

**dr Anna Łosiak**

Jest geologiem planetarnym, 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.
anna.losiak@twarda.pan.pl

NIEZIEMSKIE OBRAZY



Rzeczny konglomerat
na Marsie
(Williams et al., 2013)

NASA/PLATECH/MSS

Geologia planetarna w dużej mierze opiera się na analizowaniu zdjęć i porównywaniu otrzymanych obrazów do znanych ziemskich obiektów.

Anna Łosiak

Instytut Nauk Geologicznych
Polskiej Akademii Nauk w Warszawie

Zdjęcie zrobione przez łazik Curiosity 14 września 2012 roku, zaraz po tym jak dotarło na Ziemię, nie zrobiło najmniejszego wrażenia na inżynierach nadzorujących proces przesyłu danych i ich wstępną obróbkę. Ot, kolejny obrazek przedstawiający jakieś szaro-czerwone kamienie. Jednakże gdy to samo zobaczyli geolodzy, od razu wpadli w stan radosnego podniecenia. Zdjęcie przedstawiało lekko nachyloną warstwę skalną składającą się z okrągławych ziaren o różnej średnicy – całość trochę przypominała złe odlany i połamany „chudy beton”. Dla geologów było od razu oczywiste, że właśnie patrzą na obraz, na podstawie którego mogą z biegu siadać i pisać publikację do magazynu „Science”. Zdjęcie to przedstawiało jednoznaczny dowód na to że, miejsce lądowania misji Curiosity zostało dobrze wybrane i że w przeszłości do marsjańskiego krateru Gale wpływała rzeka.

Skały widoczne na obrazie, który wzbudził tyle emocji, to konglomeraty. Powstają, gdy płynąca woda rozdrabnia i przemieszcza skały położone wyżej, a następnie przenosi je i osadza w obniżeniach terenu. Na podstawie pomiarów wielkości fragmentów skalnych można było nawet określić cechy rzeki, która utworzyła to odsłonięcie: woda miała głębokość co najmniej 0,9 m, a średnia prędkość przekraczała 0,75 m/s. Na podstawie stopnia zaokrąglenia okruchów skalnych można nawet stwierdzić, że uwieczniony na zdjęciu materiał został przeniesiony na odległość kilku do kilkunastu kilometrów. Cała ta wiedza pochodzi wyłącznie z analizy prostego obrazu wykonanego na powierzchni Marsa, ale jest oparta na setkach lat analiz sposobu, w jaki rzeki rozdrabniają i osadzają materiał na naszej własnej planecie.

Datowanie planet na podstawie obrazu

Określanie wieku danej struktury w geologii planetarnej w praktyce polega na trywialnej analizie obrazów. Na Ziemi datowanie formacji geologicznych, skał lub

obszarów opiera się na mierzeniu skutków promieniotwórczego rozpadu naturalnego prowadzącego do przemiany izotopów jednych pierwiastków w inne. Jest to skomplikowany i czasochłonny proces, wykonywany rutynowo w wielu ośrodkach badawczych na całym świecie. Wymaga on pobrania odpowiednio wyselekcjonowanych próbek skał i niezwykle dokładnego zmierzenia ich składu izotopowego. Na jego podstawie można wyliczyć wiek próbki. Działa to bardzo dobrze w przypadku ziemskich skał, ale nie może być stosowane w geologii planetarnej, bo mamy bardzo mało próbek z innych ciał niebieskich, których lokalizację znamy. Konieczne jest więc stosowanie innych, mniej dokładnych metod, bazujących na analizie zdjęć satelitarnych.

Żeby naprawdę zrozumieć historię geologiczną danej planety, musimy określić wiek bezwzględny wydarzeń geologicznych.

Najprostsza z metod datowania powierzchni planetarnych opiera się na superpozycji, zgodnie z którą forma znajdująca się na wierzchu jest młodsza od struktury, która jest pod nią. Można w ten sposób określić jedynie względny wiek danej formacji, czyli czy dany obiekt jest starszy, czy młodszy względem innego obiektu, jednak nie jest możliwe określenie, kiedy dokładnie coś powstało. Jest to bardzo proste, jeżeli rozważamy wzajemne relacje kilku dobrze wykształconych i położonych blisko siebie form. Przestać to być jednak tak jasne, kiedy trzeba przeanalizować wzajemne relacje tysięcy kraterów, wpływów lawowych, osuwisk, dolin rzecznych i form, których genezy nie jesteśmy pewni. Dodatkowe komplikacje wynikają z tego, że tylko niektóre z tych form wchodzą z sobą w bezpośredni kontakt, a ich granice zostały zatarte przez kilka miliardów lat wietrzenia.

Określenie wieku względnego jest lepsze niż nic, ale żeby naprawdę zrozumieć historię geologiczną danej planety, musimy określić wiek bezwzględny wydarzeń geologicznych, czyli powiedzieć, kiedy dokładnie wybuchł dany wulkan. Ma to ogromne znaczenie,

bo tylko wtedy uda nam się ustalić, czy jego wybuch nastąpił krótko po tym, gdy w okolicę uderzyła spora asteroida, albo żeby sprawdzić, czy rzeczywiście wszystkie doliny rzeczne na całej planecie przestały przenosić wodę w tym samym momencie. Jak udało się tego dokonać bez wydawania absurdalnych ilości pieniędzy na przywiezienie próbek z wszystkich interesujących naukowo miejsc na innych planetach? Dzięki sprytniej sztuczce łączącej rozszerzoną zasadę superpozycji, datowania radioizotopowego oraz szczegółowego mapowania geologicznego opartego na rozpoznawaniu obrazów będących podstawą metody zliczania kraterów (*crater counting*).

Zliczanie kraterów

Wiadomo, że wszystkie planety, księżyce i asteroidy nieustannie zderzają się z innymi ciałami niebieskimi różnych rozmiarów, w rezultacie czego nieustannie powstają na ich powierzchni nowe kratery. Na tej podstawie możemy stwierdzić, że im starsza jest dana powierzchnia, tym więcej kraterów można na niej znaleźć. Jeżeli policzymy kratery, które znajdują się na obrazie wypływu lawowego widocznym z orbity, a znamy częstotliwość, z jaką one powstawały, możemy łatwo policzyć, jak długo ta powierzchnia była bombardowana – czyli stwierdzić, ile lat sobie liczy.

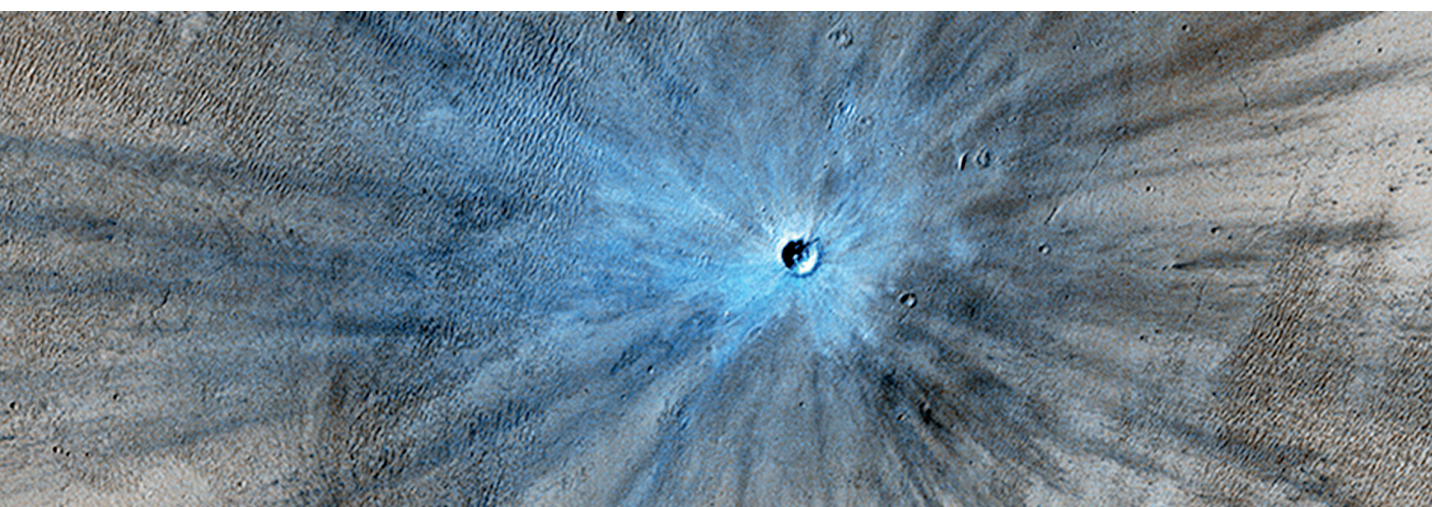
Dokładność datowania zależy jednak od tego, jak dobrze potrafimy zmierzyć częstotliwość powstawania kraterów. Można to jednoznacznie zrobić, jeżeli mamy przynajmniej kilka powierzchni wydатовanych radioizotopowo – co oznacza, że wiemy dokładnie, kiedy dana powierzchnia została pokryta lawą, a następnie zliczymy kratery na jej terenie. Jeżeli powtórzymy to dla kilku miejsc o różnym wieku, możemy ustalić, z jaką częstotliwością kratery powstawały w przeszłości i czy ta częstotliwość była stała w czasie. W praktyce jedynym ciałem Układu Słonecznego, w którego przypadku byliśmy w stanie coś podobnego

zrobić, jest Księżyc. Dzięki próbkom dostarczonym do ziemskich laboratoriów radioizotopowych przez amerykańskie misje załogowe Apollo oraz radzieckie roboty Luna udało się ustalić częstotliwość tworzenia kraterów dla reprezentatywnych obszarów naszego naturalnego satelity. W ten sposób możemy dość dokładnie wydutować wylewy lawy położone na każdym dowolnym miejscu Księżyca – nawet tam, gdzie nigdy nie wylądował żaden statek kosmiczny.

Ale co z pozostałymi ciałami Układu Słonecznego? W ich przypadku datowanie jest obciążone znacznie większym błędem ze względu na brak punktów kalibracyjnych wynikających z braku dostępnych próbek skał. Na przykład żeby użyć metody liczenia kraterów na Marsie, konieczne jest ekstrapolowanie częstotliwości tworzenia się kraterów znanej dla Srebrnego Globu na tę planetę. Ekstrapolacja wymaga wprowadzenia licznych poprawek, których wielkość jest oceniana na podstawie modelowania numerycznego. Pierwsza poprawka wynika z faktu, że Mars znajduje się bliżej pasa asteroid, więc częstotliwość tworzenia kraterów powinna być większa niż na Księżycu. Druga – Mars ma znacznie mniejszą masę niż układ Ziemia – Księżyc, a więc nie ściąga grawitacyjnie asteroid w tym samym stopniu, a to obniża częstotliwość powstawania kraterów. Trzecia – Czerwona Planeta ma atmosferę, co powoduje, że niektóre małe lub szczególnie mało odporne bolidy rozpadną się w atmosferze, nie tworząc kraterów (lub tworząc znacznie mniejsze niż na Księżycu). Obecna częstotliwość powstawania nowych kraterów może być oszacowana na podstawie szczegółowego przeglądania zdjęć powierzchni Marsa w poszukiwaniu nowych kraterów, ale częstotliwość z przeszłości da się skalibrować dopiero, gdy na Ziemię wrócą pierwsze próbki z krateru Jezero, w którym obecnie jeździ łazik Perseverance.

Żeby obecnie określić wiek struktury na powierzchni innego ciała niebieskiego, wystarczy ściągnąć darmowy program na swój komputer taki jak JMars, do-

Zdjęcie: HiRISE Mars z bardzo młodym kraterem



NASA/JPL/CALTECH/UAIRZONA

dać wtyczkę do zliczania kraterów, ściągnąć obrazy satelitarne interesującego nas obszaru i zaznaczyć na nim kółkami kraterę. Program zrobi wszystko za nas. Ale żeby dojść do tego punktu, potrzeba było pół wieku analiz i testów.

Obiektyw kamery jest lepszy niż samo oko

Nasze oczy to niesamowity instrument badawczy pozwalający w niektórych przypadkach wykryć nawet śladowe ilości niektórych pierwiastków. Na przykład czysty kryształ kwarcu jest przezroczysty, ale zaledwie szczypta atomów aluminium zmienia jego kolor na ciemnoszary (kwarc dymny), dodatek manganu lub tytanu skutkuje jasnoróżowym kolorem (kwarc różowy), podczas gdy odrobina atomów żelaza może wyprodukować żółte (cytryn) lub fioletowe (ametyst) kryształy. Oko nie ma jednak szans w konfrontacji z kamerami, które potrafią dokładnie zmierzyć ilość światła w odniesieniu do miliona różnych kolorów odpowiadających różnym długościom fali elektromagnetycznej. Na przykład niebiesko-zielony kolor odpowiada fali światła o długości 520 nm.

Za pomocą urządzeń możemy także spojrzeć na rzeczywistość w zupełnie innych kolorach: analizując światło w zakresie fal elektromagnetycznych, których nasze oczy nie zauważają. Takie analizy mają duże znaczenie w geologii, bo niektóre właściwości skał najlepiej widać w podczerwieni. Na przykład zdjęcia wykonane w nocy przez instrument THEMIS na pokładzie amerykańskiego satelity Mars Odyssey pokazują różnice w tym, jak różne tereny na Marsie reagują na ogrzewanie, co jest m.in. zależne od składu chemicznego, a także rozdrobnienia czy porowatości skał. Jasne regiony ogólnie pokazują miejsca, które bardziej się ogrzały w dzień i w nocy oddają ciepło (czyli wypromieniowują w podczerwieni) intensywniej niż otaczające tereny. To pozwala np. zauważyć granice geologiczne, które w świetle widzialnym pozostają ukryte. Jeżeli nasz instrument potrafi robić zdjęcia w bardzo wąskich zakresach fal, możemy nawet zmierzyć skład mineralny i chemiczny skał, po prostu patrząc na obrazy. Właśnie dzięki temu wiemy, gdzie na Księżycu znajdują się złoża ilmenitu, a gdzie na Marsie można znaleźć lód wodny.

Geologia w skali mikro

Czasem wykonanie przypadkowego zdjęcia może uratować nam „naukowe” życie. Zaraz po doktoracie przeprowadziłam pierwszym w swoim życiu badaniom terenowym. Przekonałam grupę ludzi, żeby na ponad tydzień przyjechali kopać w kraterze uderzeniowym w Estonii. Plan działań był prosty: pod warstwą materiału wyrzuconego z krateru Kaali w trakcie zderzenia



z asteroidą znajdziemy próbki paleogleby, które następnie wydatujemy. Dzięki temu w relatywnie prosty sposób ustalimy wreszcie, kiedy doszło do tego kosmicznego zderzenia, oraz opublikujemy artykuł w dobrym czasopiśmie. Jednakże gdy po trzech dniach kopania nie znaleźliśmy nawet śladu po dawnej glebie, zaczęłam się bardzo martwić, że może się myliłam i zmarnowałam wiele dni bardzo ciężkiej pracy kilkunastu ludzi.

Sytuację uratowało zdjęcie zrobione w ostatniej chwili, przy użyciu flesza z powodu ciemności. Na zdjęciach były widoczne niewielkie fragmenty czarnego materiału, które wyraźnie odcinały się od brązowego tła gliny zwałowej. Gołym okiem nie dało się zauważyć czarnych drobinek wielkości jednego, dwóch milimetrów, ale błysk flesza je uwidoczniał. To były fragmenty węgla drzewnego, który – jak się okazało – specyficznie odbija światło flesza, ułatwiając jego dostrzeżenie. W ten sposób znaleźliśmy kawałki węgla drzewnego, które okazały się fragmentami organizmów zagrzebanych w materiale wyrzuconym przy powstawaniu krateru. Dzięki temu odkryciu nie tylko udało nam się ustalić ostatecznie wiek krateru Kaali na 3,5 tys. lat, ale także znaleźć podobne ślady w innych kraterach uderzeniowych w Whitecourt w Kanadzie, w Campo del Cielo w Argentynie oraz w naszym polskim Morasku.

Dane przestrzenne są podstawowym źródłem informacji w geologii. Pozwalają one zrozumieć nie tylko, jakie elementy występują w danym miejscu, ale przede wszystkim pokazują jednoznacznie, jak poszczególne fragmenty układanki są ułożone w stosunku do siebie nawzajem. Tylko na tej podstawie geolodzy mogą odczytać wskazówki na temat dawno minionych wydarzeń. ■

Poszukiwanie węgla drzewnego w materiale wyrzuconym z krateru Kaali Main w czasie jego tworzenia

Chcesz wiedzieć więcej?

Program JMars, rozwijany przez grupę Mars Space Flight Facility na Arizona State University, <https://jmars.asu.edu/>.

Christensen P.R. et al., *Morphology and composition of the surface of Mars: Mars Odyssey THEMIS results*, „Science”, 2003, DOI: 10.1126/science.1080885.

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