZYŃSKI¹ i Łukasz KARWOWSKI²

¹ Instytut Geologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza; ul. Maków Polnych 16; 61-606 Poznań
e-mail: anmu@amu.edu.pl

² Uniwersytet Śląski w Katowicach; Wydział Nauk o Ziemi; ul. Będzińska 60; 41-200 Sosnowiec
e-mail: lukasz.karwowski@us.edu.pl

Pierwsze badania dotyczące rozprzestrzenienia fragmentów meteorytu to lata 50-te. Początki badań nad materią meteorytu sięgają lat 70-tych XX wieku. Nie do końca jest rozpoznana elipsa rozrzutu. Ciągłe następują nowe znaleziska, czasem rekordowe. Fot. 1. Na wielu fragmentach w zwietrzelinie obecne są węgielki drzewne. Mimo prowadzonych od kilkudziesięciu lat badań mineralogicznych ciągle są znajdowane nowe fazy mineralne w meteorycie Morasko jak i w skali światowej. Zidentyfikowano wiele faz mineralnych z grupy pierwiastków rodzimych, siarczków i pokrewnych, krzemianów, tlenków oraz fosforanów. Większość interesujących faz mineralnych skupia się w nodulach grafitowo-troilitowych. Ciągłe trwają poszukiwania mineralogicznych wskaźników impaktu, jak też badania nad deformacjami wewnątrz meteorytu oraz badania mikrometeorytów i szrapneli. Nie do końca poznane są procesy zachodzące w trakcie wietrzenia meteorytu w warunkach naszego klimatu. Autorzy uważają za niezbędne dalsze badania nad meteorytem Morasko.



Fot. 1. „Kruszynka” znaleziona w 2017 roku. Masa 271 kg.

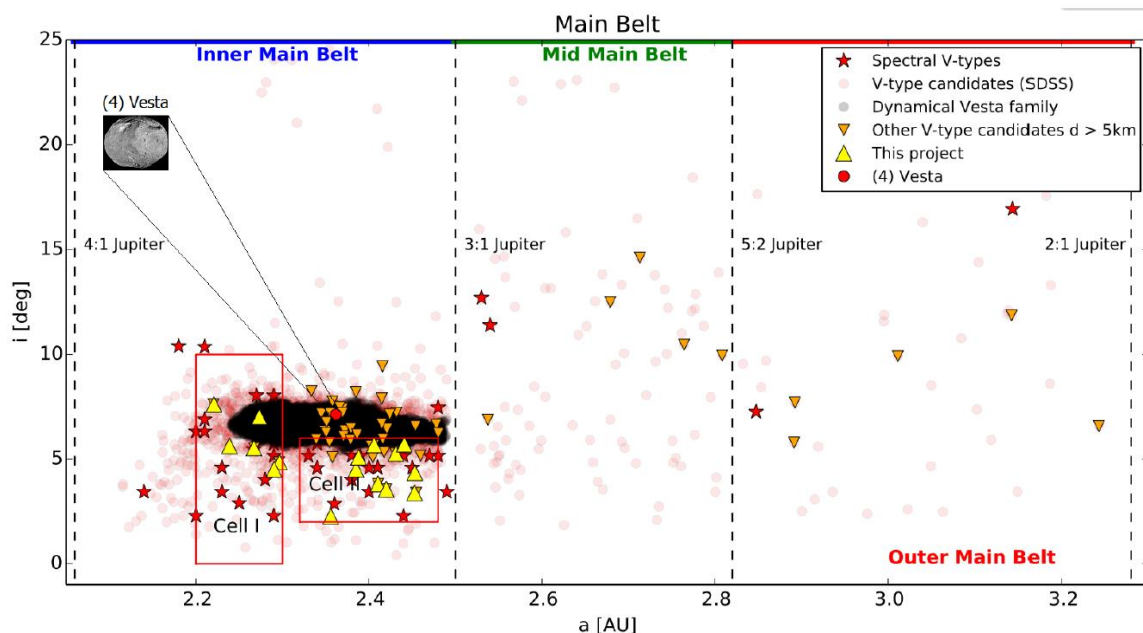
WŁAŚCIWOŚCI PLANETOID TYPU V ORAZ METEORYTÓW Z GRUPY HED A MODEL POWSTAWANIA UKŁADU SŁONECZNEGO.

Dagmara OSZKIEWICZ¹

¹ Instytut Obserwatorium Astronomiczne, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Planetoidy typu V (o bazaltowej powierzchni) oraz meteoryty z grupy HED są pozostałościami tzw. zróżnicowanych planetozymali, czyli załążków planet, pierwszych dużych stałych ciał jakie powstały w Układzie Słonecznym cztery miliardy lat temu. Część z tych ciał utworzyła planety typu ziemskiego, a część została rozerwana na drobne fragmenty które możemy dziś obserwować w postaci planetoid typu V oraz meteorytów z grupy HED.

Obecne teorie powstawania Układu Słonecznego wskazują na istnienie w przeszłości od 30 do 150 zróżnicowanych (na warstwy geologiczne: skorupę, płaszcz, jądro) planetozymali. Potwierdza to obfity materiał dowodowy w postaci meteorytów z grupy HED (np. Banburra Rockhole, Ibitra, Pasamonte, PCA 91007, NWA 011, A-881394) i żelaznych (Burbine et al., 2002). Z drugiej strony



Rys. 1. Rozkład planetoid typu V w Pasie Głównym planetoid (w właściwych elementach orbitalnych pól wielkiej a oraz nachyleniu orbity i). Na czarno zaznaczona jest rodzina planetoidy Westa. Planetoidy oznaczone symbolem gwiazdy to spektroskopowo potwierdzone planetoidy typu V. Planetoidy wybrane do badań w tym projekcie oznaczone są trójkątami skierowanymi w górę, a pozostałe planetoidy podejrzane o powierzchnię bazaltową oznaczone są różowymi punktami. Trójkąty w dół oznaczają planetoidy podejrzane o posiadanie powierzchni bazaltowej i o średnicy większej niż 5 km. Rezonanse z Jowiszem (4:1, 3:1, 5:2, 2:1) dzielą Pas planetoid na wewnętrzny, środkowy i zewnętrzny. Ramkami zaznaczono rejony szczególnie istotne dla poszukiwań nie-Westoidów.

obserwacyjnie stwierdzono tylko jedną dużą (4 Westa oraz jej rodzina - Westoidy) i kilka mniejszych planetoid (1459 Magnya, 21238 Panarea, 40521 1999 RL95, 10537 1991 RY16) czyli ślady zróżnicowanych planetozymali, co jest znacznie mniej niż oczekiwane 30-50 zróżnicowanych ciał. Problem ten znany jest w planetologii jako problem brakującego płaszcza. Możliwe iż zróżnicowane planetozymale uformowały się w rejonie planet typu ziemskiego (Bottke et al., 2006), a nie w Pasie Głównym planetoid jak do tej pory sądzono (Burbine et al., 2002). Zostały one następnie rozerwane w kolizjach i przerzucone do obecnego Pasa Głównego. Ten scenariusz przewiduje obfitość planetoid typu V w wewnętrznym Pasie Głównym. W tym projekcie planujemy zweryfikować to teoretyczne istnienie planetoid typu V innych niż Westoidy (związane z Westą) w wewnętrznym Pasie Głównym oraz przetestować teorię Bottke et al. 2006.

Ze względu na to że wewnętrzny Pas Główny jest zdominowany przez rodzinę Westy (Westoidy) oraz tzw. uciekinierów z Westy, wykonujemy szczegółowe badanie właściwości fizycznych (widma, rotacja, kształt, masy) i dynamicznych planetoid poza dynamiczną rodziną Westy. Właściwości te porównujemy z właściwościami typowych Westoidów, modelem dynamicznym ewolucji rodziny Westy (Nesvorný et al. 2008) oraz modelem Bottke et al. 2006. Pozwoli to na określenie czy i które planetoidy nie są częściami Westy oraz wyznaczenie ich rozkładu przestrzennego. Bezpośrednie porównanie obserwowanego rozkładu z modelem Bottke et al. 2006 pozwoli na wyznaczenie miejsca formowania się zróżnicowanych planetozymali, ich ilości oraz masy. Na Rys. 1 przedstawiono położenie wybranych do analizy planetoid (trójkąty skierowane w górę).

Dla określenia ich właściwości rotacyjnych oraz kształtu wykonujemy obserwacje fotometryczne m.in. na teleskopach JKT (La Palma), RBT (Arizona), oraz Hall (Arizona). Następnie przy użyciu metody epok oraz metody inwersji krzywych zmian blasku wyznaczamy kierunek rotacji oraz kształt tych obiektów. Parametry te (wraz z rozmiarem i parametrami termicznymi) niezbędne są do całkowania numerycznego orbit tych planetoid oraz określenia ich kierunku migracji. W szczególności planetoidy rotujące wstecznie migrują do wewnątrz Układu Słonecznego, a planetoidy rotujące prosto na zewnątrz (dzięki tzw. efektowi Jarkowskiego). Dzięki dokładnemu wyznaczeniu parametrów fizycznych możliwe jest prześledzenie historii dynamicznej oraz pochodzenia tych obiektów.

Dla określenia właściwości chemicznych wykonujemy obserwacje spektroskopowe na teleskopach SALT, NOT (zakres widzialny) oraz DCT (podczerwień). Pozwala to na określenie ich typu taksonomicznego oraz porównanie właściwości tych widm z widmami typowych Westoidów, Westą oraz meteoroidów z grupy HED.

W trakcie prezentacji przedstawione są pierwsze wyniki badań właściwości wybranych planetoid.

Projekt finansowany jest przez Narodowe Centrum Nauki (grant nr 2017/26/D/ST9/00240) w ramach konkursu SONATA13.

LITERATURA

- Bottke, W. F., Nesvorný, D., Grimm, R. E., Morbidelli, A., & O'Brien, D. P. 2006, *Iron meteorites as remnants of planetesimals formed in the terrestrial planet region*, Nature, 439, 821
- Burbine, T. H., McCoy, T. J., Meibom, A., Gladman, B., & Keil, K. 2002, *Asteroids III*, 653
- Nesvorný, D., Roig, F., Gladman, B., et al. 2008, *Fugitives from the Vesta family*, Icarus, 193, 85

JAK POWSTAJĄ PĘCHERZYKI W SKORUPIE OBTOPIONIOWEJ METEORYTÓW?

Agata NICOLAU-KUKLIŃSKA¹, Anna ŁOSIAK²

¹ Centrum Badań Kosmicznych PAN, ul. Bartycka 18a, 00-716 Warszawa, ank@cbk.waw.pl

² Instytut Nauk Geologicznych PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

1. WSTĘP

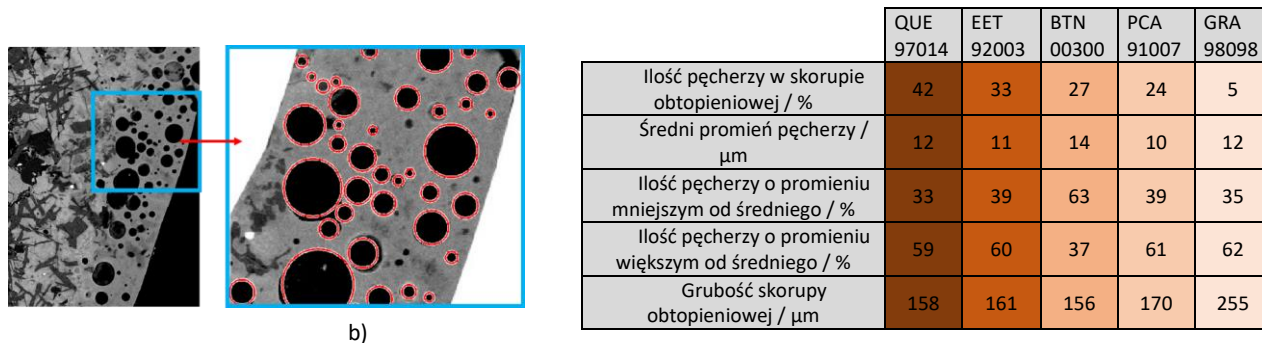
Materia pozaziemska nieustannie bombarduje atmosferę Ziemi. Szacuje się, że rocznie jest to 15000 ton, z czego ogromna większość (95%) to cząstki mniejsze niż 1500 μm (Greshake et al., 1998). Duża prędkość przelotu meteoroidu przez atmosferę powoduje tarcie z cząsteczkami powietrza i podgrzanie jego powierzchni do 1000°C. Zewnętrzna warstwa meteoroidu ulega stopieniu, tworząc **skorupę obtopieniową** (SO) o grubości od 100 do 1000 μm .

Większość materii kosmicznej ulega całkowitemu stopieniu w atmosferze i dociera w formie mikrometeorytów na powierzchnię Ziemi. Aby prawidłowo zinterpretować pochodzenie mikrometeorytów

niezbędne jest poznanie procesu powstawania skorupy obtopieniowej.

Skorupa obtopieniowa meteorytów eukrytowych charakteryzuje się obecnością **pęcherzyków**, okrągłych pustych przestrzeni w jej wnętrzu. Do tej pory istniała hipoteza, że za ich powstawanie odpowiedzialny jest troilit (FeS), a dokładniej lotna siarka wchodząca w jego skład (Genge & Grady, 1999). Projekt ma za zadanie poznać źródło powstawania pęcherzyków, by następnie przybliżyć mechanizm powstawania skorupy obtopieniowej.

2. METODYKA

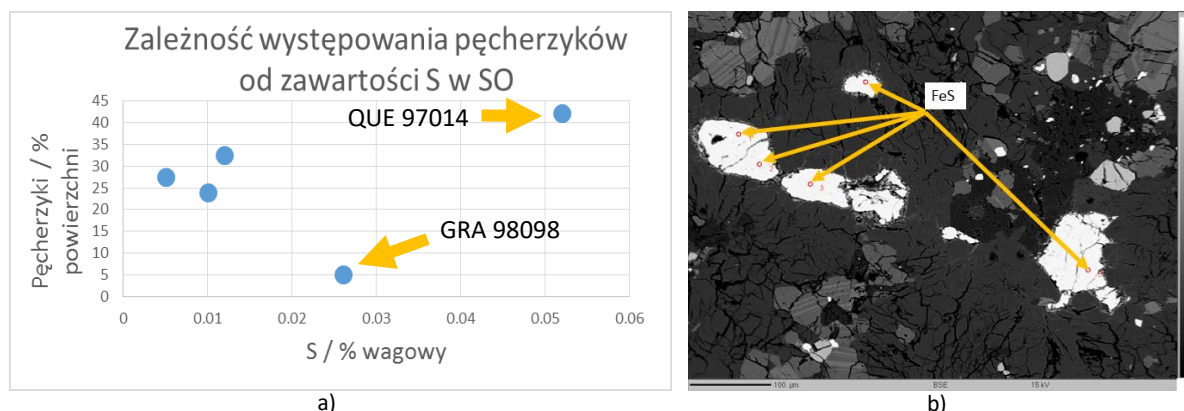


Rys. 1. a - Identyfikacja pęcherzyków w skorupie obtopieniowej meteorytu PCA91007, b – statystyczne parametry pęcherzyków w skorupie obtopieniowej badanych meteorytów.

Badania przeprowadzono na meteorytach kamiennych pochodzących z Vesta-4: QUE 97014, EET 92003, BTN 00300, PCA 91007, GRA 98098. Wykonano zdjęcia SEM skorupy obtopieniowej meteorytów (Rys. 1. a) a następnie dokonano jej charakteryzacji programem stworzonym w oprogramowaniu Matlab (Rys. 1. b). Analizę składu pierwiastkowego meteorytów przeprowadzono za pomocą mikrosondy elektronowej CAMECA SX 100. Średni skład pierwiastkowy obliczono na podstawie 120 pkt pomiarowych, znajdujących się na powierzchni 1680x1240 μm we wnętrzu meteorytu. Szukano korelacji pomiędzy poszczególnymi składnikami a występowaniem pęcherzyków.

3. WYNIKI

Badania składu pierwiastkowego wykazały niewielki spadek zawartości siarki w skorupie obtopieniowej w porównaniu do wnętrza meteorytu. Ilość siarki jest jednak niewielka i wynosi maksymalnie 0,08 % wagowych. Rys. 2. a przedstawia korelację pomiędzy zawartością siarki w skorupie obtopieniowej a występowaniem pęcherzyków. Meteoryt QUE 97014 charakteryzuje się najwyższą zawartością siarki i jednocześnie posiada on największą ilość pęcherzy w skorupie obtopieniowej (Rys. 1. a).



Rys. 2. a - Korelacja zawartości S z ilością pęcherzyków w SO, b – kryształy troilitu w meteorycie QUE 97014.

Dodatkowo w jego wnętrzu można zaobserwować duże kryształy troilitu – FeS (Rys. 2. b). Kryształy pod wpływem temperatury ulegają termalnemu rozkładowi i wzbogacają **miejscowo** skorupę obtopieniową w dużą ilość siarki 0,2 – 0,5 % wagowych. Wysoka temperatura powoduje rozprężenie siarki tworząc pęcherzyki, dlatego siarka w dużych ilościach nie jest obserwowana w jednolitej skorupie obtopieniowej.

Potwierdzeniem jakoby troilit był odpowiedzialny za powstawanie pęcherzyków jest mała ich ilość w meteorycie GRA 98098. Mimo, że w skorupie obtopieniowej posiada on siarkę, nie jest ona dostateczna do powstania pęcherzyków. Meteoryt ten nie posiada kryształów troilitu w swoim wnętrzu, a więc nie posiada źródła siarki, która w procesie rozkładu termicznego dostarczana byłaby do skorupy obtopieniowej.

Proces powstawania skorupy obtopieniowej zależy również od warunków w jakich przebiega proces, dlatego też dalsze prace w projekcie skupione będą na symulacjach komputerowych oraz na eksperymencie laboratoryjnym tworzenia skorupy obtopieniowej.

LITERATURA

- Genge M.J., Grady M.M., 1999, *The fusion crusts of stony meteorites: Implications for the atmospheric reprocessing of extraterrestrial materials*. Meteoritics & Planetary Science, Vol. 34, pp. 341-356.
- Greshake A. et al., 1998, *Heating experiments simulating atmospheric entry heating of micrometeorites: Clues to their parent body sources*. Meteoritics & Planetary Science, Vol. 33, pp. 267-290.

HISTORIA KOLEKCJI METEORYTÓW PUŁTUSKICH ZE ZBIORÓW PAN MUZEUM ZIEMI W WARSZAWIE

Roksana MAĆKOWSKA¹

¹ Polska Akademia Nauk Muzeum Ziemi w Warszawie. 00-488 Warszawa, Al. Na Skarpie 20/26, 27,
e-mail: rmackowska@mz.pan.pl

PAN Muzeum Ziemi w Warszawie mieści się przy Al. Na Skarpie 20/26 i 27, w rejonie dawnych założeń pałacowo-ogrodowych „Na Górze”. Instytucja jest kontynuacją tradycji Towarzystwa Muzeum Ziemi powołanego w Warszawie w 1932 r. Pierwsze kolekcje muzealne zaczęto gromadzić w 1933 r., a publiczną działalność popularyzatorską zainaugurowano w roku 1938. W roku 1947 całość zgromadzonych kolekcji została przekazana Państwu pod warunkiem utworzenia publicznego Muzeum Ziemi. W 1959 r. jednostka została przejęta przez Polską Akademię Nauk, a obecnie stanowi pomocniczą placówkę naukową, podporządkowaną Wydziałowi III Nauk Ścisłych i Nauk o Ziemi. Do zadań Muzeum należy gromadzenie i ochrona zbiorów (w tym meteorytów), ich dokumentacja i udostępnianie do celów badawczych, popularyzatorskich, oraz działalności edukacyjno-oświatowej.

Polska Akademia Nauk Muzeum Ziemi aktualnie posiada w swojej kolekcji meteorytów 25 okazów pochodzących ze spadku w okolicach Pułtusk (łącznie 18,08kg). Pierwsze okazy meteorytu kamiennego Pułtusk ofiarował Towarzystwu Muzeum Ziemi prof. Jan Samsonowicz w roku 1938. Około roku 1952 do omawianej kolekcji trafiły trzy okazy podarowane przez Wolną Wszechnicę Polską. W roku 1955 Zakład Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego przekazał odłamek o masie 15,3g. W roku 1956 Muzeum Ziemi nabyło fragment meteorytu Pułtusk o masie 8100g. Jest to największy fragment tego meteorytu w zbiorach polskich i drugi co do wielkości na świecie. Okazy znajdujące się w zbiorach PAN Muzeum Ziemi zebrane zostały kilkadziesiąt lat po spadku, co jest przyczyną ich częściowego zwiertzenia.

Meteoryty pułtuskie ze zbiorów Muzeum Ziemi po raz pierwszy zaprezentowano w 1948 r., w Państwowym Instytucie Geologicznym w Warszawie, na wystawie pt. „Ziemia i jej dzieje”. W roku 1951 w budynku przy Al. Na Skarpie 20/26, otwarto wystawę pod tym samym tytułem (Hanczke, 1995). W 1998 roku, z inicjatywy Teresy Hanczke powstała wystawa „Kamienie z nieba – meteoryty ze zbiorów Muzeum Ziemi”. (Mizerska, 1998). Od 2006 roku w Muzeum można podziwiać wystawę „Meteoryty – kamienie z nieba”, poświęconą zagadnieniom meteorytyki. Przedstawione na niej zostało 90 meteorytów z Polski i ze świata (w tym fragmenty meteorytu Pułtusk).

Meteoryty z kolekcji Muzeum przekazywane były do badań różnym ośrodkom naukowym. Między innymi Instytutowi Chemii Maxa Plancka w Mainz, Europejskiej organizacji Badań Jądrowych w Genewie, Wydziałowi Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Instytutowi Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu oraz Narodowemu Centrum Badań Jądrowych w Świerku.

W roku 2008 w Muzeum Ziemi odbyła się konferencja zatytułowana „Meteoryt Pułtusk”, zorganizowana z okazji 140. rocznicy spadku meteorytu Pułtusk. 19 maja 2018 roku 150-cio lecie deszczu meteorytów w okolicach Pułtusk będzie głównym tematem Nocy Muzeów.

LITERATURA

Hanczke T., 1995 – *Meteoryty i Tektyty w zbiorach Muzeum Ziemi [Katalog]*, PAN – Muzeum Ziemi.
Mizerska M., 1998 – *Otwarcie wystawy - Kamienie z nieba - meteoryty ze zbiorów Muzeum Ziemi*.
Przegląd Geologiczny, Vol. 46, No. 2, pp. 115–116.

PFN - POLSKA SIEĆ BOLIDOWA

Zbigniew TYMIŃSKI^{1,2}, P. ŻOŁĄDEK², M. WIŚNIEWSKI³, K. POLAKOWSKI², M. STOLARZ², P. ZARĘBA², M. MYSZKIEWICZ⁴, A. JAŚKIEWICZ², M.P. GAWROŃSKI⁵, T. SUCHODOLSKI⁶,
A. OLCH⁷ & PFN²

¹ Narodowe Centrum Badań Jądrowych, OR POLATOM, ul. A. Sołtana 7, 05-400 Otwock, Polska

² Pracownia Komet i Meteorów, Polska

³ Główny Urząd Miar, ul. Elektoralna 2, Warszawa

⁴ Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego, Al. Ujazdowskie 4, Warszawa

⁵ Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK, ul. Grudziądzka 5, Toruń

⁶ Centrum Badań Kosmicznych PAN, ul. Bartycka 18A, Warszawa

⁷ Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN, ul. Bartycka 18, Warszawa

Polska Sieć Bolidowa (PFN) powstała w 2004 roku jako system kamer video CCTV zdolnych do rejestracji jasnych zjawisk bolidowych, które mogą dawać spadki meteoroidów (Olech et al. 2006, Wiśniewski et al. 2017). Obecnie sieć PFN składa się z około 40 stacji wyposażonych w kamery analogowe oraz FullHD, a obserwacje prowadzone są systematycznie każdej nocy. Dzięki wielostanowiskowej pracy, PFN umożliwia wykrywanie nawet najmniejszych bolidów znajdujących w polu jej obserwacji. Zastosowanie zaawansowanych technik obróbki plików video pozwala na określanie absolutnej jasności meteoroidów, masy meteoroidów, trajektorii w atmosferze, parametrów orbitalnych, a także na precyzyjne obliczanie miejsc upadków meteoroidów (Olech et al. 2017; Żołądek et al. 2015).

Dzięki grantowi NCN (A. Olech, nr 2013/09/B/ST9/02168) sieć PFN została wyposażona w spektrografy wysokiej rozdzielczości i od 2014 roku możliwe jest przybliżone określanie składu pierwiastkowego meteoroidów, w szczególności określenie typu meteoroidów, które spadły z zaobserwowanych bolidów, co jest istotne przy wyborze metod poszukiwawczych.

W 2010 roku została utworzona Sekcja Meteoroidowa PFN, której podstawowym celem jest odnajdywanie meteoroidów ze spadków zarejestrowanych przez Polską Sieć Bolidową oraz koordynowanie ich badań i klasyfikacji (Tyimiński et al. 2015, 2016).

Od 2017 roku zaczęto realizować plan rekrutowania wolontariuszy zainteresowanych poszukiwaniami meteoroidów. Jak dotąd akcje takie ogłaszano przy okazji poszukiwań prowadzonych w ramach PFN i uczestniczyło w nich spore grono miłośników meteoroidów.

LITERATURA

Olech A., Żołądek P., Wiśniewski M. et al., 2006, Polish Fireball Network, Proceedings of the International Meteor Conference, Oostmalle, Belgium, s. 53-62.

Tyimiński Z. et al., 2015, Meteorite search campaigns of the Polish Fireball Network, Proceedings of the IMC-2015, Mistelbach, Austria, 2, s. 143-146.

Tyimiński Z., Stolarz M., Żołądek P., Wiśniewski M., Olech A., 2016, Rediscovery of Polish meteorites, Proceedings of the IMC, Egmond, the Netherlands, 2-5 June 2016, s. 289 - 301.

Tyimiński Z. et al., 2018, Raport z poszukiwań meteoroidów w ramach PFN w sezonie 2016/2017. Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, vol. 9, *przyjęte do druku*

Wiśniewski M. et al., 2017, Current status of Polish Fireball Network, Planetary and Space Science, 143, s. 12-20.

Żołądek, P., 2012, PyFN - multipurpose meteor software, Proceedings of the International Meteor Conference, Sibiu, Romania, 15-18 September, 2011, s. 53-55.

CO WYDARZYŁO SIĘ NA MORASKU? PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ NUMERYCZNYCH.

Małgorzata BRONIKOWSKA¹

¹ Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geologii, ul. B. Krygowskiego 12, 60-680 Poznań
e-mail: malgorzata.bronikowska@amu.edu.pl

Kraterzy Morasko znajdujące się w rezerwacie pod Poznaniem wraz z towarzyszącą im elipsą rozrzutu meteorytów żelaznych stanowią unikatowy przykład śladów pozostawionych na ziemi po wybuchowej interakcji meteoroidu z atmosferą ziemską. Dlatego próba rekonstrukcji wydarzeń prowadzących do ich powstania wymaga zastosowania narzędzi numerycznych odpowiednich do symulacji zarówno procesów fizycznych zachodzących w atmosferze ziemskiej przed spadkiem meteorytów, jak i odtworzenia warunków formowania się kraterów uderzeniowych.

1. METODY

W celu wyznaczenia warunków początkowych (masa, prędkość oraz kąt wejścia w atmosferę ziemską) meteoroidu Morasko wykorzystano symulacje komputerowe oparte na standardowych równaniach opisujących ablację i decelerację (Bland i Artemieva 2006). Do odtworzenia procesu fragmentacji wykorzystano zmodyfikowany „Pancake model” (Bronikowska i in. 2017) wraz z dystrybucją mas fragmentów oraz parametrami fizycznymi typowymi dla meteoroidów żelaznych (Ivanov i in. 1997). Symulacje powstawania kraterów uderzeniowych przeprowadzono wykorzystując powszechnie używany kod komputerowy iSALE2D (Wunnemann i in. 2011) oraz parametry początkowe (masa oraz prędkość) pocisków wyliczone przy pomocy modelu przejścia meteoroidu przez atmosferę ziemską. Do symulacji reakcji podłoża na wysokie ciśnienie spowodowane uderzeniem meteorytów z prędkościami większymi niż prędkość dźwięku użyto równania stanu dla kwarcu oraz parametrów fizycznych wyznaczonych eksperymentalnie dla osadów glacialnych.

2. WYNIKI

W wyniku przeprowadzonych symulacji uzyskano zestaw możliwych scenariuszy dla deszczu meteorytów żelaznych Morasko wraz z: parametrami początkowymi meteoroidu takimi jak masa, prędkość oraz kąt wejścia w atmosferę ziemską, dystrybucja mas i prędkości meteorytów tworzących kraterzy oraz warunkami fizycznymi panującymi podczas ich powstania. Ponadto stworzono modelowe elipsy rozrzutu meteorytów oraz wyznaczono kierunek przylotu meteorolitu.

LITERATURA

- Bland P.A. and Artemieva N.A., 2006, The rate of small impacts on Earth, *Meteoritics & Planetary Science*, 41, s. 607–631.
- Bronikowska, M., Artemieva, N.A. Wunnemann, K., 2017, Reconstruction of the Morasko meteoroid impact—Insight from numerical modeling, *Meteoritics & Planetary Science*, 52, s. 1704–1721.
- Chyba C.F., Thomas P.J., Zahnle K.J., 1993, The 1908 Tunguska explosion: Atmospheric disruption of a stony asteroid, *Nature*, 361, s. 40–44.
- Wunnemann K., Nowka D., Collins G. S., Elbeshhausen D., and Bierhaus M. 2011. Scaling of impact crater formation on planetary surfaces—insights from numerical modeling. In *Proceedings of the 11th hypervelocity impact symposium*, edited by Schafer F. and Hiermaier S. *Schriftenreihe Forschungsergebnisse aus der Kurzzeitdynamik*, vol. 20. Freiburg: Fraunhofer EMI. pp. 1–16.

JAK ODRÓŻNIĆ ORYGINAŁ OD FAŁSZYWEK: KOPALNY METEORYT Z LECHÓWKI

Krzysztof SZOPA¹, Łukasz KARWOWSKI¹, Tomasz KRZYKAWSKI¹, Tomasz BRACHANIEC¹

¹ Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec
e-mail: krzysztof.szopa@us.edu.pl

Autorzy chcą przedstawić cechy diagnostyczne, które pozwalają na odróżnienie oryginalnych fragmentów meteorytu kopalnego z Lechówki (Szopa i in. 2017a, b) od tych, które pokazały się od ponad roku w sprzedaży komercyjnej, a będące jej fałszywkami. Przedstawione porównanie uwzględnia wykorzystanie binokularu oraz elektronowego mikroskopu skaningowego, które w zupełności wystarczy aby odróżnić oryginał od fałszywych fragmentów.

Przebadane fragmenty podszywające się pod oryginalny materiał z Lechówki są fragmentami meteorytów. W większości przypadków, minerały budujące omawiane fragmenty, są reprezentowane przez kamacyt i taenit. Podrzędnie występuje schreibersyt oraz chromit. Wszystkie powyższe fazy to minerały pierwotne, które w wielu przypadkach ulegają wietrzeniu, tworząc tlenki/wodorotlenki żelaza z podwyższoną zawartością niklu. Podobne fazy zostały stwierdzone w kopalnych fragmentach meteorytu z Lechówki (Szopa i in. 2017a, b). Fragmenty meteorytu kopalnego z granicy K/Pg z Lechówki są głównie reprezentowane przez produkty wietrzenia faz pierwotnych. Obserwowana, rzeczywista sytuacja jest odwrotna niż w przypadku studiowanego materiału. Ponadto, w oryginalnej Lechówce nie stwierdzono chromitu. Warto podkreślić, że minerały wtórne, zastępujące ziarna pierwotne są głównie reprezentowane przez spinele typu magnetytu. I to one, tworzą swoistą otulinę/film wokół kamacytu, taenitu i schreibersytu. Goetyt i fazy bardziej uwodnione tworzą najbardziej zewnętrzną część, która *de facto* jest strefą kontaktową z osadem. Taka sytuacja spowodowała konserwację pozostałości materiału pierwotnego, co przedłożyło się na jego zachowanie przez 65 mln lat.

Cechą, która wskazuje, że przebadane fragmenty nie są oryginalnym materiałem z Lechówki jest ich morfologia. Fragmenty ujawniają powierzchnię, która często nosi cechy obróbki mechanicznej. Stwierdzone powierzchnie płaskie wyglądają na wypolerowane, natomiast te, które mają charakterystyczne rysy, mogą świadczyć o ich cięciu piłą.

LITERATURA

- Szopa K., Brachaniec T., Karwowski Ł., Krzykowski T., 2017 – *Remnants of altered meteorite in the Cretaceous-Paleogene clay boundary in Poland*. Meteoritics and Planetary Science, Vol. 52, No. 4, pp. 612-622.
- Szopa K., Karwowski Ł., Krzykowski T., Brachaniec T., 2017 – *Fragmenty kopalnego meteorytu z Lechówki: charakterystyka mineralogiczna i geochemiczna*. Acta Societatis Metheoritice Polonorum, Vol. 8, ss. 100-109. (in Polish).

IZOTOP ^{26}Al WE FRAGMENTACH METEORYTU PUŁTUSK

Agnieszka BURAKOWSKA¹, Zbigniew TYMIŃSKI^{1,2}, Agata M. KRZESIŃSKA^{3,4}, Marek STĘPISIEWICZ⁵, Roksana Maćkowska⁶, Katarzyna TYMIŃSKA¹

¹ Narodowe Centrum Badań Jądrowych, ul. A. Sołtana 7, 05-400 Otwock, Polska

² Pracownia Komet i Meteorów, Polska

³ Dept. Earth Sciences Natural History Museum, London SW7 5BD, UK

⁴ Instytut Nauk Geologicznych PAN, Podwale 75, Wrocław, Polska

⁵ Muzeum Geologiczne im. Stanisława Józefa Thugutta, Wydział Geologii UW, Polska

⁶ Polska Akademia Nauk Muzeum Ziemi w Warszawie, Al. Na Skarpie 20/26, Polska

Meteoryt Pułtusk jest przykładem jednego z największych obserwowanych i udokumentowanych zjawisk meteorytowych. Jego fragmenty spadły w 1868 roku na obszarze o długości ok. 15 km – od wsi Obryte do gminy Rzewnie (osada leśna Św. Rozalia). Został on sklasyfikowany jako zbrekcjonowany chondryt H4-5, brekcja regolitowa (Krzesińska A. et al., 2015). Do obliczania wieku meteorytów i rozmiarów meteoroidu może być wykorzystywany izotop ^{26}Al , którego okres półtrwania wynosi $7,17 \times 10^5$ lat. Po rozpadzie ciała macierzystego meteoroid podlega „bombardowaniu” promieniowaniem kosmicznym, które powoduje wzbogacanie skały w ^{26}Al . Po upadku na Ziemię produkcja ^{26}Al ustaje. Powstawanie izotopu ^{26}Al indukowane jest przez reakcje jądrowe w meteoroidzie z cząstkami promieniowania kosmicznego i modulowane przez aktywność słoneczną. Jego stężenie zależy od składu chemicznego i wielkości meteoroidu przed wejściem do atmosfery ziemskiej oraz od położenia próbki w meteoroidzie (Cameron I.R. & Top Z., 1974; Herzog G.F., 1974; Leya I. & Masarik J., 2009). W relacji świadków spadku pojawiła się informacja o dwóch bolidach przechodzących kolejno przez atmosferę. Badania stężenia ^{26}Al w próbkach meteorytu pułtuskiego mogą potwierdzić tę informację. Przebadano siedem fragmentów chondrytu Pułtusk. Zawartości ^{26}Al w poszczególnych próbkach, określone za pomocą nieniszczącej metody spektrometrii gamma przy użyciu wysokowydajnego detektora HPGe (Tymiński Z. et al., 2016), zostały uzupełnione o analizy tekstury przeprowadzone z wykorzystaniem tomografii rentgenowskiej o wysokiej rozdzielczości $\mu\text{-CT}$ (Krzesińska A.M., 2016; Krzesińska A. et al., 2014, 2015). Typowa aktywność promieniotwórcza ^{26}Al w analizowanych chondrytach pułtuskich mieściła się w przedziale $45\text{--}60 \text{ dpm}\cdot\text{kg}^{-1}$, zaś zmierzone różnice aktywności właściwej ^{26}Al zawierały się w zakresie $\pm 15\%$ wartości średniej. Jedynie jeden fragment wykazywał odchylenie od średniej aktywności ^{26}Al o ok. 37%, ujawniając jednocześnie najbardziej znaczący zapis brekcjonowania zidentyfikowany metodą $\mu\text{-CT}$. Próbką ta może wskazywać na przed-atmosferyczną fragmentację meteoroidu bądź odzwierciedlać złożony proces brekcjonowania.

LITERATURA

Cameron I.R, Top Z. (1974) *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38:899–909.

Herzog G.F. (1974) *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38:1827–1841.

Krzesińska A. (2016) *Geological Quarterly* 60:211–224.

Krzesińska A. et al. (2014) *Meteoritics & Planetary Science* 49: 595–610.

Krzesińska A. et al. (2015) *Meteoritics & Planetary Science* 50:401–417.

Leya I. and Masarik J. (2009) *Meteoritics & Planetary Science* 44:1061–1086.

Tymiński Z. et al. (2016) *Meteoritics & Planetary Science* 51: A634.

WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW MÖSSBAUEROWSKICH PRÓBKII METEORYTU PUŁTUSK OTRZYMANYCH W TEMPERATURZE POKOJOWEJ (300 K) ORAZ TEMPERATURZE CIEKŁEGO AZOTU (80 K)

Przemysław DUDA¹ Paweł KAZULO¹ Adrian SETNIEWSKI¹ Patrycja BOGUSZ¹ Marek WOŹNIAK²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

e-mail: pawe.kazulo@gmail.com

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Biologii, ul. Miecznikowa 1, 02-096 Warszawa

e-mail: wozniak@biol.uw.edu.pl

Próbkę meteorytu Pułtusk zbadano za pomocą spektroskopii mössbauerowskiej zarówno w temperaturze pokojowej (300 K), jak i w temperaturze ciekłego azotu (80 K).

Po wykonaniu analizy widma zidentyfikowano następujące fazy mineralogiczne: oliwin, piroksen, troilit, żelazo trójwartościowe, kamacyt, taenit uporządkowany oraz taenit nieuporządkowany. Różnice zawartości poszczególnych faz w widmach otrzymanych w temperaturach 80 K i 300 K nie przekraczają 2 p.p. w przypadku dubletów i 3 p.p. w przypadku sekstetów. Oznacza to, że zawartości faz w obu widmach mieszczą się w granicach błędu.

Wyniki wskazują na to, że współczynniki Debye'a – Wallera wszystkich faz mineralogicznych zawartych w badanej próbce są, w temperaturach mniejszych od pokojowej, takie same i praktycznie równe 1.

LITERATURA

Gałązka-Friedman J. *Zjawisko bezdrzutowej emisji i absorpcji promieniowania gamma (spektroskopia mössbauerowska) w Laboratorium zaawansowanych technik pomiarowych* pod redakcją A.Zagórskiego TEMPUS Series in Applied Physics Warszawa 1997, s.2-12 - 2-28

Wojnarowska A., Dziel T. Gałązka-Friedman J. Karwowski J., 2008, *New mineralogical phases identified by Mössbauer measurements in Morasko meteorite*, Hyperfine Interact. 186, 167-171

Milczarski J., 2009, *Mössbauerowskie badania bazaltów wołyńskich*, Politechnika Warszawska Wydział Fizyki

Verma H.C., Jee K., Tripathi R.P., 2003, *Systematics of Mössbauer absorption areas in ordinary chondrites and applications to a newly fallen meteorite in Jodhpur, India*, Meteorit. Planet. Sci., 38, s. 963–967.

WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW MÖSSBAUEROWSKICH METEORYTU PUŁTUSK PRZEPROWADZONE W WARUNKACH STANDARDOWYCH ORAZ Z DUŻĄ ROZDZIELCZOŚCIĄ

Przemysław DUDA¹ Milena OJRZYŃSKA¹ Patrycja SZEWCZAK¹ Urszula ZIELIŃSKA¹ Patrycja
RZEPECKA¹ Marek WOŹNIAK²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
e-mail: pawe.kazulo@gmail.com

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Biologii, ul. Miecznikowa 1, 02-096 Warszawa
e-mail: wozniak@biol.uw.edu.pl

Badania przeprowadzono na próbce meteorytu Pułtusk za pomocą spektroskopii mössbauerowskiej. Próbkę została zmierzona w temperaturze pokojowej w warunkach standardowych (256 kanałów) oraz w warunkach, które zapewniają większą rozdzielczość (1024 kanały). Statystyki dla pomiarów wynosiły odpowiednio 2,4 oraz 3,6 miliona zliczeń na kanał. Analiza widma pozwoliła na zidentyfikowanie następujących faz mineralogicznych: oliwin, piroksen, troilit, żelazo trójwartościowe oraz trzy fazy metaliczne. Zaobserwowane różnice nie przekraczają 1,5 punktu procentowego. Mieszczą się w granicy błędu, za który przyjmuje się różnice rzędu 2%.

Wyniki pracy przemawiają za tym, że pomiar w warunkach standardowych jest wystarczający do poprawnego wyznaczenia procentowego wkładu powierzchni spektralnych.

LITERATURA

Gałązka-Friedman J. *Zjawisko bezdrutowej emisji i absorpcji promieniowania gamma (spektroskopia mössbauerowska) w Laboratorium zaawansowanych technik pomiarowych* pod redakcją A.Zagórskiego TEMPUS Series in Applied Physics Warszawa 1997, s.2-12 - 2-28

Wojnarowska A., Dziel T. Gałązka-Friedman J. Karwowski J., 2008, *New mineralogical phases identified by Mössbauer measurements in Morasko meteorite*, Hyperfine Interact. 186, 167-171

Scorzelli, R.B., 1997, *A study of phase stability in invar Fe-Ni alloys obtained by non-conventional methods*, Hyperfine Interact. 110, 143-150.

NOWE METODY MORFOMETRYCZNE POMOCNE W IDENTYFIKACJI I BADANIACH STRUKTUR IMPAKTOWYCH

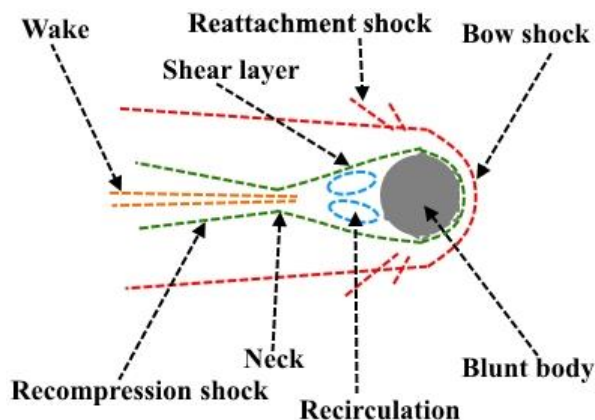
Tomasz WALESIAK

e-mail: tomasz.walesiak@wp.pl

Morfometria to badanie kształtu i wymiarów obiektów, stosowana głównie do identyfikacji kraterów na Księżycu, Marsie i innych ciałach niebieskich. Na Ziemi uznawana jest za niewystarczającą, z jednej strony ze względu na wietrzenie, erozję, zasypywanie czy procesy tektoniczne a z drugiej z uwagi na możliwą inną genezę zagłębień o podobnym, owalnym kształcie (wulkany, oczka polodowcowe, obiekty związane z działalnością człowieka jak odkrywki, stawy, dawne grodziska czy leje po użyciu broni). W związku z tym, aby dane zagłębienie zostało uznane za krater, konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań w celu poszukiwaniu śladów makroskopowych, takich jak obecność stożków uderzeniowych (ang. shatter cones) oraz mikroskopowych jak deformacje planarne (PDF) w minerałach, np. w kwarcu. Problem w tym, że w przypadku mniejszych struktur impaktowych, utworzonych w skałach osadowych, odnalezienie tych ostatnich może być bardzo trudne, a czasem niemożliwe. Stożki uderzeniowe występują przy ciśnieniach w granicach 2–45 GPa a zmiany szokowe w minerałach w zakresie 5–45 GPa (Koeberl, 2002). Czy zatem wszystkie małe kratery, w szczególności zatarte w wyniku erozji, muszą być bezpowrotnie utracone?

Przynajmniej połowa impaktów następuje pod kątem mniejszym niż 45° , a wtedy w strukturach uwidaczniają się cechy charakterystyczne dla ukośnych uderzeń. Takie kratery zwykle nie są idealnie koliste. Rośnie znaczenie poziomej składowej wektora prędkości a to ma wpływ na ostateczny kształt zagłębienia. W odróżnieniu od krateru powstałego w wyniku pionowego uderzenia tylko jedna z dwóch osi pozostaje symetryczna (ta wzdłuż trajektorii). Ta symetria może występować wewnątrz zagłębienia i/lub objawiać się w obrębie wałów. Prostopadle do trajektorii pojawiają się asymetrie. W szczególności dotyczą wyrzuconego materiału pomiędzy stroną, od której nastąpiło uderzenie (ang. uprange) oraz na przedłużeniu trajektorii (ang. downrange). Od strony spadku może pojawić się strefa wolna od wyrzuconego materiału (Zone of Avoidance – ZoA) (np. Herrick i in., 2008).

Jak pokazują eksperymenty (Gault & Wedekind, 1978; Schultz i in., 2009), w przypadku luźnego podłoża (np. gleb piaszczystych) kształt zagłębienia i/lub wałów może przybrać formę charakterystyczną dla struktur sercowatych (ang. cardioid pattern). Choć do tej pory kratery tego typu obserwowano głównie na Księżycu, to dzięki dostępności danych numerycznych (LiDAR) udało się rozpoznać podobne struktury w Polsce (Walesiak, 2016). Z pewnością jest ich więcej w skali całego globu. Przykładowo, prawdopodobnie Campo del Cielo nr 6 (Vesconi i in. 2011) należy do tej samej rodziny.



Rys. 1. Schemat przepływu hipersonicznego.

Drugą metodą identyfikacji kraterów za pomocą morfometrii jest próba rozpoznania śladów fal szokowych obserwowanych w przepływach hipersonicznych (Rys. 1), znanych z obserwacji jasnych meteorów przedzierających się przez atmosferę (Walesiak, 2017). Zwykle w kształcie struktury uwidacznia się wpływ przedniej fali szokowej (BS) (ang. bow shock) a po przeciwnej stronie (w tylnej części) występuje przewężenie (NK) (ang. neck). Warto zauważyć, że pomiędzy tymi kierunkami przebiega oś symetrii zagłębienia. Niekiedy można dodatkowo zaobserwować boczny wyrzut materiału wychodzący od przedniej fali (RS) (ang. reattachment shock wave) oraz pozostawiony ślad (WK) (ang. wake) na trasie poruszającego się bolidu związany z szokową falą rekompresji (ang. recompression shock wave).

Istnieje znakomita liczba przykładów struktur, w których odnajdziemy cechy przepływów hipersonicznych. Należą do nich między innymi:

- mały krater odkryty przez HiRISE na równinie Planum Boreum na północnej półkuli Marsa (McEwen i in., 2010), posiadający BS, NK, RS
- krater Messier A na Księżycu, posiadający BS, NK, RS, WK oraz Messier z BS i NK
- krater Campo del Cielo nr 10 i 13, posiadające BS, NK a dla nr 13 także RS (Vesconi i in. 2011)
- Krater Barringera, posiadający BS, NK, RS, WK
- struktura Porządzie, posiadająca BS, NK, RS, WK
- struktura Ostrów-Grądy 1, posiadająca BS, NK i RS
- krater Morasko nr 1, 2, 3, 8 (numeracja wg Hodge, 1994) posiadające BS, NK
- struktura Batagaika w Jakucji, prawdopodobnie miejsce dawnego impaktu, ujawnione dzięki roztopieniu się wiecznej zmarzliny, posiadające BS, NK, RS, WK
- Nullarbor lub inaczej Coompana Anomaly w południowej Australii (Lawson, 2017), ogromna struktura, posiadająca w pomiarach anomalii magnetycznych i grawitacyjnych wyraźne ślady BS i NK

LITERATURA

- Gault, Donald. E., Wedekind John A., 1978. Experimental studies of oblique impact. LPSC 9th, pp. 3843–3875
- Herrick R.R., Yamamoto S., Barnouin-Jha O.S., Sugita S., Matsui, T., 2008, Constraints from laboratory experiments on crater excavation and formation of an uprange forbidden zone in an oblique impact, Lunar & Planetary Science 39#2305
- Hodge Paul, (1994), Meteorite craters and impact structures of the Earth, Cambridge University Press, 1994
- McEwen A., i in., 2010, The High-Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) during MRO's Primary Science Phase (PSP), Icarus 205, pp. 2–37
- Koeberl C., 2002, Mineralogical and geochemical aspects of impact craters, Mineralogical Magazine, October 2002, vol. 66(5), pp. 745–768
- Lawson, K., 2017, Magnetic mystery on the Nullarbor, (source: <https://blog.csiro.au/magnetic-mystery-on-the-nullarbor/>)
- Schultz P.H., Anderson J.B.L., Hermalyn B., 2009, Origin and significance of uprange ray patterns, LPSC 40#2496
- Vesconi M.A., Wright S.P., Spagnuolo M., Jacob R., Cerrutti C., Garcia L., Fernandez E., Cassidy W.A., 2011, Comparison of four meteorite penetration funnels in the Campo del Cielo crater field, Argentina, Meteoritics & Planetary Science 46, Nr 7, pp. 935–949
- Walesiak, T.M., 2016, Analiza cech impaktu ukośnego na przykładzie struktur Porządzie, Jaszczuły i Ochudno, Acta Societatis Metheoriticae Polonorum, Vol.7, pp. 151–176
- Walesiak, T.M., 2017, Meteor airburst shape as another indicator for small oblique impacts, LPSC 48#1713

OSTRÓW-GRĄDY – CZY MAMY DO CZYNNIENIA Z NIEZNANYM POLEM KRATERÓW W POLSCE?

Tomasz WALESIAK

e-mail: tomasz.walesiak@wp.pl

Z danych historycznych wynika, że przynajmniej dwukrotnie wystąpiły na obszarze Polski zjawiska, w czasie których mogło dojść do spadku większych fragmentów meteorytów i utworzenia kraterów impaktowych. Tak było dnia 14 lutego 1271, gdy w Nowej Marchii i w Wielkopolsce obserwowano 3 kule ognia i jednocześnie odnotowano na tych ziemiach zniszczenia miast, zamków i wsi. Drugie zdarzenie miało miejsce dnia 23 lutego 1660 roku. Nad Gdańskiem widziano ogromny meteor, a z Warszawy i Białegostoku pochodzą doniesienia o 3 słońcach i eksplozji porównanej do zawalenia się 10 wielkich zamków.

Jeśli weźmiemy za przykład dane z Estonii, gdzie w ciągu niespełna 10 tysięcy lat utworzone zostały kratery Kaali, Ilumetsa, Tsõõrikmägi (czyli średnio raz na 3000 lat), to dla siedmiokrotnie większego obszaru (powierzchni Polski), takie wydarzenie mogłoby występować statystycznie raz na 400–500 lat. Z podobnym interwałem spotykamy się właśnie przy wspomnianych wcześniej obserwacjach.

Choć od razu rodzi się pytanie, jak ta nieprawdopodobnie wysoka częstotliwość przekłada się na rzeczywiste zagrożenia dla współczesnej cywilizacji, to jednocześnie można podejrzewać, że małych, trudnych do zidentyfikowania struktur impaktowych (np. ze względu na erozję) może być znacznie więcej, niż się powszechnie uważa.

Argumentem przemawiającym za taką hipotezą może być fakt odkrycia grupy nietypowych zagłębień, posiadających cechy morfometryczne specyficzne dla impaktu kosmicznej skały. Nieznane dotychczas struktury zlokalizowane są w lasach przy trasie Ostrów Mazowiecka – Różan, w pobliżu lądowiska Ostrów-Grądy (stąd proponowana ich nazwa).

Analiza precyzyjnych map ukształtowania terenu, uzyskiwanych dzięki pomiarom laserowym (LiDAR) oraz zastosowanie nowych metod badawczych pozwalają na rozpoznanie starszych i/lub prawie całkowicie zagrzebanych kraterów. Właśnie podczas takich czynności, prowadzonych w 2015 roku w dalszej okolicy niepotwierdzonych jeszcze kraterów Porządzie, Jaszczułty i Ochudno (Walesiak, 2016), zauważono kilka zagadkowych zagłębień, które nie tylko były zlokalizowane na jednej linii, ale także uszeregowane od najmniejszego do największego (jak w klasycznym rozkładzie mas meteorytów w elipsie rozrzutu).

Największe z zagłębień (Ostrów-Grądy nr 1), średnicy około 150 m, wygląda jak po nietypowej eksplozji, w czasie której z jednej strony fala rozchodziła się sferycznie, zaś po bokach gleba została wprost wyrwana. Co ciekawe, podobny kształt obserwowano już wcześniej, w przypadku wspomnianej struktury Porządzie, przy czym tam dodatkowo mieliśmy do czynienia z wewnętrzną górką i wyrzuceniem znacznej części materiału w kierunku spadku, analogicznie jak w czasie eksperymentu Deep Impact (Schultz i in., 2007). Zagłębienia Porządzie i Ostrów-Grądy nr 1 różnią się też odchyleniem ich osi symetrii od północy, co praktycznie wyklucza wspólną genezę i wskazuje kierunki impaktu odpowiednio NW→SE oraz SSW→NNE. Wygląd tych niepotwierdzonych jeszcze kraterów można porównać do obserwacji bolidów na niebie (Walesiak, 2017) (jak np. Meteor Czelabiński), które przedzierają się przez atmosferę z prędkościami wyrażonymi w km/s, a ich kształt determinowany jest prawami fizyki określanymi jako przepływ hipersoniczny (ang. hypersonic flow). Taki przepływ to w uproszczeniu szereg fal szokowych generowanych przed i za poruszającym się ciałem, a jego wierne odwzorowanie w wyglądzie opisanych struktur (i innych znanych kraterów na świecie) przemawia za tym, że podobne zjawiska mają istotny wpływ na proces kraterotwórczy.

Aby upewnić się, czy faktycznie doszło do bocznego wyrzutu materiału (a tym samym prawdopodobnego przysypiania wierzchniej warstwy gruntu), pod koniec 2016 roku przeprowadzono badania terenowe, pozytywnie weryfikujące tą hipotezę. Zgodnie z oczekiwaniami, na głębokości oszacowanego poziomu terenu sprzed impaktu, odnaleziono dobrze zachowaną dawną warstwę próchniczą o miąższości 10–20 cm. Przy okazji wykonywania prowizorycznej odkrywki, tuż nad ciemną glebą, odkryto pofragmentowane kawałki

nieznanego gatunku drewna. Nie przeprowadzono jeszcze datowania, które pokazałoby, kiedy drzewo obumarło (czyli po jakiej najwcześniejszej dacie powinniśmy lokować w czasie to wydarzenie).

Mniejsze zagłębienia, choć są symetryczne względem estymowanej trajektorii, nie posiadają jednak cech przepływu hipersonicznego. Reprezentują jednak inny rodzaj kraterów – tzw. struktury sercowate, uzyskiwane wielokrotnie podczas eksperymentów ukośnych impaktów (np. Gault i Weddekind, 1978; Schultz i in. 2009) oraz często obserwowane na zdjęciach powierzchni Księżyca.

W sąsiedztwie omówionych symetrycznych zagłębień, znajduje się także kilka nietypowych form terenowych, posiadających od strony północnej krawędź w kształcie łuku (jak Ostrów-Grądy nr 1). Jedna z nich, zlokalizowana tuż obok największego obiektu (i wysunięta najbardziej na północ), ma kształt odpowiadający modelowi nadciśnienia obserwowanego podczas eksplozji Meteoru Czelabińskiego (Popowa i in., 2013). Najprawdopodobniej wystąpiło tutaj podobne zjawisko i jedna z największych brył została rozerwana tuż nad ziemią, zostawiając na powierzchni ślad świadczący o skutkach wybuchu.

Ostatecznie pozostaje pytanie, czy znane są jakieś procesy na Ziemi, mogące odpowiadać za powstanie na tak małym obszarze, tak wielu symetrycznych struktur (wszystkich o podobnych azymutach osi symetrii), posiadających cechy znane z eksperymentów, obserwacji kraterów na innych ciałach niebieskich oraz, jak w przypadku największej struktury, kształt świadczący o wpływie fal szokowych charakterystycznych dla przepływu hipersonicznego? Dodajmy do tego odnalezioną, przysypaną piaskiem, dawną warstwę humusową z pofragmentowanymi kawałkami drewna, wskazujące na względnie młody ich wiek.

Wydaje się, że tylko impakt fragmentów kosmicznej skały mógł w taki sposób ukształtować lokalny krajobraz, a tym samym może stać za genezą odkrytych zagłębień.

LITERATURA

- Gault, D.E., Weddekind J.A., 1978, *Experimental studies of oblique impact*, LPSC 9th, pp. 3843–3875
- Herrick R.R., Yamamoto S., Barnouin-Jha O.S., Sugita S., Matsui T., 2008, *Constraints from laboratory experiments on crater excavation and formation of an uprange forbidden zone in an oblique impact*, Lunar & Planetary Science 39#2305
- Popowa O., Jenniskens P., Emel'yanenko V., Kartashova A., Biryukov E., Khaibrakhmanov S., Shuvalov V., Rybnov Y., Dudorov A., Grokhovsky V.I., Badyukov D.D., Qing-Zhu Y., Gural P.S., Albers J., Granvik M., Evers L.G., Kuiper J., Kharlamov V., Solovyov A., Rusakov Y.S., Korotkiy S., Serdyuk I., Korochantsev A.V., Larionov M.Y., Glazachev D., Mayer A.E., Gisler G., Gladkovsky S.V., Wimpenny J., Sanborn M.E., Yamakawa A., Verosub K.L., Rowland D.J., Roeske S., Botto N.W., Friedrich J.M., Zolensky M.E., Le L., Ross D., Ziegler K., Nakamura T., Ahn I., Lee J.I., Zhou Q., Li X., Li Q., Liu Y., Tang G., Hiroi T., Sears D., Weinstein I.A., Vokhmintsev A.S., Ishchenko A.V., Schmitt-Kopplin P., Hertkorn N., Nagao K., Haba M.K., Komatsu M., Mikouchi T., 2013, *Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery, and Characterization*, Science, vol. 342, issue 6162, pp. 1069–1073
- Schultz P.H., Eberhardy C.A., Ernst C.M., A'Hearn M.F., Sunshine J.M., Lisse C.M., i in., 2007, *The Deep Impact oblique impact cratering experiment*, Icarus 190, s. 295–333
- Schultz P.H., Anderson J.B.L., Hermelyn B., 2009, *Origin and significance of uprange ray patterns*, LPSC 40#2496.
- Walesiak T.M., 2016, *Analiza cech impaktu ukośnego na przykładzie struktur Porządzie, Jaszczyty i Ochudno*, Acta Societatis Metheoriticae Polonorum vol. 7, s.151–176
- Walesiak T.M., 2017, *Meteor airburst shape as another indicator for small oblique impacts*, LPSC 48#1713

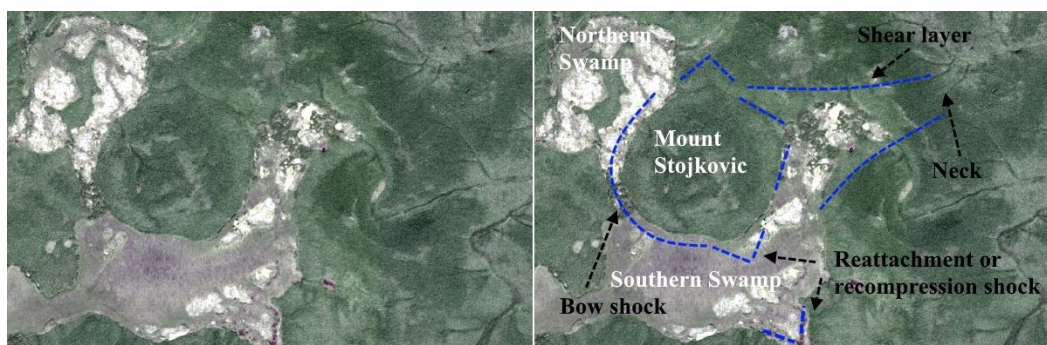
ANALIZA SKUTKÓW OGROMNEGO IMPAKTU W 110 ROCZNICĘ KATASTROFY TUNGUSKIEJ (KT)

Tomasz WALESIAK

e-mail: tomasz.walesiak@wp.pl

Rankiem, dnia 30 czerwca 1908 roku w środkowej Syberii doszło do potężnej eksplozji, w wyniku której zostały powalone drzewa w promieniu około 40 km. Przez lata zastanawiano się, co mogło ją wywołać. Początkowo sądzono, że doszło do spadku wielkiego meteorytu, na co wskazywały relacje świadków o obserwacji ogromnego bolidu. Trudności w odnalezieniu jego fragmentów rodziły wątpliwości i sprawiały, że pojawiały się nowe hipotezy. Obecnie najbardziej popularne są dwie teorie. Jedna mówi o eksplozji w atmosferze ciała kosmicznego na wysokości 5–10 km. Druga o wybuchu gazów zgromadzonych pod powierzchnią ziemi. Oba wyjaśnienia da się podważyć. Zwolennicy tej drugiej teorii wskazują, że odkryte ślady metamorfizmu szokowego, charakterystyczne dla ciśnień powyżej 10 GPa musiałyby powstać w wyniku ogromnego impaktu, a nie ma dużego krateru, który by to ostatecznie potwierdzał (Vannucchi i in., 2015). Czy aby na pewno? Z analizy zdjęć satelitarnych wynika, że około 3 km ENE od epicentrum KT, wyznaczonego na podstawie koncentrycznego układu powalonych drzew, występuje owalny obszar o średnicy około 2 km, odróżniający się wyraźnie od otoczenia. Można w nim rozpoznać ślady fal szokowych znane z przepływów hipersonicznych (PH) (Walesiak, 2017) i obserwacji bolidów w atmosferze, spotykane również w innych potwierdzonych kraterach na Ziemi (np. Campo del Cielo, Morasko) oraz na innych ciałach niebieskich. Od strony WSW widać odzwierciedlenie przedniej fali szokowej w kształcie łuku, w tylnej części (od strony spadku), w tzw. strefie recyrkulacji, kształt jest ścięty, przyjmując formę „ogonka” (wyróżnia się on jaśniejszym odcieniem zieleni, a częściowo wdziera się w niego Bagno Południowe). Symetrycznie względem osi (linii WSW–ENE) możemy również rozróżnić boczne fale szokowe w formie „skrzydeł”, propagujące dalej, szczególnie przy Bagnie Południowym (Rys. 1).

Jak się jednak okazuje, ten hipotetyczny obszar impaktu nie jest zagłębieniem. To góra Stojkovic, wznosząca się na wysokość około 100 m ponad otaczający ją „kołnierz” bagien. Wyjaśnienie tej nieoczekiwanej, przeciwnej obserwacji można znaleźć na mapie topograficznej okolicy, określanej mianem



Rys. 1. Oznaczenie cech przepływu hipersonicznego na zdjęciu satelitarnym okolicy epicentrum Katastrofy Tunguskiej

Wielkiej Depresji Tunguskiej (WDT). Pierścień otaczający bagna (wraz z wyniesionym obszarem) ma kształt ogromnej struktury sercowatej o rozmiarze około 10x8 km, przypominającej 20 razy mniejszy (500x400 m) niepotwierdzony jeszcze krater Ochudno nr 1 w pobliżu Wyszkowa (Walesiak, 2016) oraz odzwierciedlający wyniki eksperymentów w laboratorium (Schultz i in., 2009). Od strony wschodniej występuje charakterystyczne zagięcie łuku wałów do środka struktury (obserwowane w przypadku struktur Porządzie i Jaszczuły), pozostawiając pośrodku strefę wolną od wyrzuconego materiału (ZoA).

Przyjmuje się, że zjawisko modyfikacji krateru i towarzyszące jej powstanie góry centralnej, zachodzi w warunkach ziemskich przy średnicach powyżej 2 km (French, 1998). Badania geologiczne kraterów pokazują, że warstwa skał w ich centralnej części jest zwykle wynoszona powyżej początkowego poziomu (Melosh i Ivanov, 1999), co tłumaczy otoczoną bagnami górę Stojkovic i odkryte deformacje szokowe w minerałach. O tym, że w miejscu KT może występować duży, złożony krater meteorytowy pisano już wcześniej (Hryanina, 1999). Hipoteza zakładała jednak, że eksplozja z 1908 roku wystąpiła nad już istniejącą strukturą, co zostało uznane za nieprawdopodobne. Ten ostatni wniosek potwierdzają dane wykrytej anomalii wieku roślinności. Ze zdjęcia wykonanego w 1985 roku przez satelitę Resurs-F wynika, że świeża roślinność pokrywa się z pierścieniem WDT oraz od strony ENE występują 2 pasma, które mogą być związane z wpływem szokowych fal rekompresji, występujących za meteoroidem (w przepływach hipersonicznych).

Na podstawie wydłużenia struktury, symetrii pierścienia wałów, symetrii kształtu góry Stojkovic, wystąpienia zakazanej strefy, pasma oddzielającego Bagno Północne od Południowego, przesunięcia epicentrum względem góry centralnej, kierunku powalonych drzew oraz anomalii roślinności możemy określić przybliżony kierunek, z którego nastąpiło uderzenie. Wszystkie te dane pokazują zgodnie azymut wynoszący $\pm 75^\circ$. Jest to wartość różniąca się od dotychczas preferowanego kierunku spadku szacowanego na $99\text{--}135^\circ$ (Longo, 2007). Analizując relacje świadków (Krinov, 1955) można dojść do wniosku, że bolid posiadał azymut z przedziału $60\text{--}120^\circ$. Drugim czynnikiem, który miał istotny wpływ na dotychczasowe estymacje jest kształt obszaru powalonego lasu. Zakładano, że przypomina on formę motyla (tzw. Butterfly pattern), także związaną z PH. Jeśli weźmiemy pod uwagę kształt góry centralnej, na której widać kierunki rozchodzenia się bocznych fal szokowych (jeden jest zgodny z kierunkiem powalonych drzew), to dojdziemy do wniosku, że za drugie „skrzydło” uznano zniszczony las na trasie bolidu.

Na koniec warto wspomnieć, że w pobliżu WDT występują jeszcze 2 obiekty o kształcie z wyraźnym wpływem fal szokowych znanych z PH. Wokół większego z domniemyanych kraterów (średnicy około 300 m) widać ślady promieniście wyrzucanego materiału oraz strefę zakazaną (ZoA) od strony spadku. Podobne cechy obserwowano wokół kraterów na innych planetach i podczas eksperymentów (Herrick i in. 2008).

LITERATURA

- French B.M., 1998, Traces of catastrophe. A handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures, Lunar and Planetary Institute, Contribution No. 954, Houston, Texas
- Herrick R.R., Yamamoto S., Barnouin-Jha O.S., Sugita S., Matsui, T., 2008, Constraints from laboratory experiments on crater excavation and formation of an uprange forbidden zone in an oblique impact, *Lunar & Planetary Science* 39#2305.
- Hryanina, L.P., 1999, The bouquet of the meteorite craters in the epicentre of Tunguska Impact 1908 year, *LPS* 30#1186
- Krinov E., 1955, *Meteoryty Olbrzymy*, Warszawa
- Longo, G., 2007, The Tunguska Event, *Comet/Asteroid Impacts and Human Society, An Interdisciplinary Approach*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp. 303–330
- Melosh H.J., Ivanov B.A., 1999, Impact crater collapse, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 1999, Vol. 27, pp. 385–415
- Schultz P.H., Anderson J.B.L., Hermalyn B., 2009, Origin and significance of uprange ray patterns, *LPSC* 40#2496.
- Vannucchi, P., Morgan, J.P., Andronicos, C.L., Della Lunga, D., 2015, Direct evidence of ancient shock metamorphism at the site of the 1908 Tunguska event, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 409, 1 January 2015, pp. 168–174
- Walesiak, T.M., 2016, Analiza cech impaktu ukośnego na przykładzie struktur Porządzie, Jaszczuły i Ochudno, *Acta Societatis Meteoriticae Polonorum*, Vol.7, pp. 151–176
- Walesiak, T.M., 2017, Meteor airburst shape as another indicator for small oblique impacts, *LPSC* 48#1713