

V-MACS - nowy obraz gigantycznego marsjańskiego systemu kanionów

Tektonika planet typu ziemskiego w skali globalnej

Tektonika płyt, działająca na Ziemi co najmniej od Proterozoiku, dostarcza jednej z możliwości uwalniania strumienia ciepła z wnętrza planet skalistych (Merkury, Wenus, Ziemia, Mars). Strumień geotermalny musi być wystarczający, podobnie jak ilość wody w skorupie, aby umożliwić nasunięcia płyt i subdukcję oraz działanie mechanizmu generowania sztywnych granic płyt. Czynniki te częściowo zależą od tego, jak i gdzie w Układzie Słonecznym planeta się uformowała, i jaki wpływ na jej ewolucję miał okres Wielkiego Bombardowania.

Przypadek Merkurego, planety suchej ze względu na bliskość Słońca, ilustruje, że mobilność pozioma płyt nie występuje w przypadku braku wody w skorupie. Hipotetyczne pochodzenie deformacji skorupy Merkurego dotyczy fal uderzeniowych będących wynikiem olbrzymiego impaktu i tektoniki wywołanej przez wulkanizm.

Wenus jest bardzo interesującym przypadkiem, ponieważ jej średnica jest prawie równa średnicy Ziemi, utworzyła się na orbicie znajdującej się blisko orbity Ziemi, a w konsekwencji ma podobną budowę. Istnieją dowody intensywnej deformacji jej skorupy, a tektonika płyt jest sugerowana jako mechanizm wyjaśniający powstanie łańcuchów górskich regionu Ishtar Terra, takich jak Freyja, Danu i Akna Montes wokół Lakshmi Planum (Fig. 1), porównywany do subdukcji i systemu kolizyjnego Himalajów i Tybetu. Istnienie płyt odkształconych w sposób zbliżony do odkształcenia plastycznego kratonów datowanych na Archaik, takich jak Dharwar w Indiach, sugeruje, że płyty te zostały zdeformowane w podobny sposób, przez tzw. sagdukcję. Przejście od sagdukcji do tektoniki płyt jest możliwe poprzez obniżenie gradientu temperatury skorupy, co powoduje przejście skorupy w stan krucho-plastyczny. W związku z tym istnieje możliwość, że skorupa Wenus na początku ewoluowała w sposób bardzo podobny do ziemskiej. Następnie, prawdopodobnie około 1 miliarda lat temu, deformacja zanikła. Ekstremalny efekt cieplarniany, który istnieje obecnie na Wenus (90 atm i 460°C na powierzchni), z pewnością nie pozwala na ruchy płyt tektonicznych, z uwagi na odwodnienie skorupy. Pochodzenie efektu cieplarnianego nie jest znane, a jego poznanie miałoby znaczenie dla Ziemi, biorąc pod uwagę, że działalność człowieka nadal dostarcza gazów powodujących wzrost efektu cieplarnianego. Tak długo jak wzajemna zależność między przyczynami i skutkami nie zostanie wyjaśniona, pozostanie kwestią otwartą, czy efekt cieplarniany na Ziemi może wymknąć się spod kontroli, doprowadzając do zagłady gatunku ludzkiego.

Mars stanowi jeszcze inny przypadek, gdzie dominujące źródło naprężeń związane jest z wypiętrzaniem się obszaru Tharsis (Fig. 1), które nie tylko było czynnikiem kontrolującym deformację tektoniczną planety, ale także jej geomorfologię i hydrologię. W 1996 roku zaproponowany został model tektoniki pióropusza płaszczka, w którym Tharsis jest odpowiednikiem dużej kontynentalnej prowincji magmowej na Ziemi, takiej jak znajdująca się w Etiopii, gdzie erupcje i wyływy lawy występują w odpowiedzi na wznoszenie się tzw. pióropusza płaszczka, kolidującego z podstawą litosfery, oraz częściowe topienie. W kruchej skorupie magma jest kierowana poziomo tworząc nagromadzenia pionowych pakietów zastygłej magmy (dajek). Propagacja większości dajek zachodzi na głębokości kilku kilometrów, kontrolowana przez pływalność magmy, i jest związana z ryftowaniem, które powoduje powstanie głębokich pęknięć osłabionej litosfery. Mogą również istnieć inne źródła naprężeń tektonicznych. Na przykład, jeśli wzrost obciążenia magmą marsjańskiej litosfery w obrębie obszaru Tharsis nie nastąpił na równiku, gdzie znajduje się obecnie, mógł zmienić oś obrotu planety, aż do jej obecnej stabilnej pozycji. Wówczas litosfera na obszarze Tharsis podczas reorientacji osi kumulowałaby naprężenia, powodujące deformację w sposób, którego określenie nadal wymaga badań.

Głównym problemem dla zrozumienia tektoniki Marsa w skali globalnej jest fakt, że większość deformacji skorupy Marsa nastąpiła w okresie geologicznym odpowiadającym Archaikowi na Ziemi. Poznanie zdarzeń tektonicznych, które wystąpiły w tej odległej przeszłości geologicznej wymaga analizy odsłonięć najstarszych skał.

Czego możemy dowiedzieć się z badań kanionu Valles Marineris na Marsie

Valles Marineris, gigantyczny okołorównikowy system kanionów, położony w obrębie wyniesienia Tharsis (Fig. 1), to unikalne miejsce do studiowania odsłonięć najstarszych skał. Umożliwia badanie procesów, które zachodziły w skorupie w ciągu ponad 4 miliardów lat, odsłaniając na głębokości do 10 km najstarsze skały, jakie można znaleźć na Marsie, łącznie na obszarze 700 000 km². Nie jest do

końca jasne, jak doszło do jego powstania, ale wiemy na pewno, że tektonika ekstensyjna odegrała w nim znaczącą rolę. Niektórzy autorzy porównują Valles Marineris do ziemskich ryftów kontynentalnych, takich jak na przykład ryft wschodnioafrykański (Fig. 1). Najwcześniejsze geologiczne wydarzenia na obszarze Valles Marineris były rzadko badane. Powodów jest kilka. Dowody najstarszych zdarzeń znaleźć można w najgłębszych partiach kanionów, które są często maskowane przez młodsze osady. Rozmiary tego obszaru powodują, że pokrycie ich danymi o wysokiej rozdzielczości (obrazy dostarczane przez kamerę HiRISE misji Mars Reconnaissance Orbiter, do 25 cm/pixel) trwa bardzo długo, a jednocześnie liczba geologów zajmujących się interpretacją danych z obszaru Valles Marineris jest bardzo mała. Większość danych nie została szczegółowo przeanalizowana. Ten projekt ma na celu identyfikację najstarszych skał i interpretację ich deformacji.

Co nowego w Valles Marineris?

Biorąc pod uwagę, że kluczem do zrozumienia ewolucji Valles Marineris jest analiza najstarszych odsłoneń skalnych, w 2015 roku przeprowadzono wstępny rekonesans w celu identyfikacji takich wychodni.

Wstępne obserwacje wykazały obecność dużej ilości dajek (intruzji magmy) o orientacji zgodnej z modelem tektoniki pióropusza płaszcz. Zatem założenia modelu potwierdziły się, ale jednocześnie pokazało to jego ograniczenia. Obserwowane miąższości dajek i odległości pomiędzy nimi stanowią dowód na to, że ich górne partie zostały usunięte poprzez erozję kilku kilometrów skorupy, podobnie jak to miało miejsce w przypadku proterozoicznych dajek Mackenzie tarczy kanadyjskiej związanych z otwarciem oceanu Poseidon, których formowanie się towarzyszyło ryftowaniu, a następnie zostały odsłonięte przez erozję. Zaobserwowane nagromadzenia dajek są nie tylko zgodne z kierunkiem ekstensji, ale również wskazują, że nastąpiło znaczne obniżenie dna kanionu w wyniku erozji. Zidentyfikowano także tektoniczną strefę ścinania na dnie jednego z kanionów; jest to pierwszy znaleziony dowód na istnienie głębokich struktur tektonicznych na Marsie. W jej sąsiedztwie obecne jest krystaliczne ciało skalne. Wszystkie te obserwacje wskazują na dwojaki mechanizm powstania kanionów: tektonikę w reżimie ekstensyjnym i odsłonięcie w wyniku erozji.

Badania wstępne wykazały również obecność dużych ilości dajek na ścianach kanionów; ich orientacja nie pokrywa się z żadną z sugerowanych przez modele tektoniczne. Ich nagromadzenia są unikalnymi wskaźnikami tektonicznymi, ponieważ w skali regionalnej ich orientacja jest zgodna z trajektoriami głównych naprężeń w skorupie. Tym samym stanowią potencjał, który może znacznie wzbogacić naszą wiedzę dotyczącą tektoniki obszaru Tharsis, a w następstwie całej planety.

Proponowany projekt

Poznanie procesu powstania Valles Marineris wymaga uzupełnienia go o mechanizm erozji i wyjaśnienia, jak orientacja pola naprężeń zmieniała się w czasie. W ramach tego projektu, mechanizm ten zostanie zdefiniowany i określony ilościowo, sporządzone zostaną mapy pól naprężeń oraz zostanie zaproponowany nowy model formowania się i ewolucji Valles Marineris (poprzedni jest datowany na 1992 rok), który będzie miał znaczenie dla poznania ewolucji wczesnego etapu wypiętrzania się obszaru Tharsis i charakterystyki marsjańskich procesów tektonicznych w skali globalnej.

Tektonika na Marsie uważana była za znacznie bardziej prostszą niż tektonika Ziemi i Wenus; proponowany projekt pozwoli ujawnić jej nowe aspekty, jak również nieoczekiwaną złożoność.