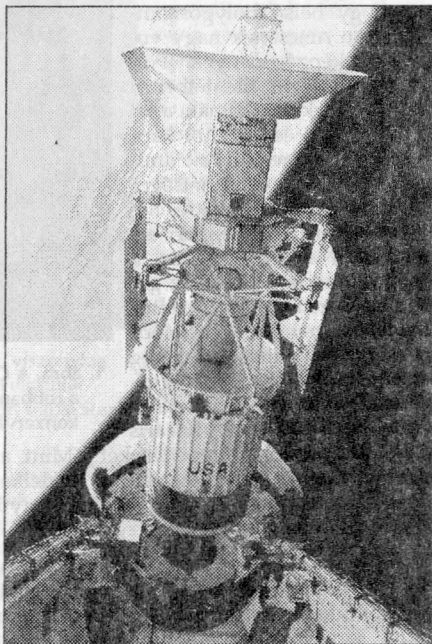


A Magellan utolsó útja

A Vénusz mindig is kitüntetett helyet foglalt el világgépünkben. Az ősi kultúrák embere a fényes és ismeretlen Esthajnalcsillagot tisztelte benne — de napjainkban is érdekes, titokzatos bolygóként tartjuk számon. Érdekes, mert Földünk társai közül a legközelebb található hozzánk, és mérete, tömege alig tér el bolygónkétól. Titokzatos, mert légköre sokáig rejtette felszínét, amely lassan utópisztikus elgondolásokkal teli, képzelet szülte világgá lett. A rádiótávcsöves, majd az űrszondás vizsgálatok azonban lerombolták az idilli képet, és helyette egy pokolbéli égitest képét festették le. Olyan bolygóvá vált a Vénusz, melynek felszínén 90 atmoszféra nyomás és 450–500 °C-os hőség uralkodik. A látótávolság kicsi, a megvilágítási viszonyok egy borult földi délutánra emlékeztetnek. A vörösés égbolton soha nem pillantható meg a napkorong.

E sajátos égitest vizsgálatára indították útnak 1989-ben a Magellan űrszondát, mely az utóbbi évek egyik legsikeresebb űrvállalkozásának bizonyult. Programja a Vénusz körüli pályán két területre koncentrált. Egyrészt a bolygó radartérképezésére, másrészt a gravitációs tér, a gravitációs anomáliák pontos felderítésére. A Magellan radarhullámai a sűrű felhőtakarón áthatolva, majd a felszínről visszaverődve beszámoltak a domborzati és magassági viszonyokról, valamint a kőzetek érdekességéről, radarvisszaverő képességéről. Két év alatt a felszín 99 százalékát sikerült letapogatni, minden korábbinál jobb felbontással. 1993 augusztusában az űrszonda mozgását úgy változtatták, hogy időnként kissé belemerüljön a Vénusz ritka felsőlégkörébe. Ennek hatására fékeződött, és erősen elliptikus pályáját enyhébb, a körhöz közelebb álló útvonal váltotta fel. Ettől kezdve 150–600 km-re repült a felszín felett, és a bolygó gravitációs terét térképezte. Ennek révén a felszín alatti, rejtett anyagtömegeket felfedhettünk meg. A Vénusz belsejének sűrűségeloszlása fontos ismereteket ad a nagy geológiai formák alátámasztásáról, és a mély köpenyáramlásokról. A Magellan, a tervezett programot bővesen teljesítve, óriási információmennyiséget sugárzott vissza Földünkre. A sűrű légkör tavaly október 10-én nyelte el végleg az űrszondát, melynek darabjai a legnagyobb kiemelkedést, a Maxwell-hegységet megérintve lassan elhamvadtak. Ezzel fontos korszak zárult le a Vénusz kutatásában — avagy csak most kezdődik igazán...

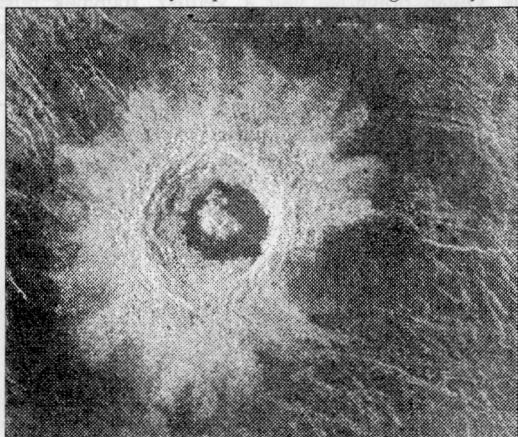


Belső bolygósomszédunk felszínéről korábban nem rendelkeztünk látványos felvételekkel — a Magellan radarképei azonban gyökeresen megváltoztatták a helyzetet. A Vénusz felszíne ugyanis legalább annyira érdekes és változatos, mint a

Marsé vagy Földünké. Amikor egy Vénusz-t ábrázoló áttekintő térképre pillantunk, két jelenség tűnik azonnal szemünkbe. Először is, hogy a bolygó felszínének nagy része közel azonos magasságban fekszik. Mintegy 60%-a nem tér el fél kilométernél jobban az átlagos bolygósugártól — ebből a kéreg vastagságára tudunk következtetni.

A felszín legnagyobb részén 20 km körüli, a mélyebb területeken nagyjából 10 km vastag kéreg várható. A magasabb régiók alatt természetesen nagyobb a kéregvastagság, az Ishtar Terra hegyei például 50–70 km mély izosztatikus gyökérral rendelkezhetnek. Ugyanakkor olyan kiemelkedő területek is akadnak, ahol a kéreg nem vastagodott meg a „szükséges” mértékben. Ilyen például a Béta Régió, melynek

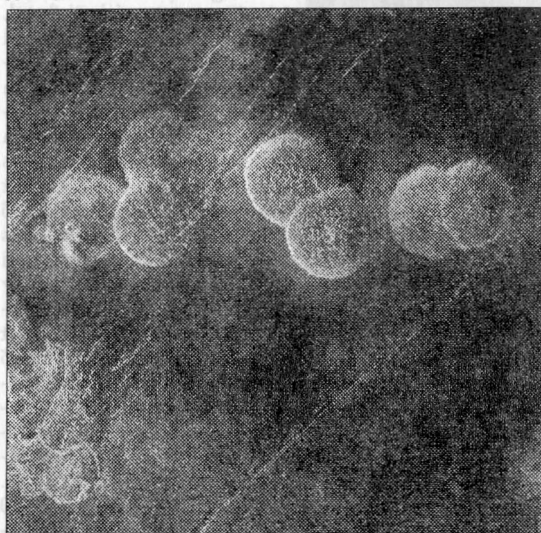
kiemelésében aktív belső hőfolyamatok segédkeznek. A másik fontos ismeret, ami egy Vénusz-térképről azonnal leolvasható, hogy belső bolygósomszédunkon nincsenek nagy vonalmenti képződmények. Földünk képét ezzel ellentétben a hosszú és keskeny formák, a lemezszegélyek, és a velük kapcsolatos hegységek, árkok uralják. Hatalmas óceáni hátságokat látunk, a kéregképződés helyeit, valamint mélytengeri árkokat, ahol az egyik lemez a másik alá bukik. A Vénusz geológiai formái viszont foltos eloszlásúak, nem koncentrálnak vonalak mentén — a kéreg nagy része tehát egybefüggő. (Természetesen kisebb méretskálán itt is találunk lineáris alakzatokat, árkokat, repedéseket.) Mint azt a címlap radarfelvétele mutatja, a bolygó bonyolult felszínformákkal rendelkezik, melyek közül jónéhány egymással kapcsolatba hozható. Az alábbiakban vegyük sorra vázlatosan, milyen képződményekkel találkozhatunk a forró égitesten.



1. ábra. A Golubkin-kráter. A felvételen megfigyelhető a robbanásakor kidobott anyagtömegek, melyek jól konzerválódtak a vénuszbéli körülmények mellett

Ha a Vénusz krátereit vizsgáljuk, viszonylag kevés képződménnyel kell beérnünk. Ezek megjelenése azonban bőségesen kárpótol, 1,5–2 km-nél kisebb krátert ugyanis alig találunk. A jelenséget a sűrű légkör okozza, mely mint valami hatalmas szűrő, csak a legnagyobb meteorikus testeket engedi keresztül. A kráterek a bolygó felszínének kormeghatározásában is segítségünkre sietnek — minél öregebb egy terület, annál több becsapódás ütött sebet rajta. Mennyiben ezt a Vénusznál feltérképezzük, rendkívül egyenletes eloszlást kapunk. Gyakorlatilag a teljes felszín egykorú, mintegy fél milliárd éves. A kráterek szokatlanul érintetlen, friss megjelenésűek, mivel a bolygón uralkodó gyenge eróziós hatások alig deformálják őket. Vulkanikus lávával részben elöntött, illetve tektonikailag deformált krátereket is alig találunk — ezek hiánya viszont már nehezebben magyarázható. Egy égitesten a felszínalakító folyamatok mindig sok, csak részben elpusztított, „megrongált” krátert hagynak maguk után. Elég valószínűtlen, hogy a kráterek egy részét teljesen eltöröljék, más részüket viszont érintetlenül hagyják. A részben lerombolt és eltorzított kráterek kis számára két magyarázat született. Az egyik alapján a felszínalakító

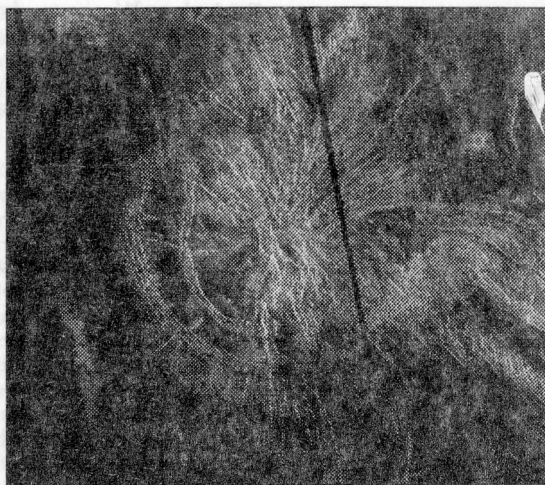
folyamatok időben és térben rendkívül egyenletesen működnek a Vénuszon, és lassan, folyamatosan formálják újra az egész felszínt. Ez azonban elég sajátos modelleket, és valószínűtlenül szabályos paramétereket igényel. A másik elképzelés egy globális felszínátalakulási folyamattal számol, amely közel fél évmilliárddal ezelőtt az egész bolygót új külsővel ruházta fel. Azóta a vulkanikus és tektonikus aktivitás gyenge volt, és többnyire érintetlenül hagyta a halmozódó krátereket.



2. ábra. Átlagosan 25 km átmérőjű lapos, viszonylag meredek peremű palacsintavulkánok. Felszínük repedésekkel tarkított, némelyiken a beomlott tetőkráter is felfedezhető

A rendkívül sűrű légkör miatt a földiektől eltérő kráterek alakultak ki a Vénuszon. (A felszínen, 90 atmoszféra nyomáson egyes üledési jelenségek inkább már a folyadékokban, mint a levegőben megszokottakhoz hasonlítanak.) Sok krátert övez radarfényes illetve radarsötét halo, azaz érdes vagy sima területek. Ezeknél a robbanások és a repülő test lökéshullámai néhol felérszítették, néhol pedig elsimították a felszínt, finom porleplet borítva rá. Olyan radarsötét foltokat is találunk, melyek közepén nincs is kráter. Ezek meteoritjai még a légkör alsó régióiban megsemmisültek, és csak robbanásuk lökéshulláma jutott le a felszínig. (A legkisebb kráterek gyakran többszörösek vagy szabálytalan formájúak. Azoknak a test-

teknek a nyomát őrzik, melyek „éppen hogy” túlélték a repülést, de közben szét-darabolódtak.) Sajátos színfoltot jelentenek a sötét, elnyúlt parabola formájú halók. Ezek a kiterjedt képződmények a nagyobb kráterekkel együtt mutatkoznak, és eloszlásuk érdekes szabályosságot mutat. Nagytengelyük közel párhuzamos az általános légköri irányval, és a kráterek mindig a gyújtópontjukban helyezkednek el. Emellett a parabolák afelé nyílnak, amerre a légáramlatok haladnak. Valószínűleg a kráterből kirobbant és magasba feldobott finomszemcsés anyag lerakódásával keletkeztek, melyet hosszú repülése alatt távolra sodort a szél. A gyenge erózió által jól konzerválódott kráterek éles körvonalú, látványos törmelékhalmmal rendelkeznek (1. ábra). Emellett szokatlan, a kráterekből szétágazó, kanyargó folyásnyomokat is megfigyelhetünk. A becsapódáskor kilöködött anyag egy része a földi olvadt lávákhoz hasonlóan viselkedhetett, és szétfolyt. A földet érés pillanatában még a beható test repülésével megegyező irányban robbantak ki. Egy-két kráterátmérő múlva (vagy még korábban), azonban a helyi topográfiának megfelelően lefelé, a lejtés irányába kezdtek csordogálni. A bonyolult becsapódásos formák keletkezését nehéz megmagyarázni, mivel pontosan nem ismerjük egy ilyen sűrű és forró légkörnek a kráterkeletkezésre gyakorolt hatását.



3. ábra. A közel 400 km átmérőjű és mintegy 0,6 km magas Selu korona látható a felvételen. Jól megfigyelhető a centrumból induló radiális repedésrendszer, mely még korábban, a terület emelkedésével keletkezett. Ezt dupla koncentrikus gyűrű veszi körül, ami kelet felé (jobbra) nyitott, és a környező síkság repedéshálózatába kapcsolódik. Akárcsak sok más vulkanikus képződmény esetében, a Selu tektonikus formái is kapcsolatot mutatnak a vidék lokális törésrendszereivel

nem teljesen egyenletes, az aktív területeken sűrűsödéseket mutatnak, dómmezőket alkotnak. Ezek 100–200 km-es magjában emelkednek leggyakrabban a kúpok, majd innen távolodva, 700–800 km után tér vissza a dómsűrűség az átlagos értékre. A dómmezők a bolygó nagy vulkanikus vidékén, a Béta–Atla–Themis régióban a leggyakoribbak. Ezzel ellentétben a tesszerákon, a Vénusz kontinensszerű kiemelkedésein ritkábbak. A nagyobb, átmeneti vulkántípusok szintén élénk formagazdagságot mutatnak. Ezek tetőkalderája gyakran a környező terület repedéshálózatának megfelelően elnyúlt, hosszúkák, innen ágaznak szét a lávafolyások. Az átmeneti vulkánok sajátos osztályát képviselik a palacsintavulkánok, melyek nevüket alakjukról kapták. Lapos tetővel és keskeny, viszonylag meredek peremmel rendelkeznek — lassan szilárduló lávából alakulhattak ki (2. ábra). 100 km-nél nagyobb, hatalmas pajzsvulkánok is szép számmal akadnak a Vénuszon. Mindegyikük erős kiemelkedéseket alkot, és csúcukról feltűnő lávafolyások nyújtóznak szét. Szinte teljesen hiányoznak a tesszerákról, és többségük a Themis–Atla–Béta régióban található. (Ez a hatalmas vulkanikus terület, méretét tekintve, összehasonlítható a Mars Tharsis-hátságával, ahol a vörös bolygó legmagasabb hegyei emelkednek.) A Vénusz felszínének nagy részét megszilárdult vulkanikus lávasíkságok borítják, melyeken sok csatorna látható. Ezek gyakran több 100 km hosszú, de 0,5–1,5 km-nél sehol sem szélesebb medrek, melyek rendkívül folyékony lávák nyomán képződhettek. Általánosan elmondható, hogy a mélyföldeken, a mélyebben elhelyezkedő területeken kevesebb a vulkanikus képződmény. Az itt lévő vulkánokat talán a magasabb vidékeken trónoló társaik lávája temette el. Azonban az is lehetséges, hogy a

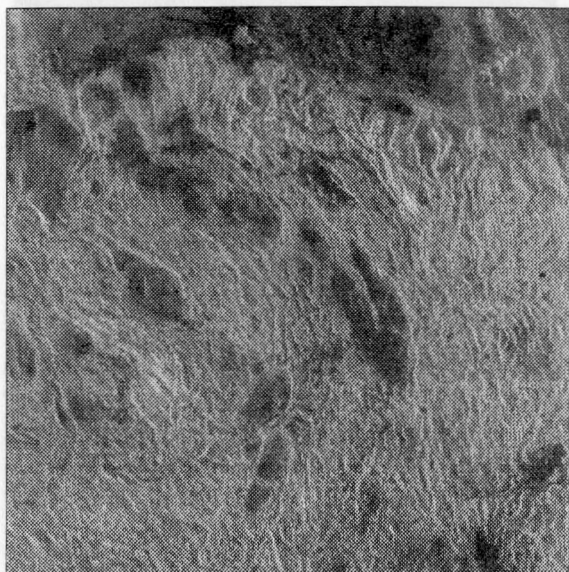
A vulkanikus képződmények hihetetlenül színes palettáját kínálja a bolygó; ezek szinte mindenütt megtalálhatók. Mivel a Vénusz tömege és sűrűsége közel áll a Földéhez, jogosan várhatjuk el, hogy belső hőtermeléssel rendelkezzen. A felszíni viszonyok és a kéreg állapota azonban különbözik az általunk megszokottól — így a vulkanizmus jellege is más lehet. A Vénusz vulkánjait méretük alapján három fő csoportba sorolhatjuk. Kis (20 km alatti), átmeneti (20–100 km közötti) és nagy méretű (100 km-nél nagyobb) képződményeket különböztetünk meg első közelítésben. Általános jellemzőjük, hogy elég laposak, 5 foknál kisebb lejtésűek, magasság/átmérő arányuk többnyire 1/300 alatti. Kis méretű dómok, apró, 20 km-nél kisebb pajzsvulkánok óriási számban találhatók a Vénuszon. Eloszlásuk

nagy légnyomás miatt a vulkanikus aktivitás jellege erősen függ a magasságtól, és a mélyebb területek „hátrányos helyzetben” vannak.

A kör, illetve elliptikus alakú koronák a vulkanikus repertoár sajátos tagjai. Átmérőjüket tekintve ugyanazt a méretosztályt képviselik, mint a nagy pajzsvulkánok, de azoknál alacsonyabbak. Fontos különbség továbbá, hogy nem dómszerű kiemelkedések, hanem éppen ellenkezőleg, lapos korong alakkal rendelkeznek. Sőt, többnyire csak peremük magasodik a felszín fölé, hatalmas gyűrű formájában, ekörül pedig egy várórkör szerű mélyedés fut körbe (3. ábra). Valószínűleg közeli rokonságban állnak az előbbi nagy pajzsvulkánokkal, azok fejlődésének egy sajátos állapotát képviselik. Mivel a Vénuszon jelenleg nincsenek lemezmozgások (vagy ha vannak is, elég gyengék), a vulkánok nem vándorolnak el az aktív centrumok fölé, és így hatalmas pajzsvulkánok keletkeznek. Mikor a felszín alatti központ elhal, nincs többé, ami megtartaná a felpúpozott anyagot, és az lassan elernyed. A kiemelkedett tömeg visszasüllyed környezetébe, és amint a felszínbe lapul, pereme kissé felgyűrődik, feltornyosul. Így jöhetnek létre a gyűrű alakú koronák. Az utóvulkáni működés számos formája figyelhető meg dómmezők, valamint lávafolyások formájában, melyek egy része a gyűrődéses perem kialakulása előtt, egy része pedig azután keletkezett. Végül a gyűrű alakú perem is visszasüllyed, és a képződmény teljesen eltűnik — koronákat fejlődésük minden fázisában találunk a felszínen. Hatalmas változotosságuk azonban nehezen magyarázható — lehetséges, hogy keletkezésük során egyéb folyamatok is szerepet játszottak.

A tesszerák ugyancsak egyedi jelenségek a Naprendszerben. Néhányszor 10 km és 2–3 ezer km közötti átmérőjű, maximum 1–2 km magas, kissé szögletes kiemelkedések. Felszínük jellegzetes: hihetetlenül összetett, egymáshoz szorosan simuló gyűrődésekből, gerincek és völgyek sűrű hálózatából áll (4. ábra). Több, egymástól eltérő elgondolás is született kialakulásukra. Az egyik teória új kéreg, új felszín keletkezésének helyét látja bennük. Területükön anyag tör fel a Vénusz belsejéből és áramlik szét oldalirányban — talán a földi óceánközépi hátságokhoz hasonlóan. Más elképzelések egy régebbi kéreg napjainkig fennmaradt relikviáinak tekintik őket. Azok a területek lehetnek eszerint a tesszerák, amelyek túléltek a 0,5–1 milliárd évvel ezelőtti globális felszínátalakulást. Ősi fennsíkjuk kiemelkedik a megújult, lávakkal elöntött friss kéregből. Egy harmadik elmélet alapján tesszerák napjainkban is keletkezhetnek, mégpedig azokban a régiókban, ahol a köpenyáramlások lefelé veszik útjukat. Itt az egymással szemben mozgó, és találkozásukkor mélybe bukó magma felett a kéreg összetorlódik, összeráncolódik. Ennek hatására alakul ki a komplex gyűrődéses, kiemelt szerkezet. Sok tesszera képzeletben multiteszzerákká állítható össze, hasonlóan ahhoz, ahogyan Afrika partvonalán Amerikáéval egybeilleszthető. Lehetséges tehát, hogy egykor összefüggő kontinensszerű területek maradványai, melyeket a belső erők szétszabdaltak és eltávolítottak egymástól.

Tektonikus képződményeket ugyancsak mutat a Vénusz — igaz, ezek nem olyan látványosak, mint földi társaik. Bolygónkon az alacsony felszíni hőmérséklet segít szilárd állapotban tartani a kérget, így a litoszféra különálló lemezekre törött széjjel. A Vénuszon az üvegházhatás révén magas hőmérséklet uralkodik, és az előbbinek pont az ellentéte figyelhető meg. Sok kőzet állandóan olvadáspontja közelében van, némelyek a nagy forróság miatt egyfolytában mélyvörösen izzanak. Elképzelhető, hogy a képlékeny kéregnél a belső erők nem koncentrálnak lemezhatárookra. Ide-oda gyűrűk azt, de nem szakítják több darabra. A gerincövek talán ilyen tektonikus folyamat révén keletkeztek. Ezek párhuzamosan futó gerincek és völgyek rendszeréből álló hosszanti vonulatok. A gerincövek szélessége néhányszor 10 km, hosszúságuk pedig néhányszor 100 km, magasságuk 1–2 km. Feltehetőleg — a földi gyűrűtérhalmazokhoz hasonlóan — összenyomó erők hatására alakultak ki.



4. ábra Egy tesszera, az Alfa Régió részlete. Az 1300x1500 km méretű, sokszögletű képződmény közel 2 km-rel emelkedik az átlagos bolygósugár fölé. Felszíne kilométeres skálán hihetetlenül sok gerinc és völgy öszetett hálózatából áll. Legmagasabb pontjai a peremvidéken emelkednek

a szubdukciós zónák területén az óceáni lemez a szárazföldivel ütközik, majd az alá bukik; itt a felszín süllyedni kezd. Az alábukó lemez súrolja a kontinentális tábla szélét, melynek peremén magas hegyív gyűródik fel. A kisebb hasonlóságok ellenére a Vénusz tektonikai működését még messze nem értjük — csak találgatjuk a különböző formák eredetét.

Akadnak tehát oldalirányú kéregmozgásra utaló jelek, ezek a folyamatok azonban — ha léteznek is — messze elmaradnak földi megfelelőiktől. Ma a Vénusz tektonikai szempontból viszonylag inaktívnak mondható. Azonban elképzelhető, hogy a távoli múltban, amikor még nagyobb hőtartalékokkal rendelkezett, más volt a helyzet. Lehetséges, hogy a Vénusz tektonikája túlnyomósan szeleplehez hasonlóan működik. Amikor elegendő belső energia gyűlik fel, az egész bolygóra kiterjedő heves folyamatok indulnak meg. Ezek megújítják a Vénusz arculatát és felemérsztik a hőforrásokat. Elhalásukkal hosszú és inaktív periódus kezdődik — az erőtartalékok gyűjtésének ideje. A korábbi, intenzívebb tektonikai időszak végeztével a kéregmozgások csökkentek, és a forrófolt-aktivitás lett domináns. Így jöttek létre a mai, foltos eloszlást mutató képződmények. Míg Földünkön a belső hő nagyobb része lemezmozgások révén szabadul fel, a Vénusznál ez vulkanizmus és hővezetés útján történhet. A felszín egyértelműen jelenleg is tevékeny belső erők létezésére utal. Azt, hogy napjainkban is működnek-e tűzhányók a forró égitesten, egyértelműen nem tudjuk megválaszolni. További űrszondás vizsgálatok talán majd egy aktív égitestet tárnak fel a szomszédban. Olyan bolygót, mely felszíni aktivitását tekintve valóban Földünk testvéreinek mondható.

A Vénusz egyenlítői vidékén hatalmas magasföld terül el: az Aphrodite Terra. Rendkívül változatos geológiai formák gyűjteménye ez a régió. Találunk itt olyan, párhuzamosan futó gerincpárokat, melyek keresztmetszete a földi óceánközépi hátságokéra emlékeztet. Lehetséges, hogy területükön új kéreg képződik, és terjed oldalirányban. De ugyancsak az Aphrodite ad ott-hont a Diana- és Dali-hasadékoknak, melyek kísértetiesen emlékeztetnek a földi szubdukciós zónákra. Területükön a felszín fokozatosan lehajlik, süllyed, majd hirtelen emelkedni kezd és magas hegységgyé tornyosul, végül a hegy túoldalán ismét visszatér a normális magassághoz — mindez íves alakban, hosszirányban történik. Bolygónkon