

Chmura pyłu wybita
przez misję DART
w czasie zderzenia
z asteroidą Dimorphos
i obserwowana z Ziemi
przez teleskop w Chile

PATRZ W GÓRĘ

LOWELL OBSERVATORY



dr Anna Łosiak

Jest geolożką planetarną, zajmuje się badaniem małych kraterów uderzeniowych na Ziemi i procesów kształtujących powierzchnię Marsa. Pracuje w Instytucie Nauk Geologicznych PAN, związana zawodowo z Uniwersytetem w Exeter. Otrzymała liczne granty: Fulbrighta, Narodowego Centrum Nauki, Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, Europlanet i Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship.
anna.losiak@twarda.pan.pl

Na naszą planetę codziennie spada około 100 ton materii pozaziemskej, w większości są to niezauważalne drobinki.

Anna Łosiak

Instytut Nauk Geologicznych PAN w Warszawie

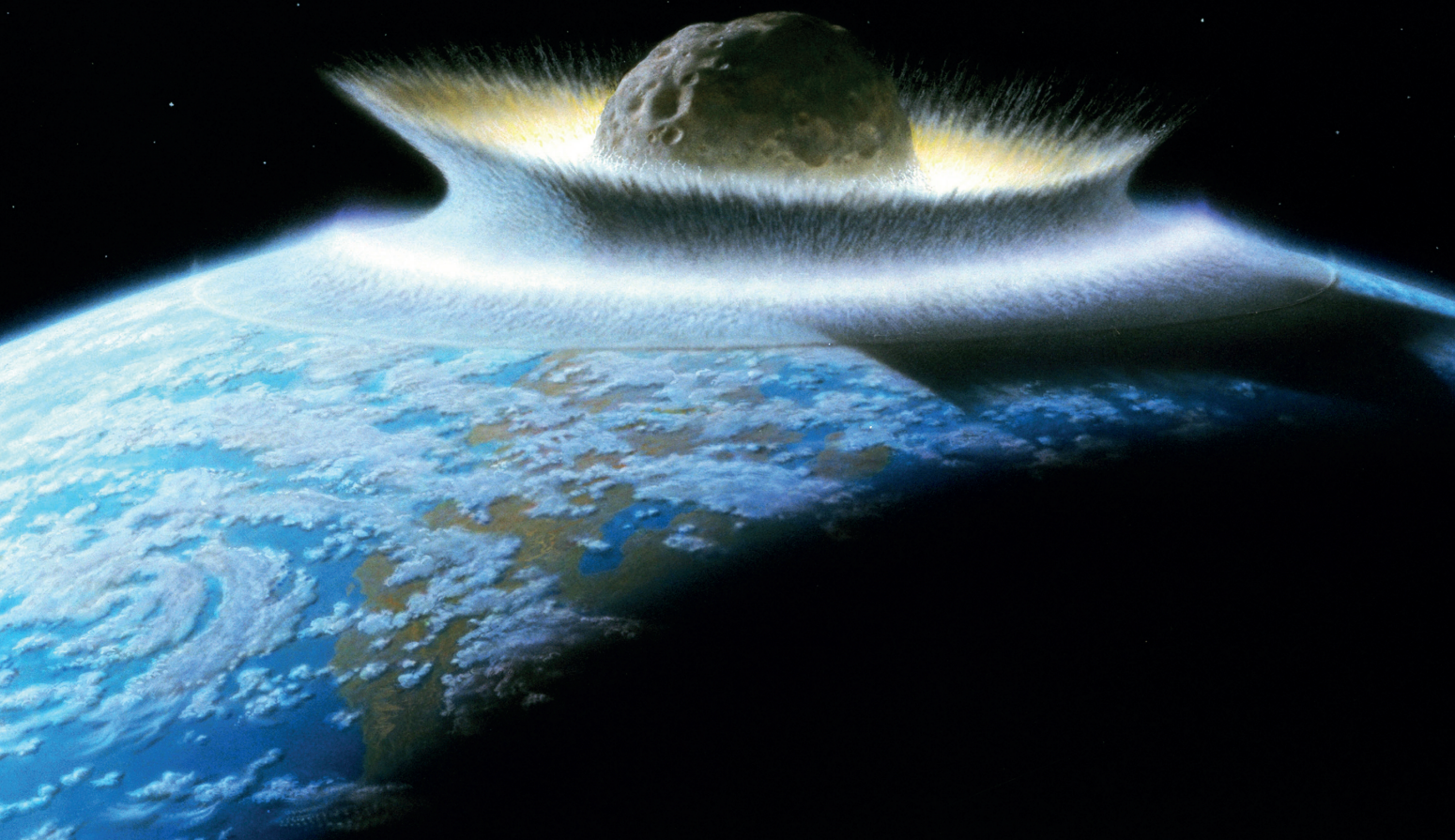
Większość materii kosmicznej, która spada na Ziemię, jest wielkości ziarnka piasku. Jej pojawienie się jest całkowicie dla nas bezpieczne, a niektórzy nawet uważają je za wydarzenia szczęśliwe. Te małutkie pozaziemske ciała, wchodząc w atmosferę, rozgrzewają ją i siebie do temperatury świecenia, co my obserwujemy jako spadające gwiazdy.

Niebezpieczeństwo z kosmosu

Zderzenia większych asteroid z Ziemią niosą z sobą katastrofalne skutki. Uderzenie asteroidy o średnicy

11 km, do którego doszło 66 mln lat temu, zmieniło życie wszystkich organizmów na naszej planecie. Zdarzenie miało miejsce na obszarze dzisiejszego Meksyku, asteroida pozostawiła po sobie 180-km krater – Chicxulub. Wszystko w promieniu ponad tysiąca kilometrów zmieniło się w kulę ognia, tereny położone do kilku tysięcy kilometrów zostały zniszczone przez falę szokową, a miejsca położone w dzisiejszej Kanadzie (a nawet w zachodniej Afryce) musiały zmierzyć się z huraganowym wiatrem rzucającym gigantycznymi drzewami jak wykałaczkami.

Większość organizmów znajdujących się na innych kontynentach niż obie Ameryki pierwotnie ledwo odczuło skutków impaktu. Ale już kilka godzin, dni później ich świat zmienił się nie do poznania. Najpierw niebo zasnuł gęsty pył wyrzucony w atmosferę w trakcie zderzenia, w wyniku czego w dzień zrobiło się ciemno jak późnym wieczorem, a temperatura spadła gwałtownie o co najmniej kilka, może nawet kilka-



naście stopni. Następnie rośliny przestały rosnąć, organizmy roślinożerne wkrótce zaczęły padać z głodu. Zwierzęta mięso- i padlinożerne najpierw uczestniczyły w uczcie życia, a potem i one nie miały czego jeść.

Największe fragmenty materiału wyrzuconego w powietrze opadły stosunkowo szybko – maksymalnie w ciągu kilku godzin, ale najmniejsze okruchy pyłu utrzymywały się w atmosferze co najmniej kilka miesięcy, a może nawet lat. Zderzenie to było tak duże, że warstwę utworzoną z mieszaniny skondensowanej asteroidy oraz ziemskich skał rozrzuconych w czasie impaktu można znaleźć na całej Ziemi. Jej grubość zmienia się od ponad kilkunastu metrów w Meksyku do kilku centymetrów w lokalizacjach po drugiej stronie globu.

Długotrwałe skutki uderzenia

W skutek uderzenia na Ziemi nastąpiły gwałtowne zmiany klimatu, które trwały od kilku do kilkudziesięciu tysięcy lat. Tak nieproporcjonalnie duże skutki w stosunku do wielkości asteroidy były rezultatem miejsca, w które uderzyło pozaziemskie ciało. Krater Chicxulub powstał na terenie płytkiego, ciepłego morza zasiedlonego obficie przez organizmy, z których szkieletów powstały skały węglanowe, a więc składające się głównie z węglanu wapnia (CaCO_3), ale

ze sporą domieszką dwutlenku siarki (SO_2). Skały te po podgrzaniu w czasie uderzenia asteroidy w jednej chwili wydzieliły ogromną ilość dwutlenku węgla, który podniósł temperaturę atmosfery. Ale jednocześnie w powietrze została wrzucona znacząca ilość tlenku siarki, związku, który szczególnie gdy znajdzie się w wysokich poziomach atmosfery, powoduje jej ochłodzenie. W rezultacie przez kilkadziesiąt tysięcy lat następowały po sobie chaotyczne wahnięcia w stronę albo cieplejszego, a to zimniejszego, bardziej suchego albo wilgotnego okresu. Te zmiany klimatyczne następowały tak szybko, że organizmy, które były doskonale przygotowane do życia w stabilnym, ciepłym klimacie z okresu kredy (jak *Tyrannosaurus rex*) nie miały najmniejszych szans przystosować się do tak chaotycznie zmieniających się warunków. Przetrwały organizmy wszechstronne, łatwo adaptujące się do zmian.

Jednak katastrofa sprzed 66 mln lat jest jedynym przypadkiem globalnego wymierania spowodowanego przez uderzenie pozaziemskiego obiektu. 180-km krater Chicxulub jest trzecim największym kraterem na świecie – większe od niego są pierwotnie 200-km Sudbury w Kanadzie i 300-km Vredefort w Republice Południowej Afryki. Nie znamy skutków, które wywarły te impakty na naszą planetę, jednak doszło do nich przed mniej więcej 2 mld lat, gdy jedynym

Artystyczna wizja Dona Davisa przedstawiająca zderzenie asteroidy z Ziemią, do którego doszło 3,5 mld lat temu.

Praca wykonana przez Bern Oberbeck i dr Kevina Azhne'a z NASA Ames Research Center. <https://images.nasa.gov/details/ARC-1991-AC91-0193>

typem organizmów były stosunkowo proste jednokomórkowce przypominające dzisiejsze bakterie, które nie uległy wtedy zagładzie.

Małe asteroidy

Stosunkowo duże zderzenia – z asteroidami powyżej kilku kilometrów średnicy – są bardzo rzadkie: średnio zdarzają się co kilka, kilkadziesiąt milionów lat – im większe, tym dłużej musimy czekać na kolejne impakty podobnej wielkości. Ludzkość najczęściej jest narażona na zderzenia z niewielkimi asteroidami o średnicy od kilku do kilkudziesięciu metrów, w których wyniku powstają krater o średnicy od kilkudziesięciu metrów do kilku kilometrów. Do tego typu wydarzeń dochodzi co kilkadziesiąt, kilkaset lat, więc relatywnie często. Na przykład w ciągu ostatnich 120 lat mieliśmy do czynienia z pięcioma takimi większymi zderzeniami i efektem tylko niektórych z nich był krater.

W 2013 roku nad miastem Czelabińsk w centralnej Rosji eksplodowała 20-m asteroida kamienna, poważnie raniąc ponad 1500 osób. W 2007 roku kilkudziesięciocentymetrowa asteroida wbiła się w pole w Peru w pobliżu wioski Carancas, tworząc najmłodszy i najmniejszy krater uderzeniowy na Ziemi. W 1947 roku na góry Sichote-Aliń, około 300 km na północ od Władywostoku, spadł „żelazny deszcz”, tworząc zespół kraterów uderzeniowych i porządnie strasząc wojska radzieckie stacjonujące niecałe 1000 km od Japonii, zbombardowanej atomówkami kilka lat wcześniej. W 1908 roku nad Syberią w okolicy rzeki Tunguzka eksplodowało być może największe ciało niebieskie ostatnich lat. Miało ono prawdopodobnie trochę ponad 50 m średnicy, ale ponieważ podejrzewa się, że było ono podobne do komety, czyli składało się

głównie z brudnego lodu, to mimo ogromnego pola zniszczenia nie zostawiło po sobie żadnego krateru. Wybuch w atmosferze spowodował, że wielkie drzewa łamały się jak zapalki na terenie w promieniu ponad 30 km od miejsca impaktu.

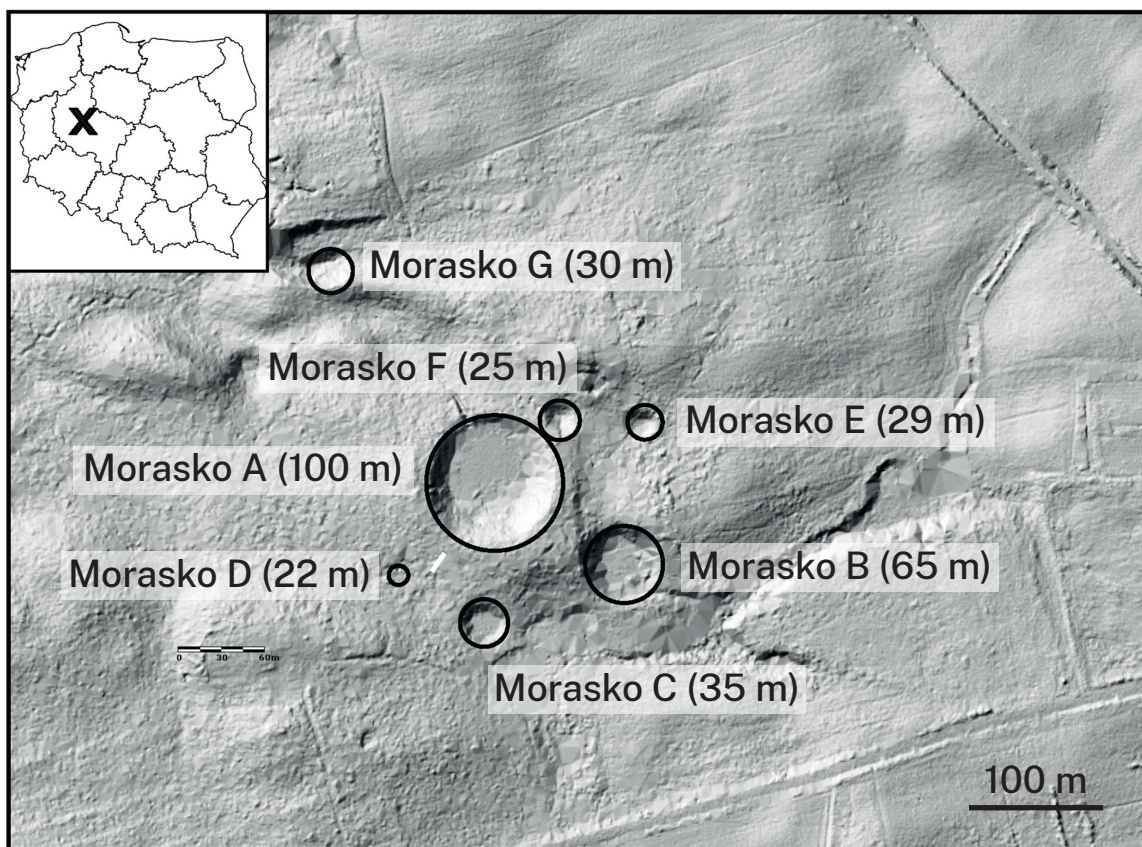
Większość z tych wydarzeń, mimo że robią duże wrażenie w czasie, gdy do nich dochodzi, nie pozostawia po sobie trwałych śladów w zapisie geologicznym. Jeżeli nie bylibyśmy naocznymi świadkami wybuchu nad Czelabińskiem, po upływie zaledwie kilku tygodni czy miesięcy nie bylibyśmy w stanie odróżnić efektów takiego sporego przecież wybuchu od skutków zwykłej burzy. Ślady wybuchu nad Tunguzką przetrwały około 20–30 lat, ale później odrodzony las przykrył ślady katastrofy. Po kraterze w Carancas już po kilku latach nie został nawet ślad – niewielka dziura w ziemi została wypełniona przez osady przyniesione przez pobliską rzekę. Jedynym niedawnym zderzeniem, po którym przynajmniej przez kilkaset lat pozostanie rozpoznawalny ślad, jest zespół kraterów Sichote-Aliń.

Ślady po zderzeniach

Jak więc możemy badać ślady takich lokalnych mikrokataklizmów, jeżeli w większości nie możemy rozpoznać ich śladów? Na szczęście niektóre z nich pozostawiają po sobie blizny na powierzchni Ziemi rozpoznawalne przez co najmniej kilka, kilkanaście tysięcy lat. Takich kraterów o średnicy od kilkunastu do kilkuset metrów obecnie znamy około 15. Jeden z nich, zespół około siedmiu kraterów Morasko, jest położony w Polsce, na przedmieściach Poznania. Wszystkie struktury powstały w tym samym czasie: około 20-m asteroida żelazna w wyniku przejścia przez atmosferę rozpadła się na fragmenty. Największe z nich, przy uderzeniu z prędkością kilku kilometrów na sekundę,

Zdjęcie autorki
w największym kraterze
Kaali w Estonii





Numeryczny model terenu pokazujący zespół kraterów Morasko (na podstawie danych z geoportal.gov.pl)

a więc kilka razy szybciej niż kula wystrzelona z najlepszego karabinu snajperskiego, dosłownie eksplodowały. W rezultacie okruh o średnicy koło metra utworzył krater o średnicy niemal 100 m i głębokości kilkudziesięciu. Obok powstało kilka mniejszych podobnych struktur, a cała okolica została obsiana fragmentami meteorytów żelaznych. Do podobnych wydarzeń doszło w ciągu ostatnich kilku tysięcy lat chociażby w Estonii, gdzie utworzył się krater Kaali, czy w Argentynie, gdzie powstały kraterzyki zwane Campo del Cielo.

Niedawno okazało się, że nawet uderzenia takich małych asteroidek mogą mieć prawdziwie katastrofalne skutki, choć trzeba przyznać, że są to apokaliptyczne w bardzo lokalnej skali. Naukowcy przekopali materiał wyrzucony z czterech różnych kraterów uderzeniowych umiejscowionych na dwóch kontynentach. Pobrali próbki w różnych krajach: Estonii (kraterzyki Kaali Main i Kaali 2/8), Polsce (krater Morasko) i Kanadzie (krater Whitecourt). Kraterzyki powstały w różnym czasie, ale łączyło je jedno – we wszystkich znaleziono zwęglone fragmenty organizmów, które zginęły w trakcie kosmicznej katastrofy.

Obrona planetarna

Średnica krateru jest zwykle od 10 do ponad 20 razy większa niż średnica asteroidy, która go utworzyła,

np. asteroida o średnicy około 100 m poruszająca się z prędkością około 20 km/s utworzy krater o średnicy 1,5–3 km. Dokładne rozmiary i zasięg strefy zniszczenia zależy od kąta uderzenia, typu asteroidy, typu materiału, z którym się zderzy, i wielu innych zmiennych. Ale jeżeli podobne ciało niebieskie zdecydowałoby się wylądować na celownik Rynek Starego Miasta w Warszawie, fragmenty naszej stolicy doleciałyby do Berlina, Pragi czy nawet Budapesztu. Trzęsienie ziemi wywołane zderzeniem mogłoby uszkodzić budynki w Wilnie, huraganowe wiatry wybijałyby okna w Gdańsku, a wszyscy ludzie przebywający akurat na zewnątrz w odległości około 30 km od miejsca zderzenia, czyli aż do Nowego Dworu Mazowieckiego, cierpieliby na oparzenia pierwszego stopnia. Większość Warszawy zostałaby pokryta kilkumetrową warstwą materiału wyrzuconego z dziury w ziemi o średnicy 3 km i głębokości 650 m.

Na szczęście, o ile dowiemy się o niebezpieczeństwie z wystarczającym wyprzedzeniem, możemy już mu przeciwdziałać. W tym roku swój wielki finał miała misja DART, w ramach której odbył się pierwszy test systemu obrony planetarnej. Małutki, ważący zaledwie 600 kg statek kosmiczny zderzył się z niewielką, 160-metrową asteroidą, skutecznie zmieniając jej orbitę. Jeżeli wyciągniemy wnioski z filmu „Nie patrz w górę”, mamy szansę się uratować przed prawdziwą katastrofą. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

Gulick S.P.S. i in., *The first day of Cenozoic*, PNAS, 2019, <https://doi.org/10.1073/pnas.1909479116>.

Losiak A. i in., *Small impact cratering processes produce distinctive charcoal assemblages*, „Geology”, 2022, <https://doi.org/10.1130/G50056.1>.

Muszyński A., Kryza R., Karwowski Ł., Piłski A.S., Muszyńska J., *Morasko. Największy deszcz meteorytów żelaznych w Europie Środkowej*, „Studia i Prace z Geografii i Geologii”, 2012.