

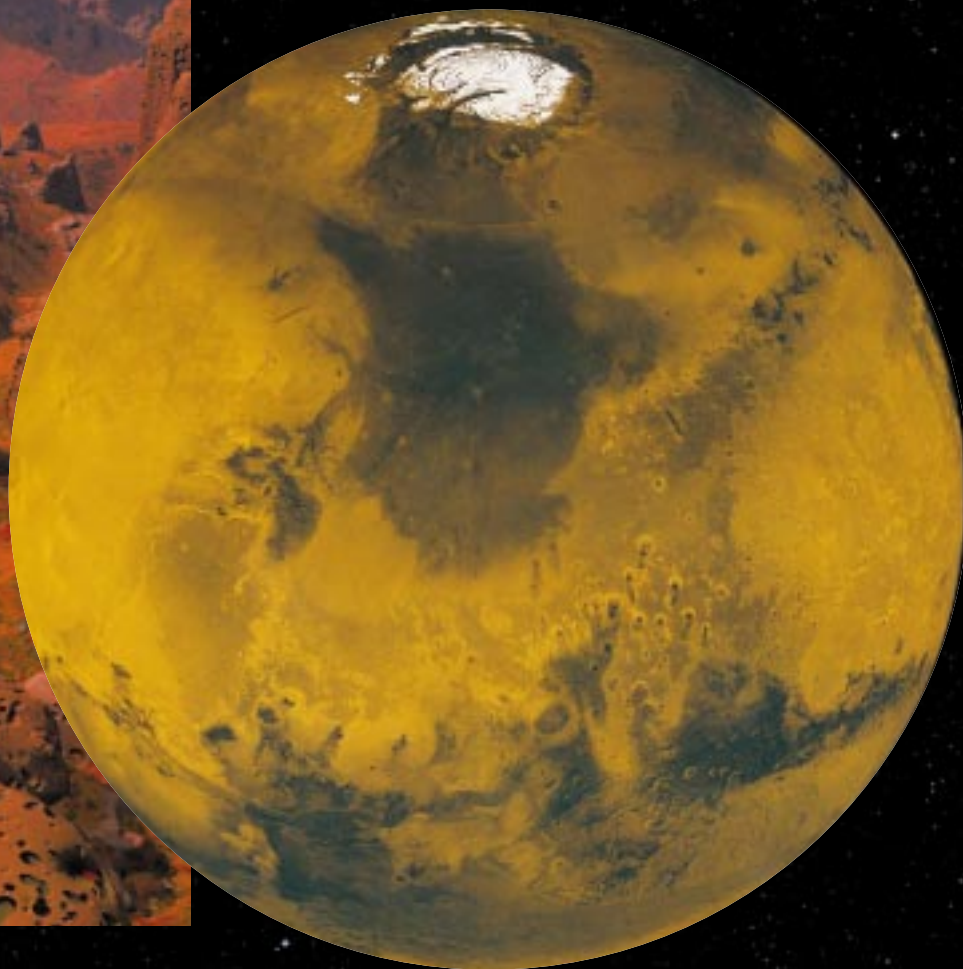
Globalna zmiana klimatu na Marsie

Choć Mars jest dziś lodowato zimny, niegdyś mogły na nim panować lepsze warunki klimatyczne. Niewykluczone, że były tam rzeki, pokryte krą morza, topniejące lodowce, a nawet kwitło życie

Jeffrey S. Kargel i Robert G. Strom

Ludzie, którzy sporą część życia spędzili na badaniu Marsa, są zachwyceni słysząc, że nie jest wykluczone, iż w kamieniu odlupanym od tej planety mogły istnieć pozaziemskie organizmy. Ogłoszone niedawno rewelacje przywodzą jednak na myśl Percivala Lowella, słynnego astronoma amerykańskiego, który na początku XX wieku skierował teleskop na Marsa i ujrzał na nim wielką sieć otoczonych roślinnością kanałów. Dzięki niemu wiele osób zaczęło wierzyć, że na Marsie kwitnie tak bujne życie, a warunki na jego powierzchni nie różnią się zbytnio od panujących na Ziemi. Dopiero w latach sześćdziesiątych naszego wieku trzy sondy kosmiczne *Mariner* przeleciały w pobliżu Marsa i ujawniły całą surowość jego środowiska.

MARS DZIŚ ukazuje twarz upstrzoną piegami, jak na obrazie będącym mozaiką zdjęć wykonanych przez krążące wokół planety sondy kosmiczne (poniżej). Niewielka ilość wody zawarta w cienkiej marsjańskiej atmosferze często kondensuje w postaci szronu, szczególnie w pobliżu bieguna północnego (*biały obszar*), gdzie tworzy stałą czapę z lodu wodnego. (Południowy obszar okołobiegunowy, na którym temperatury są niższe, prawdopodobnie pokryty jest przede wszystkim suchym lodem, czyli zestalonym dwutlenkiem węgla.) Typowy krajobraz marsjański (z lewej) nie zawiera więc śladów wody, może z wyjątkiem kilku płatów szronu i wyrzeźbionych niegdyś przez płynącą wodę dolin.



Obserwacje przeprowadzone z pokładów tych bezzałogowych statków kosmicznych wykazały, że Mars ma bardzo cienką, zimną i suchą atmosferę, złożoną niemal wyłącznie z dwutlenku węgla, w której ciśnienie przy powierzchni planety jest mniejsze niż jeden procent ciśnienia atmosfery ziemskiej na poziomie morza. Obrazy przesłane drogą radiową na Ziemię podczas tego pierwszego spotkania z Czerwoną Planetą, trzydzieści lat temu, były nieliczne i niewyraźne, lecz z pewnością o wiele dokładniejsze niż te, które Lowell widział przez swój teleskop. Kamery *Marinerów* nie odkryły żadnych kanałów, wody ani roślinności. Pokazywały tylko księżycowy krajobraz powierzchni pokrytej kraterami. Sceptycy ni naukowcy szybko odrzucili więc

ideę, że klimat na Marsie jest na tyle ciepły i wilgotny, by mogło w nim istnieć życie.

Na swej odległej orbicie – o połowę większej od orbity Ziemi – spowity cieniutkim całunem atmosfery Mars ma lodowaty klimat. Średnia temperatura na powierzchni wynosi około -60°C na równiku, na biegunach zaś spada nawet do -123°C . Tylko koło południa na szerokościach okołorównikowych słońce od czasu do czasu może stopić lód, lecz cała uwolniona w ten sposób woda w stanie płynnym niemal natychmiast wyparowuje wskutek niskiego ciśnienia atmosferycznego.

Chociaż atmosfera zawiera pewne niewielkie ilości wody i powstają od czasu do czasu chmury z kryształków lodu, na pogodę na Marsie składają się

przede wszystkim burze pyłowe i opady dwutlenku węgla. Na biegunie zimowym na przykład co roku szaleje zamiecie z zamarzniętego dwutlenku węgla i osadza się na nim kilkumetrowa pokrywa z suchego lodu, gdy tymczasem na przeciwnym, letnim biegunie, dwutlenek węgla dysocjuje do atmosfery. Temperatura jednak nigdy nie podnosi się tam na tyle, by mogła stopić się zamarznięta woda, choć słońce świeci przez całą dobę.

Pomimo licznych dowodów na to, że klimat na Marsie jest zimny i suchy, od czasu uzyskania pierwszych wyników obserwacji przeprowadzonych przez sondy *Mariner* coraz częściej słyszy się wypowiedzi, że nie musiało być tak zawsze. Planetolodzy wciąż studiują obfite dane zebrane przez *Marinery* i przez

MARS W PRZESZŁOŚCI miał okresy, kiedy dzięki efektowi cieplarnianemu gruba warstwa atmosfery powodowała ogrzanie całej planety; w tych warunkach wieczna zmarzlina mogła ulec stopnieniu. Taka zmiana klimatu prowadziła do pojawienia się na powierzchni planety płynącej wody, która – jak przypuszczają niektórzy – gromadziła się w wielkich jeziorach lub morzach (*poniżej*). Niewykluczone, że niektóre z tych zbiorników wodnych pokrywał słony lód (*biały*) lub lód zanieczyszczony rozpuszczonymi w wodzie minerałami (*czerwony*). Krajobraz pokazany na poprzedniej stronie mógł więc wyglądać zupełnie inaczej (*z prawej*), gdy na powierzchni pozostawała woda w stanie ciekłym.



Pejzaże marsjańskie: SUSAN KITCHENS; mozaikowy obraz: za zgodą ALFREDA MCEWENA/NASA; komputerowe obrazy zmian na Marsie: SLJM FILMS.

wysłane w latach siedemdziesiątych *Vikingi*. Dzięki nim zdali już sobie sprawę z tego, że historia klimatu na Marsie jest bardzo złożona i że być może występowały w niej epoki znacznego ocieplenia. Okazało się bowiem, że w pewnych okresach po powierzchni Czerwonej Planety płynęły wielkie ilości wody! Zanim zastanowimy się, jakie ten zdumiewający fakt może mieć znaczenie dla możliwości powstania życia na Marsie i jak może wpłynąć na program badań planety, które się właśnie rozpoczynają [ramka na stronie 54], prześledźmy najpierw, w jaki sposób doszło do takiej zmiany poglądów.

Błotniste wspomnienia

Oglądając zdjęcia wykonane przez sondy *Mariner* i *Viking* z okółomarsjańskiej orbity, planetolodzy szybko zauważyli, że w przeciwieństwie do kraterów księżycowych większość starych kraterów na Marsie nosi ślady erozji, a niemal każdy duży młody krater otoczony jest czymś, co przypomina roz-

chlupane błoto. Takie błotniste „wyrzuty” stanowią prawdopodobnie zamrożnięte pozostałości po kataklizmicznej epoce w historii planety, gdy w jej powierzchnię uderzyła planetoida lub kometa, topiąc na pewnym obszarze wieczną zmarzlinę (czyli przesiąkniętą zamrożoną wodą marsjańską glebę) i wybijając wielki otwór, do którego wlała się woda z położonych głęboko pod powierzchnią warstw wodonośnych. Pod koniec lat siedemdziesiątych planetolodzy doszli do wniosku, że przez większą część historii Marsa głęboko pod jego powierzchnią ukryte były znaczne ilości lodu i wody.

Ślady wylewów błota nie występują jednak wokół wszystkich marsjańskich kraterów. Mniejsze są podobne do małych kraterów na Księżycu, z promieniście rozłożonymi wokół nich pasmami suchych kraterów wtórnych. W pobliżu równika ślady wylewów błota związane są tylko z kraterami o średnicy przekraczającej 4 km, lecz bliżej biegunów pojawiają się one wokół kraterów o średnicy zaledwie 1 km. Ta

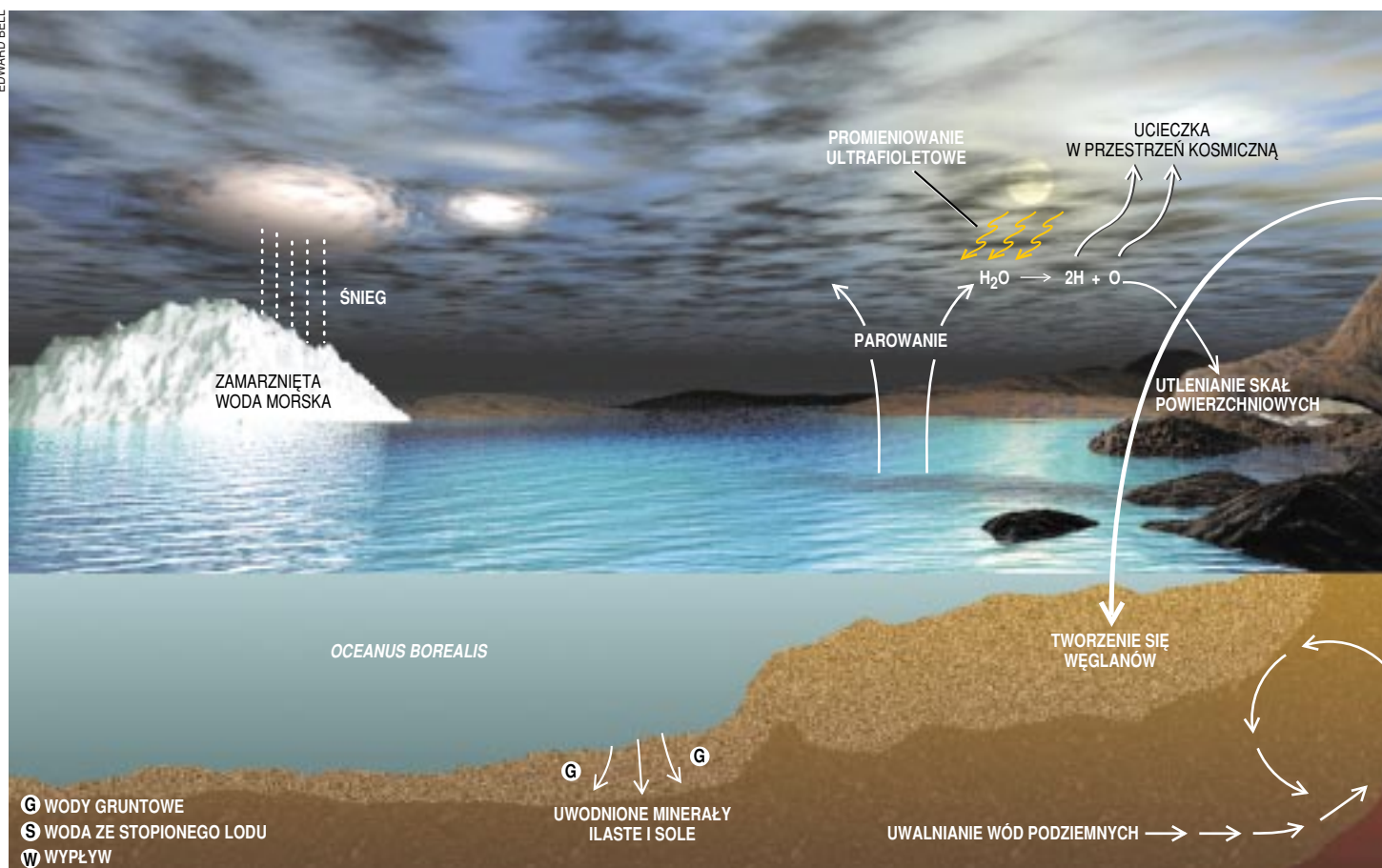
zależność od szerokości areograficznej spowodowana jest tym, że wolne od lodu warstwy powierzchniowe nie mają stałej grubości. Warstwy te sięgają głębiej w pobliżu równika (do około 800 m pod powierzchnię), gdyż panujący na szerokościach równikowych stosunkowo ciepły klimat sprawia, że z gruntu ulatnia się większość zawartej w nim wody. Dlatego w okolicach okółorównikowych tylko wielkie obiekty, których upadek powoduje powstanie bardzo dużych kraterów, mogą przeniknąć dostatecznie głęboko, by roztopić lodową wieczną zmarzlinę i uwolnić błotny potok.

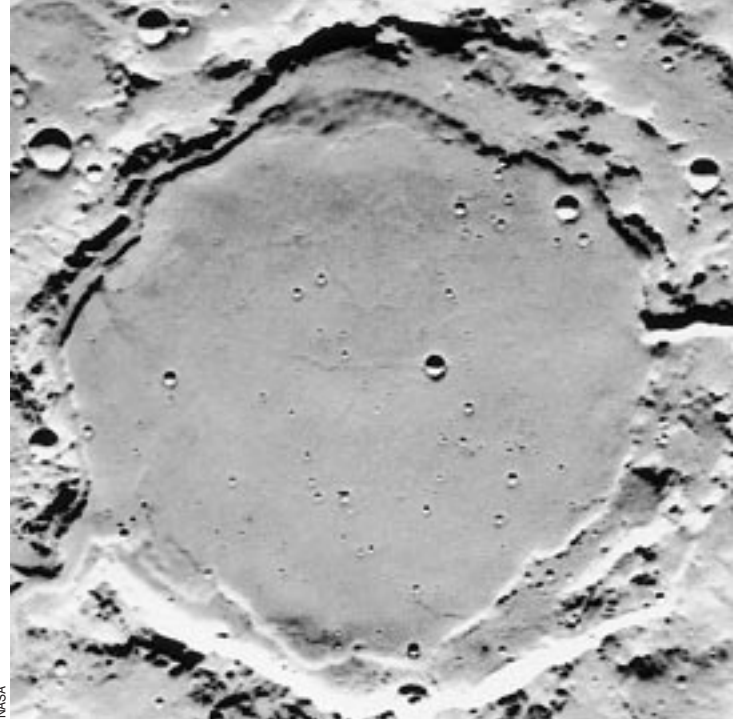
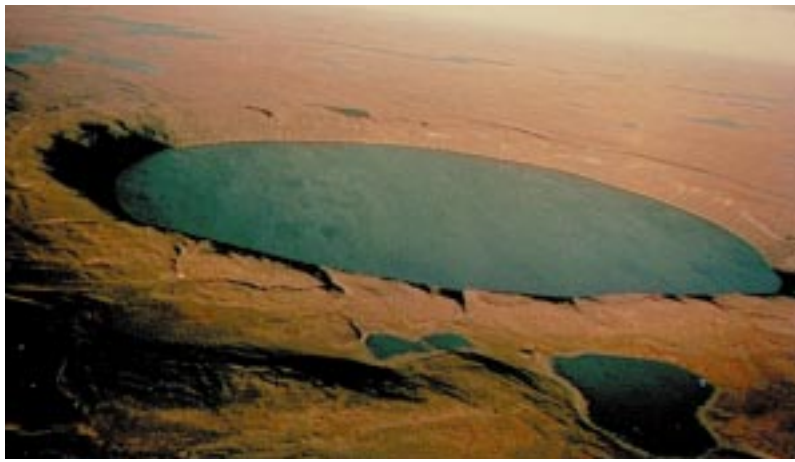
Naukowcy znaleźli także inne dowody na to, że na Marsie pod warstwą wierzchnią istnieje gruba warstwa zamrożonego gruntu. Odkryli też ślady wskazujące, że niegdyś na jego powierzchni osadzał się lód, który uformował charakterystyczne formy polodowcowe. Należą do nich kamieniste moreny boczne, utworzone na brzegach topniejących lodowców, oraz eskery, czyli kręte linie piasków i żwirów, pozostawione pod lodowcem przez strumienie wypływającej spod niego wody.

Wiele form ukształtowania terenu na Marsie przypomina polodowcowe obszary ziemskie. Pełna zagłębien powierzchnia Marsa odpowiada na przykład ziemskim formom, zwanym termokrasem, które powstają, gdy lód uwieczniony płytko pod powierzchnią

OBIEG WODY na Marsie podczas ciepłych epizodów jego dziejów mógł być procesem złożonym. Gruba atmosfera zawierała zapewne duże ilości wody odparowanej z jezior oraz mórz, która kondensowała w chmurach i opadała na powierzchnię. Powstający w ten sposób deszcz powodował osunięcie się gruntu; większość wody deszczowej wsiąkała w marsjańską glebę. Opady śniegu mogły się kumulować, co w efekcie prowadziło do powstawania lodowców, które zasilaty wypływającymi z nich strumieniami lodowcowych jeziora. Cyrkulacja hydrotermiczna, najprawdopodobniej związana z miejscami aktywnymi wulkanicznymi, mogła doprowadzić do wydostania się na powierzchnię planety wody ukrytej głęboko w podziemnych zbiornikach.

EDWARD BELL





BLYTH ROBERTSON Geological Survey of Canada

WE WNETRZACH KRATERÓW uderzeniowych na Ziemi często występują jeziora. Kratery takie powstały wskutek spadku planetoidy lub komety. Doskonałym przykładem takiego tworu jest jezioro w kraterze w Nowym Quebecu (powyżej). Podobne jezioro mogło kiedyś istnieć na Marsie na płaskim dnie krateru położonego w górach (z prawej). Widać na nim tarasowaty wlot (na godzinie ósmej) oraz głęboko wyżłobiony wypływ (na godzinie trzeciej).

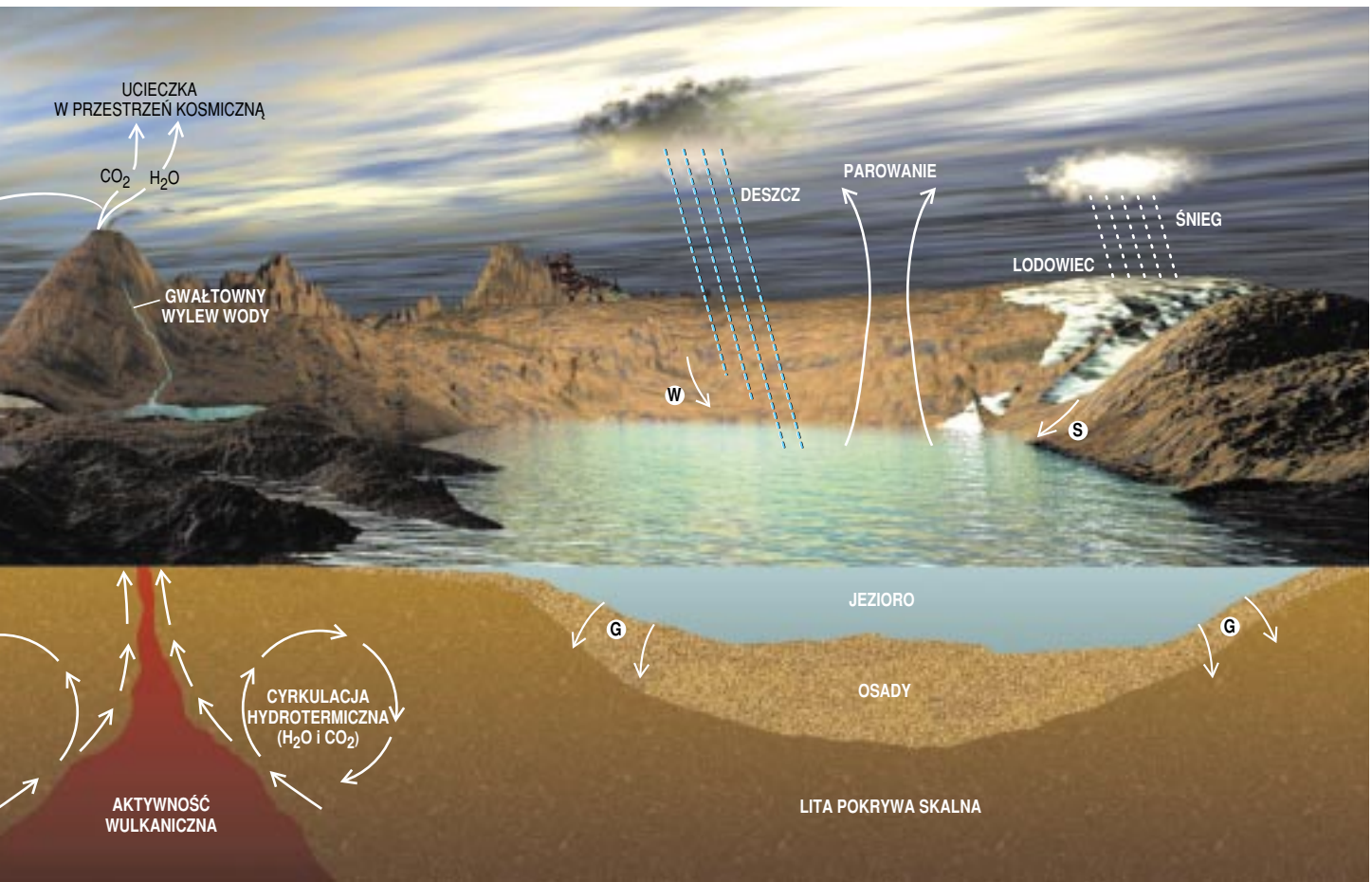
NASA

gruntu topnieje i ziemia nad nim się zapada. Fragmenty płatów skalnych w kształcie fartucha, jakie można zobaczyć na zboczach niektórych marsjańskich gór, mogą być lodowcami pokrytymi regolitem. Albo, co bardziej prawdopodobne, są „skalnymi lodowcami” przypominającymi formy występujące na Alasce i w Suchych Dolinach na Antarktydzie. Te wyraźnie nachylone powierzchnie powstają podczas tysięcy cy-

kli topnienia i zamarzania wierzchniej warstwy przesiąkniętego wodą gruntu, która następnie powoli zsuwa się w dół zbocza.

Formy lodowcowe i błotniste wylewy wokół kraterów nie są jedynymi przykładami wpływu wody na ukształtowanie powierzchni Czerwonej Planety. Występują na niej kręte doliny szerokości 1 km i długości wielu setek kilometrów, tworzące rozległe, rozga-

łęzione systemy. W latach siedemdziesiątych Carl Sagan z Cornell University i Victor R. Baker z University of Arizona wraz ze współpracownikami zasugerowali, że doliny te wytworzyła płynąca woda. Inne marsjańskie doliny mają tępe początki i krótkie dopływy, typowe dla erozji wskutek wypłukiwania przez wody gruntowe. Proces ten, bardzo często występujący na Ziemi, jest wynikiem wyciekania wody z pod-



LODOWIEC SKALNY koło McCarthy na Alasce (z *prawej*) wypływa z półkolistego kotła – typowej formy polodowcowej w górach. Podobny krajobraz można znaleźć na Marsie (zdjęcie na następnej stronie) – podłużne linie wypływu wybiegają z zakrzywionej górskiej grani.

ziemnych źródeł i wymywania przez nią leżących powyżej skał i gleby.

Zdjęcia Marsa ujawniają również istnienie na jego powierzchni ogromnych kanałów erozyjnych. Niektóre z nich mają ponad 200 km szerokości i 2000 km, albo więcej, długości. Kanały te rozpoczynają się w obszarach chaotycznie ukształtowanego terenu – złożonego z potrzaskanych i rozrzuconych skał – powstałego wskutek zawalenia się sklepienia gruntu do podziemnej niszy, która pojawiła się po nagłym wypływie wód podziemnych. Wypływająca ogromnymi strumieniami woda wyżyłbiła szerokie kanały, pozostawiając między nimi wyspy opływowego kształtu i długości ponad 100 km oraz głębokie na kilkaset metrów kotły. Baker porównał kanały erozyjne na Marsie z podobnymi, choć mniejszymi formami na Ziemi w stanach Oregon i Waszyngton, na północno-zachodnim wybrzeżu Pacyfiku. Powstały one wtedy, gdy lodowiec blokujący odpływ wielkiego jeziora nagle pękł, powodując katastrofalną powódź.

Geometria marsjańskich kanałów erozyjnych świadczy o tym, że woda mogła płynąć po powierzchni gruntu z szybkością aż 75 m/s (270 km/h). Michael H. Carr z U.S. Geological Survey ocenia, że ogromne ilości wody, jakie wyżyłbiły te gigantyczne kanały, wystarczyłyby do pokrycia Marsa oceanem głębokości 500 m, choć nie cała woda musiała wypłynąć w tym samym czasie. Jednym ze źródeł takiej masy wody mogło być głębokie jezioro w Valles Marineris, rejonie częściowo pokrytym warstwami osadowymi podobnymi do osadów po dawnym jeziorze. Woda mogła też wydostać się z wielkiego zbiornika, znajdującego się pod zaimpregnowaną lodem wieczną zmarzliną, który został rozgrzany przez ciepło z wnętrza planety.

Dlaczego jednak tak wielkie ilości wody miałyby nagle wydostać się na powierzchnię? Naukowcy nie są pewni, lecz przypuszczają, że woda zaczęła wypływać po tym, jak warstwa przykrywającej ją wiecznej zmarzliny z jakiegoś powodu zmniejszyła się i osłabła, być może wskutek nagłego ocieplenia klimatu, aktywności wulkanicznej lub ruchów tektonicznych. Niewykluczone, że gwałtowny wypływ wody został spowodowany przez upadek wielkiego meteorytu lub trzęsienie ziemi. Po przedo-



stanu się na powierzchnię czegoś w rodzaju wody sodowej nasycającej ją pod ciśnieniem dwutlenek węgla mógł wytrysnąć w ogromnych gejzerach, dodatkowo osłabiając stabilność nasyconych warstw podziemnych. W wyniku tego pojawiły się zapewne obszary chaotycznie ukształtowanego terenu oraz wypływy wody i błota o rozmiarach, którym nigdy chyba nie dorównała żadna powódź na Ziemi.

Gdzieś za oceanem

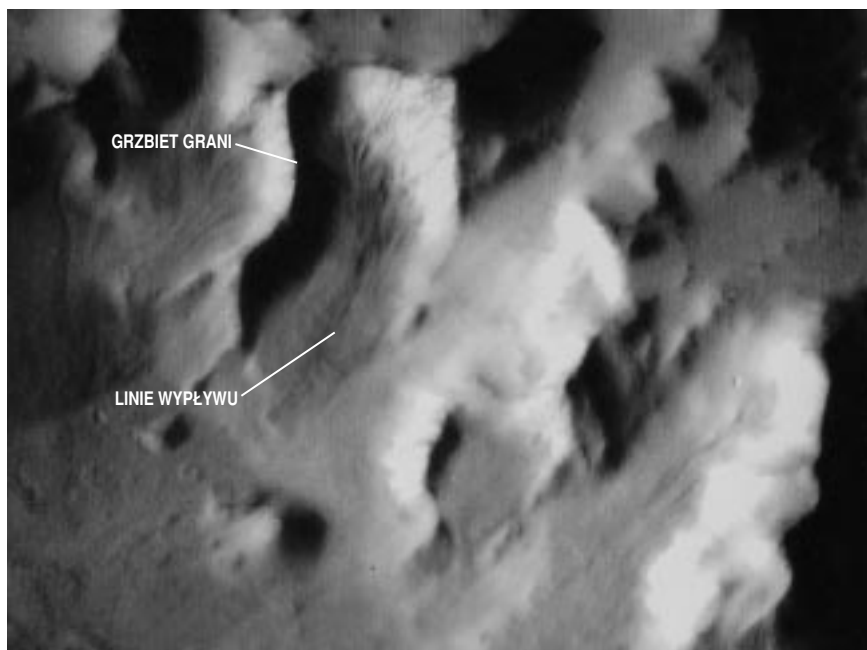
Na niektórych wyżynnych obszarach Marsa istnieje sieć dolin, prowadzących do wypełnionych warstwami osadowymi depresji. Te niziny pokrywała kiedyś woda. Największe z tych marsjańskich jezior wypełniały dwa olbrzymie baseny uderzeniowe, zwane Hellas i Argyre.

Jeziora te nie musiały być jednak największymi zbiornikami wodnymi na Marsie. Grupa badawcza, którą kierowali David H. Scott i Kenneth L. Tanaka z U.S. Geological Survey, oraz zespół Jeffreya M. Moore'a z NASA Ames Research Center niezależnie doszli do wniosku, że powtarzające się wypływy przez skierowane na północ kanały erozyjne doprowadziły do opróżnienia tych basenów i powstania systemu jezior i mórz pośrednich. Wiele form ukształtowania powierzchni uważa się za granice tych dawnych basenów i miejsca, gdzie niegdyś spływały do nich lodowce. Tanaka i Moore przypuszczają, że na większości obszaru wielkich równin na północy rozciągają się grube warstwy osadów powstałe na dnie mórz.

Według niektórych jedno z większych mórz na północy Marsa mogło mieć objętość równą łącznej objętości Zatoki Meksykańskiej i Morza Śródziemnego.

Nawet tak ogromna ilość wody nie była jednak rekordowa: okazuje się, że na Marsie prawdopodobnie istniał ocean. Już w 1973 roku Henry Faul z University of Pennsylvania wskazał na tę intrygującą możliwość w artykule, któremu nadał romantyczny tytuł „The Cliff of Nix Olympica”¹. Z uwagi na szczupłość dostępnego wówczas materiału obserwacyjnego trudno się dziwić, że artykuł ten nie został przyjęty do druku. W latach osiemdziesiątych jednak inni badacze na podstawie informacji uzyskanych dzięki sondom *Viking* wrócili do idei Faula.

W 1989 roku Timothy J. Parker wraz z kolegami z Jet Propulsion Laboratory w Pasadenie (Kalifornia) ponownie wysunęli hipotezę istnienia w przeszłości oceanu na północy (argumentując, że wiele form terenu na północnych równinach wygląda tak, jakby powstało wskutek erozji brzegu morskiego). Aby zwiększyć szanse publikacji swej pracy, zdecydowali się jednak na celowe rozmycie prowokacyjnej wymowy artykułu, nadając mu tytuł „Transitional Morphology in the West Deuteronilus Mensae Region of Mars: Implications for Modification of the Lowland/Upland Boundary” (Przejęciowa morfologia w rejonie West Deuteronilus Mensae na Marsie: implikacje modyfikacji granicy między obszarami nizinnymi a wyżynnymi.) W kolejnym artykule naukowcy zdecydowali się na bardziej jednoznaczny tytuł: „Coastal Geomorphology of



NASA

the Martian Northern Plains" (Geomorfologia brzegowa na północnych równinach Marsa). Zachęcony m.in. tymi pracami Baker (z kilkoma współpracownikami, do których należeli również piszący te słowa) nazwał hipotetyczny ocean północny Oceanus Borealis. Obliczyliśmy, że przypuszczalnie był on czterokrotnie większy od Oceanu Arktycznego na Ziemi, i zaproponowaliśmy scenariusz cyklu obiegu marsjańskiej wody, który mógł doprowadzić do jego powstania.

Choć większość planetologów zgadza się już, że na północnych równinach Marsa okresowo pojawiały się masy wody, liczni jednak odrzucają hipotezę, iż istniał tam prawdziwy ocean. Niektórzy z nich widzą tam tylko wielki ocean bagien. Tak czy inaczej, nie ma wątpliwości, że niegdyś po powierzchni Marsa płynęły ogromne ilości wody. Nie wiadomo jednak, co się z nią stało. Część zapewne wsiąkła w podłoże i zamarzała, tworząc wieczną zmarzlinę. Część mogła zamarznąć od razu i w takim przypadku rozciągałaby się teraz na dnie północnych równin, ukryta pod płaszczem pyłu i piasku. Woda mogła też po prostu częściowo wyparować i uciec w przestrzeń kosmiczną lub osadzić się w postaci śniegu na biegunach.

Zapisane w skałach

Choć obrazy form polodowcowych oraz doliny rzek, jezior i mórz stanowią silną przesłankę na rzecz istnienia na Marsie w przeszłości mas wody, pojawiły się także dowody z innych źródeł. Prowadzone z Ziemi obserwacje spek-

troskopowe ujawniły występowanie na Czerwonej Planecie minerałów ilastych. Istnieje również bardziej bezpośredni dowód: dwa lądowniki sond *Viking*, które osiadły na powierzchni planety, umożliwiły analizę jej gruntu i stwierdzenie, że prawdopodobnie składa się on w 10–20% z soli. Marsjańskie skały, podobnie jak skały ziemskie, pod wpływem wody wchodzą w reakcje chemiczne, które prowadzą do powstawania soli i minerałów ilastych. Reakcje takie prawdopodobnie nie mogą jednak zachodzić w chłodnych i suchych warunkach, jakie obecnie panują na Marsie.

Niektórzy uczeni badali także marsjańskie skały znalezione na Ziemi. Te rzadkie próbki zostały wyrzucone w przestrzeń kosmiczną wskutek spadku planetoidy lub komety na powierzchnię Marsa, a następnie trafiły na Ziemię jako meteoryty. Allan H. Treiman z Lunar and Planetary Institute w Houston i James L. Gooding z NASA Johnson Space Center w ciągu kilku ostatnich lat wykazali, że minerały w niektórych z tych tzw. meteorytów SNC zostały zmodyfikowane przez zimną słońcą wodę, inne zaś zmieniły się pod wpływem wodnych roztworów soli o wyższej temperaturze. Wynika z tego, że na Marsie panował kiedyś stosunkowo ciepły, wilgotny klimat i występowały gorące źródła. Mogło się też zdarzyć, że istniały warunki sprzyjające powstaniu życia.

Możliwość ta zainspirowała Davida S. McKaya z NASA Johnson Space Center i jego współpracowników do poszukiwań śladów dawnego życia na Marsie w meteorytach SNC. Choć ich wniosek, że znaleźli skamieniałe formy mikro-

bów, jest dość kontrowersyjny (wciąż trwa bardzo ożywiona dyskusja na ten temat), skład badanej przez nich skały – zawierającej fragmenty wypełnione minerałami, które prawdopodobnie wytrąciły się z roztworu wodnego – wskazuje, iż warunki panujące na Marsie kilka miliardów lat temu nie wykluczały powstania życia.

Wielu fizyków atmosfery doszło do wniosku, że z Marsa musiała uciec w przestrzeń kosmiczną ogromna ilość wody. Jest to zgodne z hipotezami wysnutymi przez geologów. Obliczenia teoretyczne zgadzają się z wynikami pomiarów wykonanych przez radzieckie sondy *Mars*. Zarejestrowały one uciekające z marsjańskiej atmosfery atomy wodoru i tlenu, uwolnione w wyniku rozpadu cząsteczek wody pod wpływem światła słonecznego. Ciągła utrata tych pierwiastków świadczy o tym, że niegdyś na Marsie było dość wody, by wypełnić Oceanus Borealis.

Woda nie jest jednak jedyną traconą substancją. Niedawno David M. Kass i Yuk L. Yung z California Institute of Technology zbadali ewolucję zawartości w atmosferze Marsa dwutlenku węgla – gazu, który może być odpowiedzialny za efekt cieplarniany. Stwierdzili, że z Marsa uciekła w kosmos ogromna ilość tego gazu. Było go tak dużo, że mógłby utworzyć atmosferę o ciśnieniu trzykrotnie przewyższającym ciśnienie atmosferyczne na Ziemi. Efekt cieplarniany spowodowany tym gazem wystarczyłby zapewne do ogrzania większości powierzchni Marsa powyżej punktu zamarzania wody. A zatem także i w tym ujęciu całkiem prawdopodobna wydaje się hipoteza, że Mars był niegdyś o wiele cieplejszy i wilgotniejszy niż obecnie.

Pozostają jednak pytania dotyczące rozmieszczenia wody na powierzchni planety: Czy istniał tam prawdziwy ocean? Czy woda przepływała szybko między zbiornikami? Kiedy i przez jak długi czas Mars był wilgotny? Chociaż dokładne datowanie jest niemożliwe, wielu uczonych sądzi, że rzeźbienie powierzchni Marsa przez wodę zdarzyło się wielokrotnie w historii planety. Ciągła ucieczka wody i dwutlenku węgla z jego atmosfery wskazuje, że w dawnych epokach (tzn. miliardy lat temu) Mars mógł być bardzo ciepły i mokry. Niewykluczone jednak, że okresy podwyższonej temperatury i wilgotności występowały także stosunkowo niedawno: Timothy D. Swindle z University of Arizona i jego współpracownicy badali w jednym z meteorytów SNC minerały utworzone wskutek oddziaływania z wodą i ocenili, że powstały one

Parada sond marsjańskich

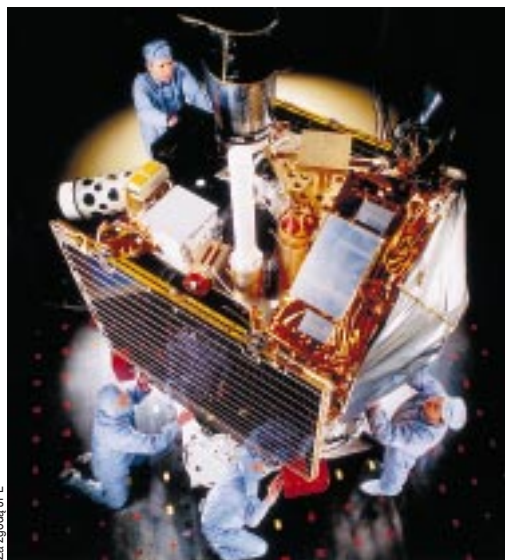
Obecnie w różnych stadiach opracowania i przygotowań znajduje się 9 programów wypraw naukowych na Marsa. Trzy z nich mają wyruszyć w listopadzie i grudniu 1996 roku.² Pierwsza wystartuje sonda *Mars Global Surveyor*. Latem 1997 roku statek (ilustracja góra) wejdzie na orbitę wokół Marsa, z której szczegółowo sfotografuje jego powierzchnię.

Niecałe dwa tygodnie po starcie sondy *Surveyor* rozpocznie się międzynarodowa wyprawa *Mars'96*. Rosja we współpracy z Niemcami, Francją, Finlandią i kilkoma innymi krajami wysyła małą naukową flotyllę: jeden statek ma wejść na orbitę okółomarsjańską, dwa lądowiki osiadą łagodnie na powierzchni planety, a dwa penetratory wbiją się głęboko w jej grunt.

Na początku grudnia NASA wypuszcza swoją drugą sondę – *Mars Pathfinder*. W 7 miesięcy później *Pathfinder* osiadzie na powierzchni Marsa u ujścia starego kanału erozyjnego. Nastąpi to 4 lipca, po 21 latach od dnia, w którym na powierzchni Czerwonej Planety wylądował *Viking 1*. Po mocnym usadowieniu się na swym lądowisku *Pathfinder* wypuści mały sześciokołowy pojazd (ilustracja dolna), który ma zbadać teren w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca lądowania.

W ciągu następnych 10 lat uczeni wyślą co najmniej cztery kolejne marsjańskie orbiter i pięć lądowików, które podejmą badania planety (rozkład lotów obok). Choć amerykańskie plany dotyczyły początkowo tylko prostej misji w celu przywiezienia próbek gruntu w 2005 roku, odkrycie ostatnie, że w przeszłości na Marsie mogły istnieć mikroorganizmy, skłoniło NASA do jej przyspieszenia.

Wyprawa po marsjańskie skały jest szalenie ekscytująca z naukowego punktu widzenia, lecz też najbardziej trudna technicznie spośród wszystkich dotychczasowych misji planetarnych. Próbnik będzie musiał zabrać dostatecznie dużo wodoru (który na szczęście jest lekki), by mieć paliwo na drogę powrotną; przed rozpoczęciem podróży na Ziemię może jednak zająć konieczność uzupełnienia zapasów tlenu, w którym wodór ma się spalać. Statek musiałby zatem zgromadzić tlen na powierzchni Marsa, rozkładając dwutlenek węgla, który na szczęście występuje w marsjańskiej atmosferze w nieograniczonych ilościach.



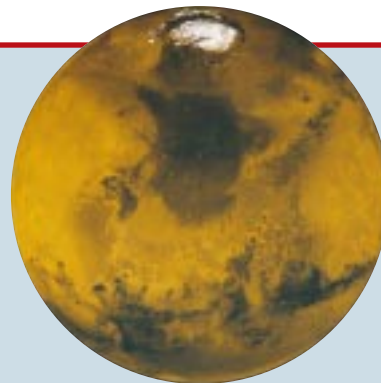
Za zgodą JPL

ORBITER SONDY *SURVEYOR* podczas przygotowań do wyprawy.



Za zgodą JPL

ZDALNIE STEROWANY ROBOT zbada powierzchnię Marsa.



LOTY NA MARSZA

5 listopada 1996 (USA) *Mars Global Surveyor*

NASA wysyła sondę na Marsa w celu sfotografowania powierzchni planety. Dotrze ona na miejsce latem 1997 roku.

16 listopada 1996 *Mars'96*
(misja międzynarodowa)

Rosja i współpracujące z nią kraje europejskie wysyłają na Marsa flotyllę statków złożoną z orbitera i czterech lądowików. Na miejsce mają dotrzeć we wrześniu 1997 roku.

5 grudnia 1996 (USA) *Mars Pathfinder*

Próbnik wylądowuje w starym kanale erozyjnym 4 lipca 1997 roku i wypuści mały pojazd do zbadania powierzchni wokół lądowiska.

1998–1999 (USA) *1998 Mars Surveyor*
(orbiter i lądownik)

Jeden ze statków będzie nadal fotografował powierzchnię, szukając zwłaszcza odizolowanych miejsc występowania osadów zestalonego dwutlenku węgla. W tym czasie na Marsie osiadzie lądownik i zbada południowe obszary biegunowe.

1998–1999 (Japonia) *Planet B*
Sonda orbitalna zbada górne warstwy atmosfery Marsa.

2001 (USA) *Mars '01*
(orbiter i lądownik)

Orbiter i lądownik będą kontynuować badanie powierzchni Marsa.

2001 (Rosja) *Mars '01*

Jeden lub kilka lądowików, być może wyposażonych w pojazdy badawcze, przeprowadzi badania powierzchni.

2003 (USA) *Mars '03*
(orbiter i lądownik)

Gdy satelita będzie prowadził obserwacje z orbity, lądownik osiadzie na powierzchni i zbada rejony, w których kiedyś mogło rozwijać się życie.

2005 (USA) *Mars Surveyor '05*

Statek ma wylądować, pobrać próbki gruntu i przywieźć je na Ziemię, być może uzupełniając paliwo na powierzchni Marsa.

300 mln lat temu – dawno wedle ludzkiej miary, lecz zaledwie ułamek historii Układu Słonecznego, liczącego sobie 4.6 mld lat. Wynik ten jest jednak obciążony dużą niepewnością.

Czas okresów mokrych na Marsie jest trudny do dokładnego określenia. Jeśli jego erozyjne formy powierzchniowe powstały w warunkach odpowiadających ziemskiemu epokom lodowcowym, ciepły i wilgotny klimat musiałby panować dłużej niż kilka tysięcy, lecz mniej niż milion lat. Gdyby warunki takie istniały znacznie dłużej, erozja prawdopodobnie zatarłaby niemal wszystko oprócz śladów kilku największych kraterów uderzeniowych, jak się to stało na Ziemi.

Ograniczenie to nie dotyczy początków historii planety miliardy lat temu, zanim powstały widoczne dziś kratery. Młody Mars mógł zostać poddany intensywnej erozji, wygładzającej jego oblicze. Gdy jednak planeta wchodziła w wiek średni, jej facjata stawała się coraz bardziej sucha, zimna i upstrzona piegami. Od tego czasu powierzchnia planety w niektórych regionach odmładzana była w nielicznych tylko okresach ciepła. Lecz mechanizm, który powoduje przechodzenie od klimatu zimnego do ciepłego i z powrotem, jest nieznanym. Uczni ośmielają się obecnie formułować tylko bardzo przybliżone hipotezy, jak takie zmiany mogły zachodzić.

Włączamy ogrzewanie

Jedna z tych hipotez wymaga zmiany nachylenia osi obrotu planety z położenia idealnego, prostopadłego do jej orbity. Równik Marsa, podobnie jak Ziemi, jest obecnie nachylony do płaszczyzny orbity pod kątem 24° i nachylenie to regularnie zmienia się w czasie. W 1993 roku Jacques Laskar i P. Robutel z Francji oraz Jihad Touma i Jack L. Wisdom z Massachusetts Institute of Technology odkryli, że nachylenie osi Marsa może się gwałtownie zmieniać. Co mniej więcej 10 mln lat mogą się zdarzać przesunięcia osi obrotu nawet o 60° . Poza tym cyklicznym zmianom podlega kierunek osi obrotu i kształt orbity Marsa.

Te niebieskie machinacje, a szczególnie tendencja do znacznych odchył osi obrotu mogą prowadzić do bardzo dużych zmian temperatury. Nawet przy tak cienkiej atmosferze, jaka obecnie otacza Marsa, letnia temperatura na średnich i wysokich szerokościach areograficznych w epokach dużego nachylenia równika do płaszczyzny orbity może wzrosnąć na okres całych tygodni powyżej punktu zamarzania wody, a marsjańskie zimy – stać się jeszcze surowsze niż obecnie.



BRADFORD WASHBURN: za zgodą PANOPTICUM GALLERY



NASA

ESKERY to kręte grzbiety utworzone z piasku oraz kamieni pozostawionych przez strumienie wody, płynące poprzednio pod warstwą lodu. Urozmaicają krajobraz u podnóża lodowca w Tasnuna Valley na Alasce (*u góry*). Niewykluczone, że eskery istnieją również na dnie basenu Argyre na Marsie (*na dole*), co świadczy o tym, iż obszar ten był niegdyś pokryty topniejącym lodowcem.



WZGÓRZA W KSZTAŁCIE ŁEZ zostały wyrzeźbione przez wody spływające z lodowcowego jeziora Missoula w pokrytym kanałami obszarze na wschodzie stanu Waszyngton (z lewej). Podobne opływowe wzgórza można znaleźć na Marsie; powstają zwykle za krawędziami dużych kraterów uderzeniowych (z prawej).

Wystarczająco silne ogrzewanie bieguna letniego powoduje drastyczne zmiany w atmosferze. Gazy uwalniane z ogrzanych czap polarnych, z podziemnej wody sodowej i przesiąkniętej dwutlenkiem węgla wiecznej zmarzliny doprowadzają do takiego wzrostu gęstości atmosfery, że przez pewien czas klimatem rządzi efekt cieplarniany. Powstają wtedy warunki, aby na powierzchni pojawiła się woda w stanie płynnym. W reakcjach chemicznych przez nią wywołanych podczas tych ciepłych okresów tworzą się sole i skały węglanowe. Następuje powolne usuwanie dwutlenku węgla z atmosfery, co prowadzi do osłabienia efektu cieplarnianego. Powrót do niewielkiego nachylenia równika do płaszczyzny orbity powoduje dalsze ochłodzenie, opady suchego lodu, kurczenie się atmosfery i powrót planety do jej normalnego, zamrożonego stanu.

Ta teoria zmian klimatycznych musi jeszcze zostać sprawdzona, lecz rozpoczynający się właśnie dziesięcioletni program bezzałogowych badań Marsa przyniesie z pewnością nowe obserwacje i nowe odkrycia. Wyprawy te rozpoczął w listopadzie 1996 roku start sond amerykańskich i rosyjskich.

Program badań ma się zakończyć w roku 2005 lotem po próbki marsjańskich skał. Odkrycie w meteorycie SNC przypuszczalnych szczątków marsjańskich mikrobów zaostriżyło jednak apetyt uczonych: pojawiły się głosy za sprostowaniem próbek z Marsa wcześniej, niż planowano, by można było lepiej ocenić, czy kilka miliardów lat temu – a może nawet później – na Czerwonej Planecie rzeczywiście istniały mikroorganizmy.

Amerykańskie sondy kosmiczne, które znajdują się w drodze do Marsa, to *Mars Pathfinder* i *Mars Global Surveyor*. *Pathfinder* wyląduje na kamienistej równinie kanału erozyjnego, który niegdyś doprowadzał wodę do marsjańskiego morza. Choć sonda nie ma wyposażenia umożliwiającego bezpośrednie szukanie oznak życia, wypuści niewielki pojazd, który będzie badał najbliższą okolicę. *Surveyor* wykona z orbity zdjęcia, na których widoczne będą szczegóły zaledwie kilkumetrowe. Posłużą one naukowcom do sporządzenia szczegółowych map topograficznych Marsa i do szukania osadów lodowych i dowodów istnienia w przeszłości lodowców, jezior i rzek. Informacje zebrane przez te

sondy powinny dać uczonym jaśniejszy obraz dziejów Marsa podczas ostatniego ciepłego epizodu, być może zaledwie 300 mln lat temu.

W owym okresie na Ziemi gady pochodzące od ryb wyszły z morza i zamieszkały na jego bagnistych brzegach. Czy w tym samym czasie na Marsie mogły istnieć inne złożone organizmy? Nie wykluczone, że przez jakiś milion lat, a nawet znacznie dłużej na Marsie panowały warunki niezbędne do życia. Czy wystarczyłoby to, by organizmy przeszły ewolucję do postaci, która zniósłaby drastyczne zmiany klimatu? Czy marsjańskie organizmy mogły przetrwać do dziś w podziemnych gorących źródłach? Miejmy nadzieję, że następne dziesięciolecie wytężonych badań Marsa przyniesie ostateczną odpowiedź, która – jeśli będzie twierdząca – wypełni lukę tak długą jak historia ludzkości.

Tłumaczył
Maciej Bzowski

Przypisy redakcji:

¹ Nix Olympica to dawna nazwa Olympus Mons – najwyższego wulkanu na Marsie i w całym Układzie Słonecznym.

² W chwili oddawania numeru *Świata Nauki* do druku, sonda *Mars Global Surveyor* zmierzała już ku Marsowi, natomiast statek *Mars '96* uległ zniszczeniu po nieudanym starcie.

Informacje o autorach

JEFFREY S. KARGEL i ROBERT G. STROM w ciągu ostatnich 10 lat współpracowali w różnych programach badań planetarnych. Kargel zetknął się ze Stromem wkrótce po rozpoczęciu studiów magisterskich w University of Arizona, gdzie otrzymał doktorat z planetologii w 1990 roku. Kargel pozostał w Lunar and Planetary Science Laboratory University of Arizona na dwuletnim stażu podoktoranckim, podczas którego zajmował się lodowymi księżycami w zewnętrznym Układzie Słonecznym, a następnie przeniósł się na Wydział Astrogeologii U.S. Geological Survey w Flagstaff. Strom rozpoczął karierę jako geolog poszukujący ropy naftowej, lecz w latach sześćdziesiątych zaangażował się w badania księżycowe i podjął pracę w University of Arizona, gdzie do tej pory prowadzi działalność dydaktyczną i badawczą. Był członkiem zespołów naukowych NASA zorganizowanych na potrzeby programu Apollo, wypraw sond *Mariner* na Venus i Merkurego oraz statków *Voyager* do zewnętrznych planet Układu Słonecznego.

Literatura uzupełniająca

ANCIENT OCEANS, ICE SHEETS AND THE HYDROLOGICAL CYCLE ON MARS. V. R. Baker, R. G. Strom, V. C. Gulick, J. S. Kargel, G. Komatsu i V. S. Kale, *Nature*, vol. 352, ss. 589-594, 15 VIII 1991.

ANCIENT GLACIATION ON MARS. J. S. Kargel i R. G. Strom, *Geology*, vol. 20, nr 1, ss. 3-7, I/1992.

THE ICE AGES OF MARS. J. S. Kargel i R. G. Strom, *Astronomy*, vol. 20, nr 12, ss. 40-45, XII/1992.

COASTAL GEOMORPHOLOGY OF THE MARTIAN NORTHERN PLAINS. T. J. Parker, D. S. Gorsline, R. S. Saunders, D. C. Pieri i D. M. Schneeberger, *Journal of Geophysical Research E (Planets)*, vol. 98, nr 6, ss. 11061-11078, 25 VI 1993.

W World Wide Web strona Center for Mars Exploration (<http://cmex-www.arc.nasa.gov>).