Którędy na Marsie płynęły rzeki?

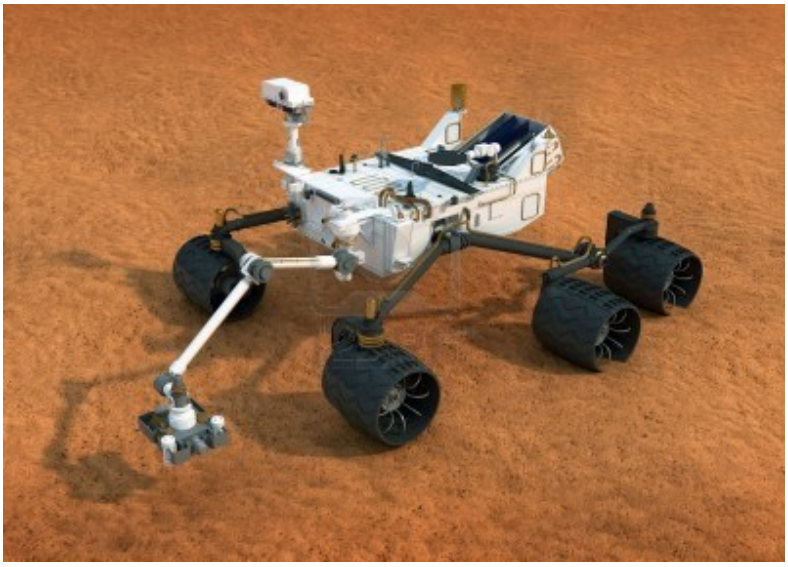
Odtwarzanie archaicznych sieci rzecznych i zasięgu oceanu

Człowiek jako istota społeczna nie lubi być sam. Być może dlatego zakłada rodziny, zawiera przyjaźnie, wchodzi w kręgi koleżeńskie w szkole, pracy i miejscu zamieszkania. Ludzie tworzą organizacje, społeczności, narody i państwa. Czy z tego samego powodu poszukujemy śladów życia, choćby i z zamierzchłych epok, na innych planetach? Czyż dowód na to, że na Marsie jednak istniało życie, nie dałby nam wszystkim satysfakcji? A jeśli tak, to dlaczego?

Jeden z podstawowych aksjomatów biologii mówi, że życie w formie, jaką znamy, nie jest możliwe bez wody. Istnienie wody na Marsie przestało być już tylko hipotezą, lecz stało się faktem. Fakt, że na Marsie płynęła woda, nie stanowi dowodu na to, że istniało tam życie, ale czyni nadzieję czyni bardziej realną. Przy obecnym zasobie danych z Marsa, korzystając z technologii GIS, nie jesteśmy w stanie odnaleźć śladów dawnego życia, ale możemy wskazać miejsca, gdzie należy rozpocząć poszukiwania takich śladów.

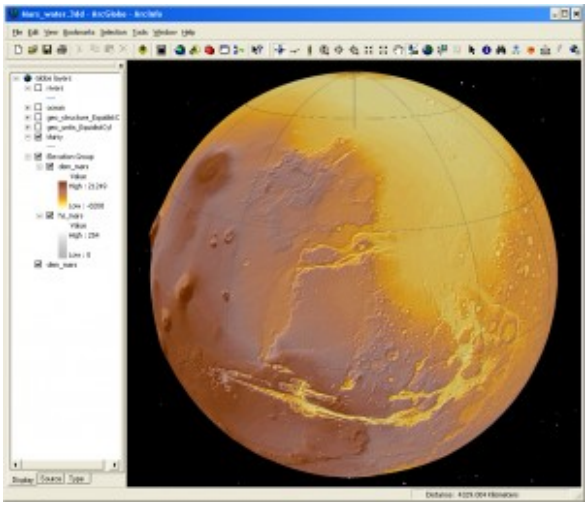
Niedawne wyprawy pojazdów bezzałogowych na Marsa (między innymi Phoenix 2008, Curiosity 2012 – rys. 1.) dowodzą, że na tej planecie wciąż istnieją zasoby wody, choć wskutek panujących tam temperatur jedynie w stanie zamrożonych, lodowych czap polarnych wokół marsjańskich biegunów oraz również całkowicie zamarzniętych wodonośćców, znajdujących się na różnych głębokościach. Ponieważ średnia temperatura na powierzchni Marsa wynosi poniżej -60°C, nawet znaczne jej fluktuacje nie dają szans na oglądanie wody w stanie ciekłym. Ponadto, wspomniane warstwy lodu pokryte są grubą pokrywą

marsjańskiego pyłu, który chroni go przed sublimacją.



Rys. 1. Sonda Curiosity, największy jak do tej pory pojazd poruszający się po powierzchni Czerwonej Planety, wylądował na Marsie 6 sierpnia 2012 roku. Do powodzenia misji przyczynili się również Polacy – niektóre elementy Curiosity zostały wyprodukowane przez polską firmę VIGO System S.A.

Na Czerwonej Planecie, w jej równie długiej jak ziemska historii geologicznej, nie zawsze było tak zimno, jak teraz. Przed mniej więcej 4 mld lat Mars miał gęstą, wilgotną atmosferę, a temperatura jego powierzchni, pomimo większego oddalenia od Słońca, prawdopodobnie przewyższała tę panującą obecnie na Ziemi. Analiza zdjęć satelitarnych (np. europejski ESA Mars Express, 2003 rok) wykonanych z marsjańskiej orbity, badania geologiczne prowadzone przez sondy oraz przegląd wysokościowego modelu terenu (np. amerykański MOLA, 2002 rok) wskazują na to, że powierzchnię Marsa w wielu miejscach przecinały rzeki, tworzyły się tu jeziora, a nawet falowały oceany (rys. 1.).



Rys. 2. Rdzawy kolor „Czerwonej Planety” spowodowany jest dużą zawartością tlenków żelaza. Wyraźna dolina w dolnej części mapy to Valles Marineris, której widok przez lata pobudzał wyobraźnie astronomów, jako system kanałów zbudowanych przez istoty inteligentne.

Poszukiwania dolin rzecznych

Oglądając wysokorozdzielczy model powierzchni Marsa, nie trudno jest zaobserwować na niektórych obszarach liniowe formy rzeźby terenu przypominające znane z ziemskiej geomorfologii wyschnięte doliny rzek, a czasem nawet ich dawne tereny zalewowe. Do najbardziej wyrazistych przykładów należy rejon Marsa zwany Kasei Valles (rys. 2.). Widoczny na ilustracji system łagodnych łuków i krzywizn przypomina dna dolin rzecznych na obszarach nizinnych. Tego typu formy geomorfologiczne możemy zinterpretować jako system dolin utworzonych przez płynącą wodę (najprawdopodobniej wodę, bo jakiż inny płyn mógłby to być), zwłaszcza, że da się zidentyfikować obszary, na których występowały zarówno erozja,

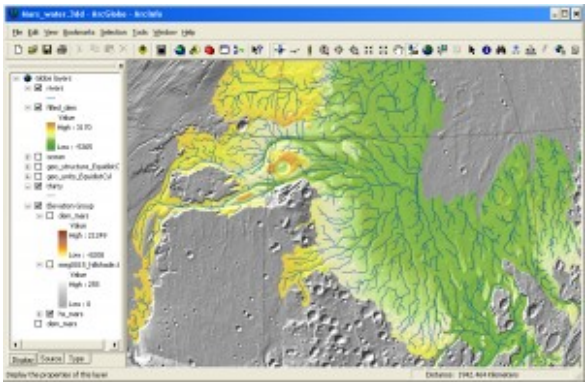
jak i sedymentacja. Bliższe oględziny powierzchni tego terenu pozwalają zauważyć liczne formy wyglądające jak łachy piasku w korycie rzeki, a ich kształt świadczy o kierunku płynącej wody.

Rys. 3. Kasei Valles to jeden z kilku obszarów Marsa, gdzie rzeźba terenu wydaje się być ukształtowana przez rzeki.

Gdyby zaobserwowana marsjańska sieć dolin została rzeczywiście ukształtowana przez płynącą wodę, to woda ta musiałaby podlegać prawu grawitacji, a więc płynąć z obszarów położonych wyżej w dół, wybierając wciąż drogę o największym spadku. Na Marsie, tak jak na Ziemi, małe strumienie łączyłyby się w większe, a po przyjęciu kilku dalszych dopływów mogłaby z nich powstać całkiem duża rzeka. Gdyby jeszcze teren dorzecza od czasów jego uformowania do dziś nie uległ zasadniczym zmianom, to podstawowe narzędzia hydrologiczne GIS dostępne w ArcGIS Spatial Analyst powinny działać w odniesieniu do obiektów marsjańskich równie sprawnie, jak w przypadku ziemskich.

W opisywanym przykładzie hydrologicznej analizy modelu powierzchni obszaru Kasei Valles dla wygenerowania sieci rzecznej zastosowano dokładnie taki sam ciąg myślowy i ten sam zestaw narzędzi hydrologicznych, jakie stosuje się dla warunków ziemskich. I choć w niektórych miejscach uzyskana

sieć rzeczna okazuje się uszkodzona, prawdopodobnie przez uderzenia meteorytów, które lokalnie zmieniały ukształtowanie powierzchni już po ustaniu płynięca rzek, to wygląda ona dokładnie tak, jak sieci rzeczne powstałe na Ziemi (rys. 3.). Nie tylko wygląd form geomorfologicznych, lecz także analiza hydrologiczna wskazują, że zaobserwowana sieć dolin została wyrzeźbiona na skutek działania płynącej wody.



Rys. 4. Sieć kilkunastu zlewni rzecznych wygenerowana w oparciu o wysokościowy model terenu Marsa kończy się niespodziewanie na tej samej wysokości.

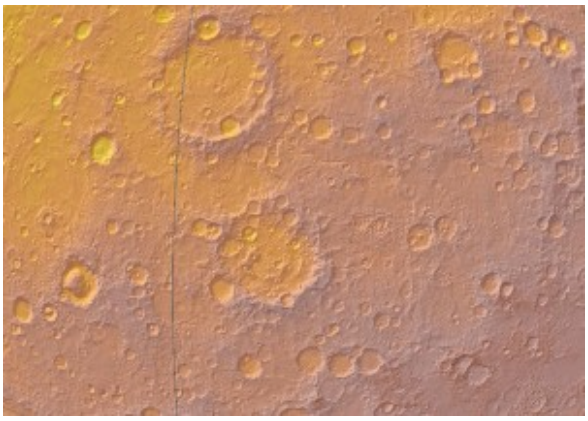
Podobne do przedstawionej powyżej sieci rzecznej, stosunkowo rozległe archaiczne dorzecza mogą być odtworzone na zaledwie niecałych 10 proc. marsjańskiej powierzchni. Ślady płynięcia pojedyńczych cieków (czasem o długości kilkuset kilometrów) lub niewielkich zlewni znaleźć można jednak na wielu, nawet odseparowanych od siebie obszarach Czerwonej Planety.

Warto zauważyć, że sieć dolin rzecznych Kasei Valles nie łączy się w jedną rozległą dolinę – szereg niezależnych, niemal równoległych dolin urywa się nagle, przypominając nieco wysokogórskie polodowcowe doliny zawieszone. Dlaczego nie ma śladu kontynuowania dolin cieków dalej ku obszarom położonym niżej? Być może rzeki te, podobnie jak ziemskie, uchodziły do

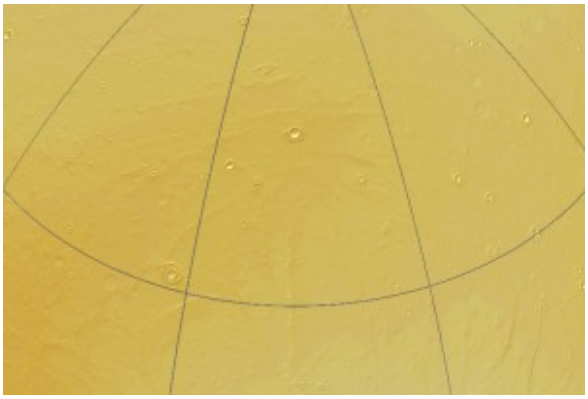
tego samego oceanu.

Gdzie był ten ocean?

Współczesna atmosfera Marsa jest niezwykle rzadka – ciśnienie atmosferyczne stanowi zaledwie 0,6 proc. ciśnienia ziemskiego. Wielu specjalistów zajmujących sie problematyką marsjańską uważa, że tak „wątła” atmosfera istnieje tam już od ok. 3 mld lat. Na skutek braku atmosferycznej warstwy ochronnej powierzchnia planety była intensywnie bombardowana przez spadające na nią meteoryty. W efekcie powstały miliony kraterów meteorytowych, z których ponad 43 tys. mają średnicę dłuższą niż 5 km, a ponad 635 tys. osiąga średnicę przekraczającą 1 km. Gęstość występowania kraterów nie jest równomierna. Na południowej, znacznie wyżej wzniesionej półkuli Marsa znajduje się ich wyraźnie więcej (rys. 4.) niż na takich obszarach półkuli północnej, jak Tharsis czy Vastitas Borealis. Dlaczego na całym obszarze Vastitas Borealis gęstość kraterów meteorytowych jest wielokrotnie mniejsza niż na sąsiadującej z nim od południa wyżynie Arabia Terra? (rys. 5.).



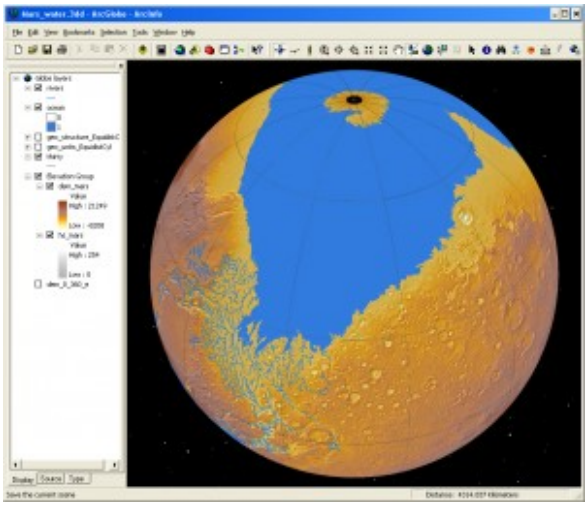
Rys. 5. Obszar wyżynny Marsa gęsto pokryty kraterami – pozostałościami po bombardowaniu meteorytami we wczesnej historii Marsa.



Rys. 6. Fragment powierzchni Vastitas Borealis z niewielką ilością kraterów meteorytowaych. Mapy na rys. 5 i 6 przedstawione są w tej samej skali kartograficznej.

Tę zdumiewającą różnicę wyjaśnia dawna obecność dużego zbiornika wody, której co najmniej kilkusetmetrowa warstwa mogła skutecznie osłaniać dno hipotetycznego oceanu przed uderzeniami meteorytów. W okresie istnienia na półkuli północnej Marsa pokaźnego morza (od 4 do 3 mld lat temu) intensywność bombardowania meteorytami była największa. Jako że powierzchnia niziny Vastitas Borealis jest porównywalna z powierzchnią Oceanu Arktycznego na Ziemi, uzasadnione wydaje się nazwanie tego zbiornika oceanem. Wspomniana a różnica w gęstości kraterów na dnie hipotetycznego oceanu w stosunku do gęstości tych kraterów na przeważającym obszarze półkuli południowej wskazuje na to, że warstwa geologiczna pokrywająca teren rozleglej niziny na północy jest wyraźnie młodsza.

Do wyznaczenia przybliżonego zasięgu tego oceanu ponownie zastosowano GIS, a ściślej funkcje ArcGIS – Spatial Analyst. Jako wartość graniczną do wyznaczenia zasięgu hipotetycznego historycznego oceanu na marsjańskim modelu powierzchni zastosowano -3900 m (rys. 6.). Wartość ta może się wydawać nieco przypadkowa, jednak jest ona zbieżna z wysokościami najniższych segmentów wspomnianych wcześniej urywających się suchych dolin rzecznych.



Rys. 7. Prawdopodobny, przybliżony zasięg marsjańskiego oceanu wraz z uchodzącą do niego siecią rzeczną.

Należy pamiętać, że pokazany na mapie zasięg oceanu, choć przystający w niektórych miejscach do stromych zboczy, jest zapewne mocno przybliżony, jako że przez blisko 3 mld lat od zniknięcia oceanu ukształtowanie powierzchni mogło się nieco zmienić. Zmiany te były jednak dużo mniejsze od procesów zachodzących na Ziemi. Po zniknięciu oceanu Mars zaczął stawać się planetą geologicznie martwą. Nie ma tu poruszających się płyt tektonicznych, a wnętrze planety, jeśli nie całkiem chłodne, ma znacznie niższą temperaturę niż ziemskie.

Na Czerwonej Planecie nie istnieje pole magnetyczne osłaniające ją przed działaniem wiatru słonecznego. W tym właśnie upatruje się przyczyny zniknięcia zarówno marsjańskiej atmosfery, jak i oceanu. Uczeni uważają, że zjonizowane cząsteczki pary wodnej znajdującej się w marsjańskiej atmosferze przez miliony lat były wybijane w przestrzeń kosmiczną przez wysokoenergetyczne, pędzące z wielką prędkością cząstki wiatru słonecznego i unoszone dalej przez niego ku krańcom heliosfery. Po wyparowaniu oceanu początkowo do atmosfery, a później w przestrzeń kosmiczną zawartość pary wodnej we współczesnej marsjańskiej atmosferze wynosi zaledwie

0.015 proc. Na Ziemi zawartość ta, choć bardzo zmienna w czasie i przestrzeni, oscyluje zazwyczaj wokół 1 proc.

Oceanu, którego głębokość przekraczała miejscami 2 tys. m (choć znaczna część powierzchni dna była na głębokości ok. 1 tys. m), na Marsie dawno już nie ma. Pomimo nieprzerwanego wiania wiatru słonecznego, który jest prawdopodobnie głównym sprawcą zniknięcia oceanu, pewne ilości wody jednak tu pozostały. Gdyby lód z marsjańskich czap lodowcowych roztopił się, pochodząca z niego woda mogłaby pokryć teren dawnego oceanu warstwą zaledwie kilkudziesięciu metrów. To, ile wody znajduje się w podmarsjańskich zamarzniętych warstwach wodonośnych, znacznie trudniej ocenić. Można jednak zakładać, że jest jej co najmniej tyle, ile zamroziło się w polarnych czapach.

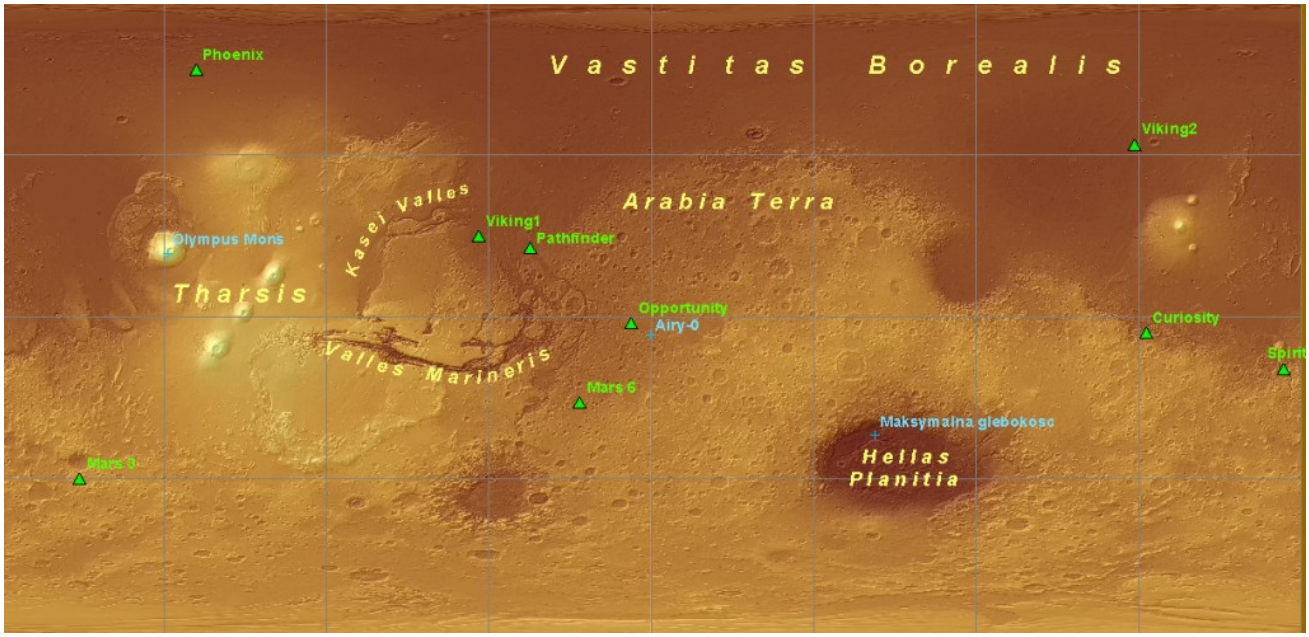
Podsumowanie

Mimo że współcześnie nikt nie wątpi w obecne istnienie wody na Marsie, choć głównie w formie stałej, ani w to, że w zamierzchłej historii woda w formie ciekłej występowała tam w obfitości, to szanse znalezienia na planecie śladów życia w formie znanej z Ziemi wydają się raczej nikłe. Ziemia i Mars są planetami w tym samym wieku, mającymi po ok. 4,6 mld lat. Młodość obu planet była prawdopodobnie bardzo podobna, jednak gdy przed 3 mld lat na Ziemi istniały już pierwsze prymitywne organizmy jednokomórkowe, takie jak stromatolity i inne morskie pierwotniaki, i pojawiły się warunki sprzyjające fotosyntezie, z Marsa woda płynna zaczęła gwałtownie znikać. Stało się tak dlatego, że początkowo ciekłe metaliczne jądro planety przestało się obracać, co z kolei spowodowało zaniknięcie pola magnetycznego. W wyniku tego procesu atmosfera marsjańska zaczęła rzednąć, a woda powierzchniowa wyparowywać lub, inaczej mówiąc, została uniesiona wraz z wiatrem słonecznym poza niknącą atmosferę. Po krótkim czasie (kilkunastu lub kilkudziesięciu milionach lat) brak ciekłej wody, narastające promieniowanie kosmiczne, łącznie ze

szkodliwym dla życia promieniowaniem UV i promieniowaniem gamma, oraz spadające do kilkudziesięciu stopni poniżej 0°C temperatury musiały spowodować bezwzględne wyginięcie wszelkich form życia – oczywiście, jeśli ono kiedykolwiek i w jakiejkolwiek formie tu zaistniało. W czasie gdy środowisko naturalne Marsa przestawało być potencjalnie zdolne do podtrzymania życia, na naszej planecie istniały jedynie jednokomórkowce. Trudno się łudzić, aby nawet w najbardziej sprzyjających okolicznościach życie na Marsie miało jakiekolwiek szanse być bardziej zaawansowane niż na Ziemi, tak więc nasze oczekiwania powinniśmy ograniczyć do znalezienia co najwyżej nikłych śladów najbardziej pierwotnych form substancji organicznych podobnych do ziemskich organizmów jednokomórkowych. Odkrycie śladów tak prymitywnych form życia na Marsie stanowi dla wysyłanych przez ludzi raz na parę lat sond wyzwanie porównywalne ze znalezieniem igły w stogu siana. Tym większa rola GIS-u, jako narzędzia mogącego wskazać miejsce, gdzie odnalezienie skamieniałości jest najbardziej prawdopodobne – wybrzeże dawnego oceanu.

Geografia Marsa (marsografia)

Mars jest planetą znacznie mniejszą od Ziemi. Jego średni promień wynosi 0,53 długości promienia ziemskiego, objętość – 0,15 objętości Ziemi, a powierzchnia stanowi 0,28 powierzchni naszej planety. Mimo to różnica wysokości pomiędzy najwyższym (21,2 km), a najniższym (-8,2 km) punktem Marsa jest znacznie większa niż na Ziemi, bo wynosi aż 29 km, podczas gdy na Ziemi ok. 20 km (rys. 7.).



Rys. 8. Powierzchnia Marsa z zaznaczonymi lądowaniami sond.

Valles Marineris – układ głębokich na 5–7 km kanionów, o szerokości do 200 km, a długości ponad 4 tys. km od dawna przyciągał uwagę astronomów i rozbudzał wyobraźnię fanstatów, których pokolenia widziały w nim system kanałów zbudowanych przez inteligentne istoty. Obecnie przypuszcza się, że jest to ogromny rów tektoniczny, którego genezy ostatecznie nie wyjaśniono.

Olympus Mons (Góra Olimp) – najwyższy wulkan Marsa i jednocześnie najwyższe wzniesienie w całym układzie słonecznym. Jego wysokość wynosi 21 171 m, przy czym wyrasta on ponad lokalną równinę na wysokość ok. 27 km. Średnica wulkanu wynosi mniej więcej 550 km. Olympus Mons ma bardzo stromą podstawę o niemal pionowych zboczach, wysoką na 5 km, na której znajduje się stożkowy wulkan. Jest to wulkan typu tarczowego, którego erupcja trwała prawdopodobnie przez miliony lat. To też zapewne najmłodszy z wulkanów Marsa. Jego wygaśnięcie oznaczało także koniec aktywności wulkanicznej na planecie.

Marsjańskie czapy polarne – masy złożone z zamarzniętej wody z dodatkiem dwutlenku węgla, pokrywające oba marsjańskie obszary podbiegunowe. W wielu miejscach czapy polarne pokryte są pyłem

naniesionym przez burze piaskowe. Zasięg i wygląd obu czap zmieniają się w zależności od pór roku, aczkolwiek czapa z bieguna północnego jest wyraźnie większa.

Vastitas Borealis – olbrzymia, nisko położona równina dominująca na północnej półkuli Marsa. Jej wysokość oscyluje pomiędzy -3 tys., a -5 tys. m. Gęstość kraterów na powierzchni Vastitas Borealis jest znacznie mniejsza niż na wyżynach półkuli południowej. Wielu uczonych przychyla sie do hipotezy, że nizina ta stanowi dno archaicznego oceanu. Pod powierzchnią równiny znajdują się prawdopodobnie spore zasoby zamarzniętej wody.

Hellas Planitia – ogromny krater powstały po uderzeniu potężnego asteroidu. Jego średnica to mniej więcej 2300 km, a głębokość – ponad 7100 m. Krater ten powstał w okresie najintensywniejszego bombardowania Marsa przez meteoryty, a więc ok. 4 mld lat temu. Najniższy punkt na dnie krateru, -8208 m, jest także najniższą depresją na całej planecie.

Tharsis – rozległa, wysoko położona (3 tys.–7 tys. m) wulkaniczna wyżyna marsjańska. Ta stosunkowo młoda geologicznie wyżyna została prawdopodobnie tektonicznie wyniesiona w stosunku do swojego otoczenia o co najmniej 5 tys. m. Na jej powierzchni znajdują się największe marsjańskie wulkany. Oprócz sławnego Olympus Mons są tam także ustawione wzdłuż linii prostej trzy inne wulkany: Arsia Mons, Pavonis Mons i Ascraeus Mons.

Kasei Valles – układ form geomorfologicznych wyglądających jak ziemskie nizinne doliny rzeczne. Ma on blisko 1800 km długości. Można w nim wyróżnić formy charakterystyczne dla dolin rzek warkoczowych, takie jak: sinusoidalne w kształcie dna dolin, łachy piaszczyste czy strome, podcięte przez erozję rzeczną skarpy.

0 m n.p.m. – skoro życie wyszło z morza, to również dziś uczeni wydają się mieć potrzebę nawiązywania do poziomu morza

nawet na Marsie, gdzie, jak wspomnieliśmy, mórz nie ma od ok. 3 mld lat, a poziom oceanu marsjańskiego został oszacowany wiele lat po ustaleniu wysokości „referencyjnej” – 0 m n.p.m. W niniejszym artykule, określając wysokość, wielokrotnie podawaliśmy ją w metrach powyżej i poniżej wartości zerowej. Ten poziom odniesienia określono przez wysokość, na której na Marsie panuje ciśnienie atmosferyczne 6,105 hPa. Odpowiada ono punktowi potrójnemu wody i jest równe mniej więcej 0,6 proc. ciśnienia na poziomie morza na Ziemi, czyli 0,006 atmosfery. Przypadkowo (a może nie) średnia wysokość mierzona wzdłuż marsjańskiego równika zaledwie o kilkanaście metrów przewyższa średnią wysokość wyliczoną w sposób znacznie bardziej naukowy.

Siatka geograficzna (marsjańska) – nie trudno było ustalić, gdzie na Marsie znajdują się bieguny oraz równik, a więc podstawy do określania szerokości geograficznej. Więcej kontrowersji wzbudzało wyznaczenie początku układu długości geograficznych, czyli południka zerowego. Na Ziemi przebiega on przez oś teleskopu Królewskiego Obserwatorium Astronomicznego w Greenwich, pod Londynem. Prezesem Królewskiego Towarzystwa Astronomicznego, które zainstalowało teleskop i przechyliło szalę wieloletnich międzynarodowych dysput na korzyść południka przebiegającego przez Greenwich, był sir George Airy. Okazało się, że na Marsie znajduje się krater, któremu przed 100 laty nadano imię astronoma. W tej sytuacji międzynarodowe gremium marsjologów zgodziło się, aby południk przebiegający przez środek tego krateru uznany został za marsjański południk zerowy.

Sondy ziemskie – na przestrzeni ostatnich 40 lat na Marsie wylądowało dziewięć pojazdów wysłanych z Ziemi, nie biorąc pod uwagę tych, które się roztrzaskały; dwa pierwsze to pojazdy radzieckie (Mars 3, 1971 rok i Mars 6, 1973 rok). Czas ich funkcjonowania na Marsie wahał się od kilku minut (dla pierwszych sond) do kilku lat (Opportunity, 2004 rok), z wyraźną tendencją wzrastającą. Podobną tendencję, tyle że w precyzji, obserwujemy przy określaniu współrzędnych

geograficznych miejsca lądowania sond. Precyzja ta wzrastała od ok. 50 km (Mars 3, 1971 rok), przez mniej więcej 500 m (Pathfinder, 1997 rok), do nieprawdopodobnej precyzji 50 cm sondy Phoenix (2008 rok). Od tego czasu wyniki nie uległy już poprawie, ponieważ nie było takiej potrzeby. Czy te pomiary były dokładne okaże się, gdy do wraków starych sond dotrze człowiek zaopatrzony w GPS.