

**dr Krzysztof Gaidzik**

Zajmuje się neotektoniką, paleosejsmologią, archeosejsmologią, tektoniką płyt (szczególnie w krajach Ameryki Łacińskiej, np. Peru, Meksyku). W kręgu jego zainteresowań są także geologia i geomorfologia planetarna. Członek Mars Society Polska, juror konkurencji science w ramach międzynarodowych zawodów łazików marsjańskich European Rover Challenge.
krzysztof.gaidzik@us.edu.pl

**dr hab. Justyna Ciesielczuk, prof. UŚ**

Jest mineralogiem badającym hydrotermalne przeobrażenia wokół ciał magmowych, zmiany zachodzące podczas palenia się zwalówisk po eksploatacji węgla kamiennego oraz paleopożary pokładów węgla. Jest prezesem Sekcji Petrologii Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego. Interesuje się astrogeologią.
justyna.ciesielczuk@us.edu.pl

JAK POWSTAŁY MARSJAŃSKIE SFERULE?

JEDNA Z NAJWIĘKSZYCH ZAGADEK GEOLOGII MARSA

Dzięki współczesnym zdobyczom technologicznym przekraczamy granice niemożliwości, zaczęliśmy badać geologię innych planet. Ogromnym osiągnięciem jest eksploracja Marsa, który powoli odsłania przed ludzkością swoje tajemnice.

**Krzysztof Gaidzik
Justyna Ciesielczuk
Monika Fabiańska
Magdalena Misz-Kennan**

Uniwersytet Śląski w Katowicach

Pádhraig S. Kennan

University College Dublin, Irlandia

Planeta Ziemia jest pełna zagadek mimo swojej dostępności do badań, zarówno pośrednich, jak i bezpośrednich, dla wielu pokoleń geologów, geografów i geofizyków. Nasz sąsiad Mars jest znany tylko dzięki tzw. zdalnym metodom badawczym, bez możliwości bezpośredniego kontaktu ze skałą. Stąd

wiele obiektów zidentyfikowanych na czerwonej planecie nadal jest objętych pewną dozą tajemniczości, a ich powstanie i ewolucja stanowią cel dociekań naukowców różnych dziedzin. Niestety, weryfikacja tych poglądów i hipotez badawczych w wielu przypadkach będzie możliwa dopiero po rzeczywistym lądowaniu geologa na powierzchni Marsa. I pewnie dopiero wtedy rozwiążemy zagadkę powstania marsjańskich sferuli (*Martian spherules*). Jak powstały jagody marsjańskie (*Martian blueberries*)?

Marsjańskie sferule hematytowe

Obecnie wiemy, że marsjańskie sferule to kuliste struktury utworzone z hematytu, minerału o wzorze chemicznym $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Rozpoznał je na powierzchni Marsa w rejonie Meridiani Planum łażak Opportunity, pracujący od 25 stycznia 2004 roku do 10 czerwca 2018 roku mimo skromnych założeń 90 dni jego pracy. Są to twarde, bardziej lub mniej idealne



**prof. dr hab.
Monika Fabiańska**

Zajmuje się geochemią organiczną paliw kopalnych, ich odpadów kopalnianych i produktów przetwórstwa ze szczególnym uwzględnieniem aspektów środowiskowych.

monika.fabianska@us.edu.pl



**dr hab. Magdalena
Misz-Kennan,
prof. UŚ**

Zajmuje się materia organiczną w węglach i innych skałach oraz jej przeobrażeniami w procesach technologicznych. Jej badania obejmują procesy samozagrzewania materii organicznej występującej w węglach i odpadach po jego eksploatacji. Współprzewodniczy grupie roboczej zajmującej się tym zagadnieniem w Międzynarodowym Komitecie Petrologii Węgla.

magdalena.misz@us.edu.pl



dr Pádraig S. Kennan

Emerytowany członek University College Dublin (Irlandia), przez wiele lat zajmował się genezą i rozmieszczeniem granitów, ich aureoli i związanych z nimi złóż surowców mineralnych. Jego prace doprowadziły do odkrycia związków między kwarcytami manganowymi i metaosadami bogatymi w turmalin w skałach macierzystych.
pskennan@gmail.com

kulki o nieznannej strukturze wewnętrznej i średnicy $<6,2$ mm (znane są dwie populacje wielkościowe: większe – o średniej wielkości $4,2 \pm 0,8$ mm, i mniejsze – o średnicy $0,8 \pm 0,1$ mm). Na zdjęciach w fałszywych kolorach opublikowanych przez NASA hematytowe sferule mają niebieskie barwy, dlatego zostały nazwane marsjańskimi jagodami (*blueberries*). Hematyt tworzący te kulki i nadający im charakterystyczną barwę to pospolity minerał na Ziemi, tlenek żelaza (III). Jego nazwa pochodzi od greckiego słowa *haema* (*haima*) oznaczającego krew (*haimatites* – krwisty), a wynika z charakterystycznej wiśniowoczerwonej barwy tego minerału po jego sproszkowaniu. Jest to również bardzo powszechna, choć nie najbogatsza, ruda żelaza (70 proc. Fe).

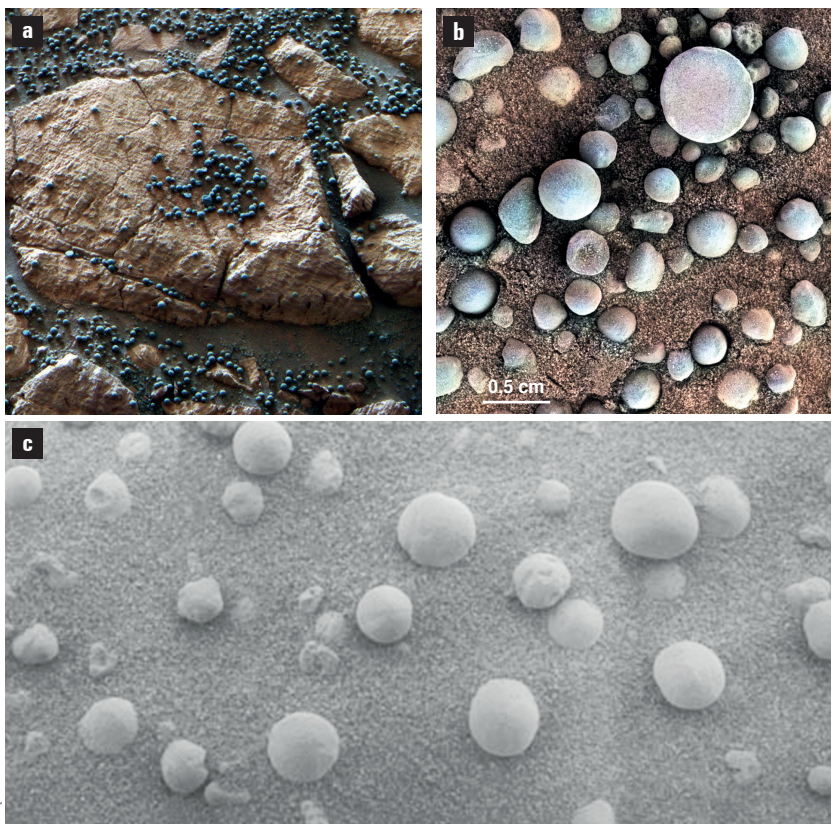
Historia odkryć jagód marsjańskich

Chociaż sferule marsjańskie zostały po raz pierwszy zarejestrowane i sfotografowane w 2004 roku, to żeby zrozumieć historię ich odkrycia, musimy się cofnąć do 1996 roku. Wówczas NASA wysłała w kierunku Marsa sondę Mars Global Surveyor (MGS) wyposażoną w spektrometr emisji termicznej, umożliwiający kartowanie mineralogiczne Marsa. W efekcie w kolejnych latach uzyskano mapy występowania na powierzchni Marsa potencjalnych minerałów,

m.in. stwierdzono obecność krystalicznego hematytu na obszarze ponad 175 tys. km² w rejonie Sinus Meridiani. Obserwacja ta, jeśli została potwierdzona, mogła wskazywać na obecność wody w historii geologicznej Marsa, a zatem ten rejon stał się oczywistym celem szczegółowych analiz kolejnych misji marsjańskich. I rzeczywiście, 24 stycznia 2004 roku łazik Opportunity, mechaniczny geolog, wylądował w kraterze Eagle w obrębie Meridiani Planum (zachodniej części Sinus Meridiani). Kilka dni później przesłał pierwsze zdjęcia marsjańskich sferul, które następnie zostały przebadane za pomocą rozmaitych narzędzi obecnych na pokładzie łazika, potwierdzając, że są one zbudowane z hematytu. Od tego czasu trwają intensywne prace badawcze mające na celu znalezienie kolejnych ziemskich odpowiedników tych struktur, a w rezultacie próby odpowiedzi na pytanie o ich powstanie i ewolucję. Jednak jak to do tej pory procesy geologiczne prowadzące do powstania tych struktur nie są do końca znane.

Powstanie sferul na Marsie

Przez ponad 15 lat od pierwszych zdjęć jagód marsjańskich naukowcy zaproponowali wiele hipotez wyjaśniających zarówno ich pochodzenie, mechanizm powstawania, jak i rozmieszczenie na powierzchni Marsa. Stosunkowo często ich geneza jest wiązana z działalnością wody, a zatem ich masowe wystąpienia

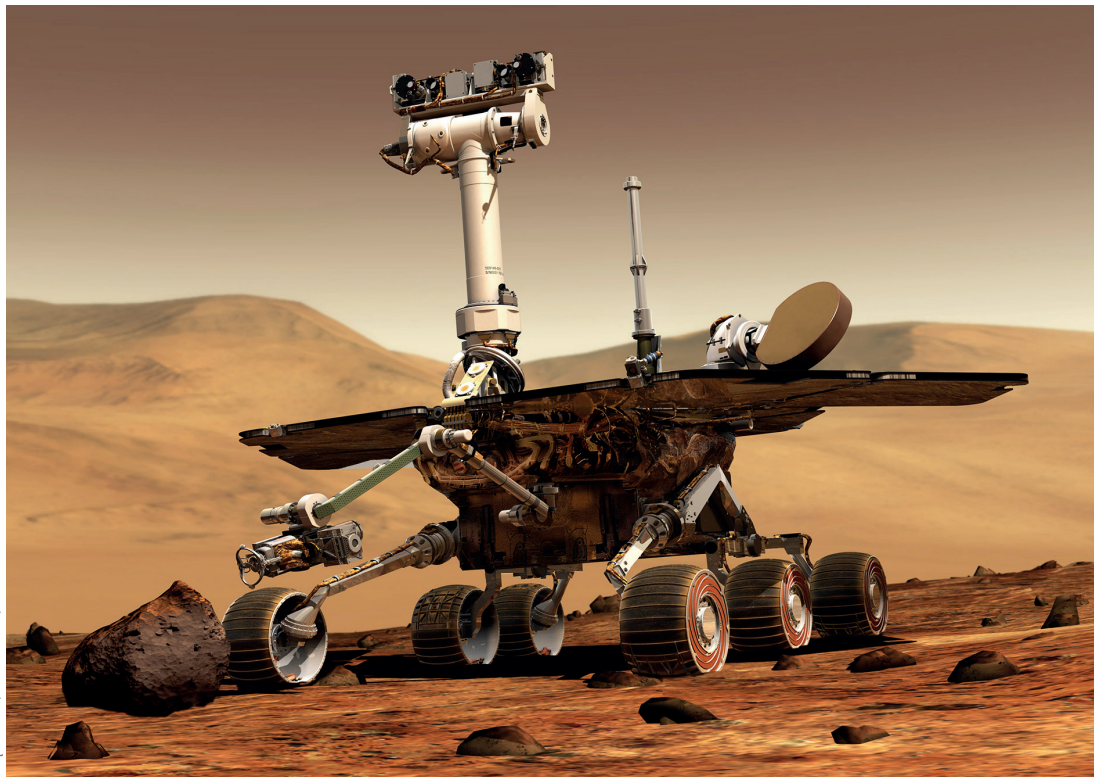


Przykłady jagód marsjańskich zaobserwowanych przez łazik Opportunity:

a) marsjańskie sferule na powierzchni Marsa (*Blueberries on Berry bowl*, tj. miska jagód marsjańskich), źródło: NASA/JPL-Caltech/Cornell University, <https://www.nasa.gov/sites/default/files/5664h.jpg>

b) marsjańskie sferule w rejonie krateru Fram – zbliżenie, zdjęcie wykonane w 84. dniu marsjańskim misji Opportunity (19 kwiecień 2004 roku), źródło: NASA/JPL-Caltech/Cornell University, <https://mars.nasa.gov/resources/6944/martian-blueberries/>

c) największe zbliżenie marsjańskich sferuli wykonane przez łazik Opportunity w rejonie odślonienia Stone Mountain na Meridiani Planum, źródło: NASA/JPL-Caltech/Cornell University, https://mars.nasa.gov/mer/gallery/press/opportunity/20040212a/07-ml-3-soil-mosaic-B019R1_br.jpg



Łazik Opportunity, pracujący od 25 stycznia 2004 roku do 10 czerwca 2018 roku, na powierzchni Marsa (wizja artystyczna, źródło: NASA/JPL-Caltech/Cornell, <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04413>)

mogłyby stanowić pośredni dowód na obecność wody w historii geologicznej Marsa. I chociaż większość naukowców skłania się ku tej hipotezie, porównując te obiekty do znanych z ziemi kongrecji (czyli agregatów mineralnych powstałych w wyniku stopniowego narastania minerałów wokół jakiegoś jądra), to jednak różnice w szczegółach są znaczne. Do najczęściej postulowanych mechanizmów związanych z wodą należą: 1) powolna depozycja w stojących zbiornikach wodnych, 2) krystalizacja z wody podczas epizodycznych powodzi, 3) wzrost w stojących wodach podziemnych, 4) wzrost w wodzie przepływającej przez osady itp. W większości wskazują one jednak na podobne środowisko – płytkich, niewielkich zbiorników wodnych, tylko czasowo wypełnionych wodą. Kolejna grupa hipotez wskazuje na powiązanie sferuli marsjańskich z działalnością wulkaniczną. I w tej grupie również możemy wyróżnić kilka szczegółowych mechanizmów, m.in. bezpośrednie wytrącanie i krystalizacja w środowisku hydrotermalnym (czyli krystalizacja z wysokozmineralizowanych roztworów wodnych związanych z procesami magmowymi) czy też w późniejszym etapie jako wynik reakcji popiołów wulkanicznych i materiałów piroklastycznych z bogatą w siarkę wodą bądź oddziaływanie osadów wulkanicznych i kwaśnych płynów hydrotermalnych na skały powstałe wcześniej. Z bardziej egzotycznych hipotez proponuje się łączyć powstanie jagód marsjańskich z uderzeniem jakiegoś obiektu o powierzchnię Marsa, np. meteorytu. Część naukowców wskazuje również na potencjalny związek tych struktur z życiem na Marsie, traktując je jako pewien typ skamieniałości związany z aktywnością bakterii. Jednak jak do tej pory nie udało się żadnej z tych hipotez do końca potwierdzić ani obalić.

Wobec braku ostatecznego wyjaśnienia zagadki sposobu powstania jagód marsjańskich poddano szczegółowym badaniom różne ziemskie analogi, które mają pomóc wyjaśnić powstanie i ewolucję tych struktur. Analogi te obejmują najczęściej sferule o podobnej formie jak te marsjańskie, obserwowane w piaskowcach i innych skałach osadowych (głównie w USA, Australii i Chinach) i wskazujące na ich związek z działalnością wody podczas osadzania. Ponadto stosunkowo często jako ziemski odpowiednik tych struktur podaje się formy występujące w skałach wulkanicznych na Mauna Kea na Hawajach sugerujące ich związek ze środowiskiem wulkanicznym i hydrotermalnym.

Przyszłość

Mimo ponad 15 lat dociekań naukowców, które upłynęły od pierwszych fotografii jagód marsjańskich, niezliczonych ziemskich analogów i hipotez badawczych dotyczących ich powstania nasza wiedza tak naprawdę nadal jest niewielka, a większość z wygłaszanych poglądów to jedynie przypuszczenia czy domysły. Wydaje się, że jedynie przyszłe załogowe misje marsjańskie i rzeczywisty kontakt z tymi strukturami pozwolą ostatecznie potwierdzić lub obalić poszczególne hipotezy badawcze. Trzeba jednak pamiętać, że nawet na Ziemi, którą mamy dostępną do bezpośrednich badań, występuje wiele struktur, których do końca nie rozumiemy. Marsjańskie sferule to tylko jeden z wielu przykładów tajemniczych i intrygujących struktur obserwowanych na innych ciałach niebieskich, których powstanie i ewolucja jak na razie wymykają się naszemu poznaniu. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

www.nasa.gov

Chan M.A., Beitle B., Parry W.T., Ormo J., Komatsu G., *A possible terrestrial analogue for haematite concretions on Mars*, „Nature” 2004, 429.

Manecki A., *Mineralogia szczegółowa, rozpoznawanie, występowanie, znaczenie minerałów*, Kraków 2019.

Squyres S.W. et al., *In situ evidence for an ancient aqueous environment at Meridiani Planum, Mars*, „Science” 2004, 306.

Żaba J., *Ilustrowana encyklopedia skał i minerałów*, Chorzów 2014, 1–504.