



AZ ÓCEÁNOK ÉS A LÉGKÖR KÖLCSÖNHATÁSA

Globális áramlások

Óceán és légkör közötti kölcsönhatás a Naprendszerben csak a Földön tanulmányozható, mert légkörrrel rendelkező bolygó felszínén sehol máshol nincs óceányi méretű szabad folyadékfelszín. A bolygótetek, amelyeken eddig geológiai aktivitást találtunk, vagy a felszínükön csak tavak formájában lévő folyadék-szférával, vagy a felszínük alatt, globális óceánokkal rendelkeznek.

A felszín alatti globális óceánra az első példa, amit megismertünk a Naprendszerben, a Jupiter Europa holdja volt, ahol egy 20 km vastag jégkéreg alatt 100 km mély óceánt sejtünk. Azóta több bolygótet, így árapályfűtés miatt holdak (Ganymedes, Callisto, Enceladus, Titán), sőt törpebolygók, mint a Ceres és a Plútó is gyanúba került. Ez persze nem azt jelenti, hogy mindenütt víz a folyadék – vagyis nem mindenütt víz-óceánról, azaz hidroszféráról van szó – hanem általánosabban, folyadékszféráról kell beszélnünk. Ilyenkor a folyadék bármi más lehet, ami az ottani hőmérsékletnek megfelel. Ezért például a Jupiter holdjai és a Szaturnusz Enceladus holdja esetében is még víz a folyadék, azok tehát szintén hidroszférák. A Szaturnusz Titán holdja esetében azonban, ahol nincs árapályfűtés, már nem hidroszféráról beszélünk, mert metán és etán, a Plútó esetében pedig metán és esetleg nitrogén a folyadék. A Naprendszer külső részén a víz már csak jég formájában van jelen, s minél messzebb vagyunk a Naptól, annál keményebb sziklaalkotó a vízjég.

A felszínen csak tavak formájában lévő folyadékszféra esete azt jelenti, hogy az a bolygóteten nem összefüggő, és nem terjed ki az egész felszínre. A Mars felszínén lehetett egy, az északi félgömböt beborító hidroszféra (egy nagy „tó”) (1. ábra). A Titánnak pedig ma egy metán-etán folyadékszférája van, amely sok tóból áll, de nincs közöttük összeköttetés (2. ábra). A felszínük viszont azonos ekvipotenciális felületen van. Ha ez azt jelenti, hogy az alattuk lévő „talajvíz” segítségével összeköttetés van közöttük, akkor együtt mégis egy „világóceánt” képviselhetnek.

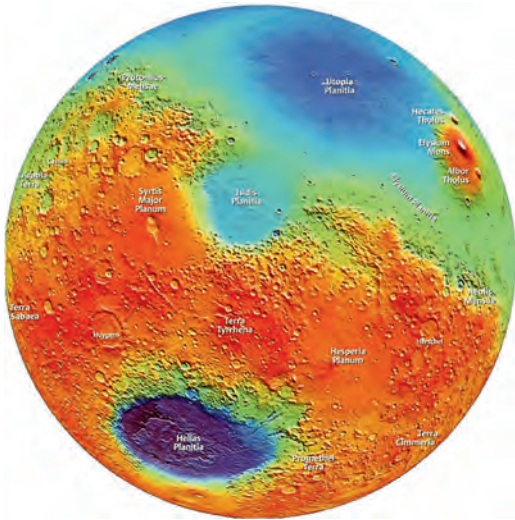
A Nagy Óceáni Szállítószalag

A Föld óceánja nem-globális hidroszféra, a földfelszín 2/3-át foglalja el, kiterjedése nem egyenletes (3. ábra). A szárazföldek aszimmetrikus elhelyezkedése miatt a hőelnyelésben és a hőelosztásban is hemiszférikus különbségek vannak. Ennek következtében légkörünkben az egyenlítőn átfújó (transzекvatoriális) szelek is előfordulhatnak, tehát akár az amazonasi tüzek füstje is elérkezhet hozzánk.

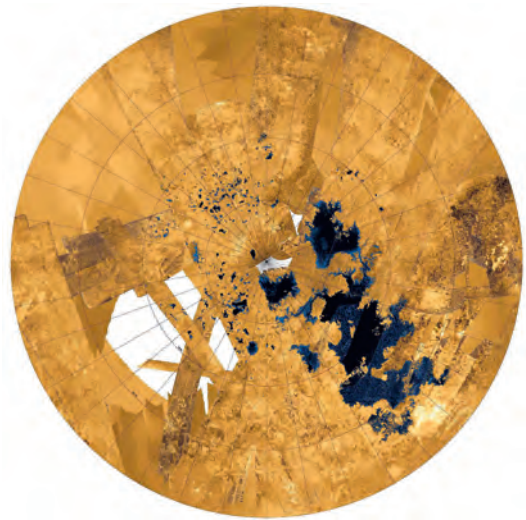
A Nap besugárzásának hatására az óceánokban ugyanúgy, mint a légkörben vagy a folyékony magban, áramlások jönnek létre. Egy globális óceánban (akár felszíni, akár felszín alatti) az áramlások hasonlóak, mint a légkörben. A Földön azonban ezt az áramlási rendszert a kontinensek partjai korlátozzák, zavarják, terelik mind vízszintes, mind függőleges irányban. A görbült partok a szélességi körökkel párhuzamosan induló áramlást kisebb cellákká szaggatják (4. a. ábra).

A milliónyi kisebb áramlási cellát sokféle módon sikerült felderíteni. Némelyeket, a partok közelében már évszázadokkal ezelőtt, másokat távol a partoktól, csak napjainkban ismertünk meg. A Csendes-óceán északi részének bonyolult áramlási celláit például egy gyerektároggyal felborult hajó rakományára segített feltérképezni a bip-bip jeleket leadó, úszó kis gumikacsák mozgásának megfigyelése révén.

A forgó Föld különböző hőmérsékletű sávjait érintő áramlási cellák a melegebb sáv hőjével fűtik a hidegebbeket, vagyis továbbítják a hőt. Tehát az óceáni áramlásoknak a hő újraelosztásában van szerepe. Az egymás mellett található cellák a köztük lévő átfolyások révén fogaskerék-szerűen egy nagy szállítószalagot képeznek



1. ábra. A Mars ősi óceánja. A kék szín az alacsonyabban, a piros a magasabban fekvő területeket jelzi
(Forrás: Stern und Weltraum)



2. ábra. Tavak a Titán északi poláris vidékéken
(Forrás: NASA)

a trópusoktól a poláris vidékek felé (4. b. ábra). Ez a Nagy Óceáni Szállítószalag, amelynek létét és fontosságát az 1970-es években kezdték felismerni az egyre több helyen és időben végrehajtott, és egyre hosszabb modern mérésorozatok hatására. Különösen annak a három helynek a fontosságát, amelyeknek környékén a hó szállítása akadályokba ütközik. Melyek ezek a helyek?

Akadályok a szállítószalag útjában

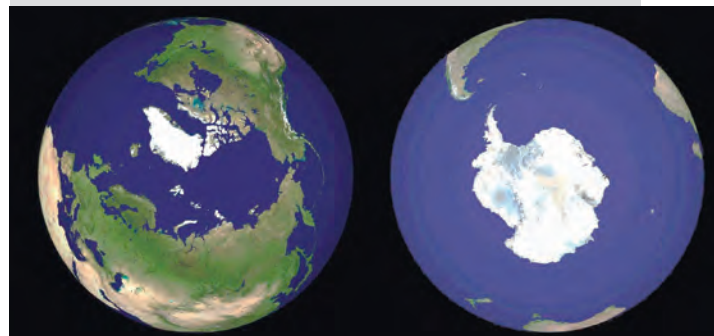
Az első akadályt az indonéz szigetvilág alatt, a Csendes-óceán aljzatán találták, és *Indonéz Átfolyásnak* nevezik. Itt a lemeztektonika következtében sokkal magasabb a tenger aljzata, mint a környezetében, és ezen a felmagasodáson kell „átmásznia” – mint egy gáton – a Csendes-óceán mélyebb aljzatáról a nyugat felé áramló, trópusi víznek (5. ábra).

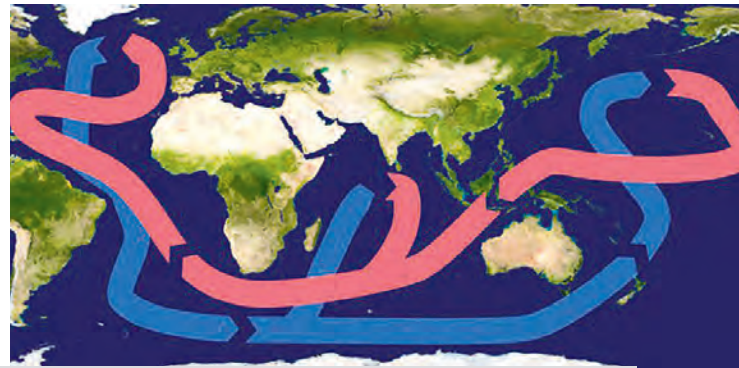
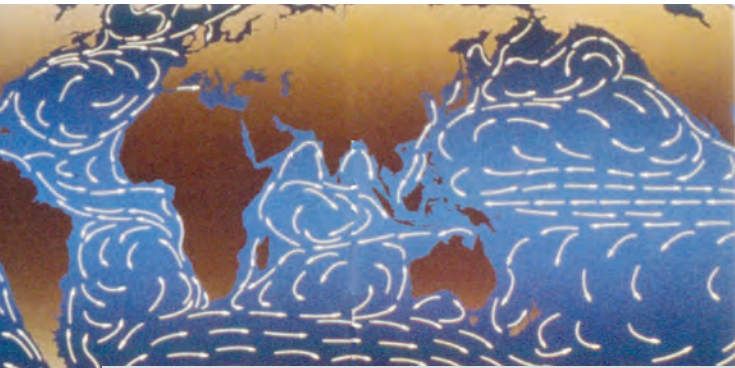
A második akadály Afrika déli csücskénél az *Agulhas Kifolyás* (6. ábra). Itt Afrika, mint a meleg víz áramlásának útjába dél felé vízszintesen „betölt” gát okozza a problémát a nyugat felé tartó óceáni áramlásnak. Afrikát mindenképpen meg kell kerülnie, de ezt nehezíti, hogy Afrika déli csücskénél szembetalálkozik az Antarktisz körüli, kelet felé körbefolyó hideg óceáni áramlással. Az Indiai-óceánban felgyülemelő meleg, trópusi víz nehezen tudja magát átnyomni az erős, hideg áramlás ellenében. Ez nem nyugodt, lamináris áramlással, hanem időnként csak meg-megszakadva, és rengeteg örvény formájában tud megtörténni. Ezek az örvények kiszabadulva az Antarktisz körüli hideg áramlás szorításából északnyugati irányba

tartva átszelik az Atlanti-óceánt, majd elérve a két Amerika konkáv partjait, azok visszairányítják Európa felé. Ez utóbbi szakaszt, mint a meleg Golf-áramlást emlegetjük. Ezt a még mindig meleg áramlást az európai kontinens nyugati partjai beleterelik az Északi-sarki óceán medencéjébe, ahol az annyira lehűl, hogy nagyobb sűrűségűvé válva lesüllyed, és mire ezt a medencét elhagyja, már hideg áramlásként halad Észak-Amerika partjai mentén délre. Dél-Amerika csücskénél – az antarktisi köráramlás mentén és segítségével – jut aztán vissza keletre, a Csendes-óceánba.

A harmadik, és a legkritikusabb hely az *Északi-sarki óceán*, egy nagyon különleges akadály. Ez az óceán eléggé zárt medence (7. ábra). A Bering-szoros ugyanis nagyon szűk, ezért csak az Atlanti-óceán felől tud ebbe a medencébe víz bejutni. A medence vize a poláris fekvés miatt egyrészt hideg, másrészt kevésbé sós, mint az Atlanti-óceáné. Ez utóbbi azért, mert a nagy hozamú ázsiai folyók (Ob, Jenyiszej, Léna) a Himalájáról rengeteg édesvizet szállítanak, amely felhígítja. A sós tengervízben pedig hőmérsékleti lépcsők jönnek létre. A só sokkal lassabban diffundál át a szomszédos tartományokra, mint a hó, így egy-egy lépcsőfokon belül keveredik a víz,

3. ábra. A földi kontinensek aszimmetrikus eloszlása
(Forrás: NASA)





4. ábra. A földi óceán áramlási cellái (a) és a belőlük összeállt Nagy Óceáni Szállítószalag (b) (Forrás: NASA)

de nagyon nehezen jön létre keveredés a szomszédos rétegekkel. A különböző hőmérsékletű és sótartalmú vizek közötti keveredés instabillá teheti a Nagy Óceáni Szállítószalag alábukását. Ez a keveredési nehézség pedig kihat az észak-atlanti áramlási rendszerre (AMOC, vagyis Atlantic Meridional Overturning Circulation), és teszi ezt az óceáni áramlás legérzékenyebb és legváltozékonyabb cirkulációs cellájává. Emiatt ennek az áramkörti résznek különösen fontos szerepe van az egész áramlási rendszerben, de az éghajlati változások létrehozásában is.

A számítógépes szimulációk szerint a lebukás helye jégkorszakok és interglaciálisok között eltolódik Dél-Grönlandtól Észak-Grönland felé (8. ábra). Ez azt jelenti, hogy jégkorszakok idején Észak-Európát nem melegíti a Golf-áramlat. S hogy ez mit jelent, azt nagyon jól mutatja a Föld éjszakai fényeiről az űrből készített fotómontázs (9. ábra), amely azt jelzi, hogy hol élnek emberek ma, vagyis hol megfelelő az éghajlat. Európa északi részén – hála a Golf-áramlatnak – most igen. De az előző jégkorszak idején a mostani Dortmund földrajzi szélességénél volt a végmoréna (ma a várost elkerülő autótút vezet végig rajta), s ez körülbelül az a földrajzi szélesség, ameddig Amerikában is, és Szibériában is vannak fények, vagyis ma laknak ott emberek, az éghajlat tehát most csak addig a szélességig kedvező. A Golf-áramlat nélkül Észak-Európában most is jégkorszak lenne?

Az óceán és a légkör közötti kölcsönhatás

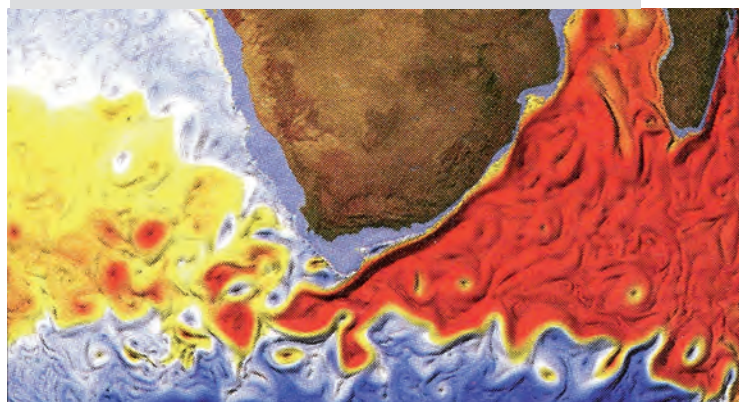
Az éghajlat ingadozása a légkör és a világóceán bonyolult kölcsönhatását tükrözi vissza. A légkör elsősorban a szeleken keresztül hat az óceánra: felkorbácsolja a hullámokat. Többen ezzel magyarázzák például az El Niño-nak nevezett jelenség létrejöttét, amelynél néhány évenként a Csendes-óceán vízfelszínének hőmérséklete nyugatról kelet felé az erős nyugati szelek hatására megemelkedik. Más esetben, néhány éve a légkörből kicsapódó nagy mennyiségű csapadékot tették felelőssé például az Auszália melletti egyik nagy halpusztulásért. Ekkor a trópusi indonéz szigetvilág területén a tengerbe lehullott nagy mennyiségű csapadék meleg vizét az Auszália felé haladó óceáni áramlás dél felé szállította. Ez a hőfok az ott élő halak számára már elviselhetetlen volt.

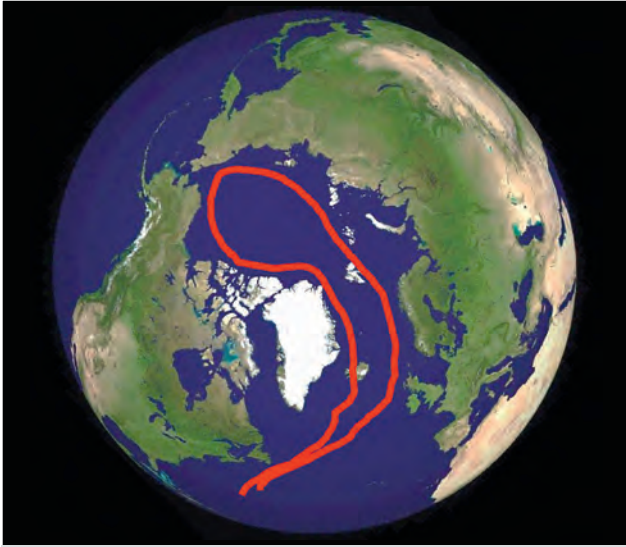
A tenger pedig például a vízfelszín hőmérsékletén, és a párolgáson keresztül hűti vagy fűti a légkört. Vizeink hatása a környező levegő hőmérsékletére a víz fajhőjén keresztül érvényesül. A talaj bármely fajtája, de különösen a homok, már sokkal hamarabb lehűl vagy felmelegszik, mint a víz. Így egy tó vagy a tenger partján sokkal kevésbé hideg a levegő, mint a víztől távolabb. Különösen feltűnő ez ott, ahol a Golf-áramlat elhalad: a Brit-szigetek és a skandináv országok vidékén. Arrafelé a telek enyhék, a csapadék nem hó, hanem eső formájában érkezik, pedig tőlünk sokkal északabbra van.

5. ábra. Az Indonéz Átfolyás (Forrás: NASA)



6. ábra. Az Agulhas Kifolyás Afrika déli csücskénél (Forrás: EOS Transactions)





7. ábra. A Nagy Óceáni Szállítószalag útja az Északi-sarki óceán medencéjében (Forrás: NASA)

Nézzünk két példát röviden azokra a Föld minden óceánját érintő változásokra, melyeket az elmúlt évtizedekben fedeztek fel, és sikerült a jelenséget többé-kevésbé megismerni, ha az okokat még nem is lehetett teljes részletességében feltárni.

Az El Niño – La Niña jelenség

A Csendes-óceán egyenlítői vidékének keleti felén, vagyis Dél-Amerika partjainál a tenger felszínének hőmérséklete néhány évenként megemelkedik, és ilyenkor a tengerpartok közelében nem felfelé áramlik a víz, mint máskor, amely a mélyből jövő hideg vízzel sok tápanyagot szállít felfelé, hanem lefelé, ami halpusztuláshoz vezet. A jelenség szabálytalanul ismétlődik, néha már 2 év múlva, néha 8 év múlva jelentkezik újra. Ha jelentkezik, akkor az év folyamán általában mindig karácsony környékén fordul elő. A múlt század hatvanas éveitől kezdve kezdték felismerni a halpusztuláson keresztül, innen származik a neve: karácsony és a gyermek Jézus, vagyis a „fiú-gyermek” = El Niño. Az ellentétét a jelenségnek, vagyis a közbülső éveket, amikor hidegebb a tengerfelszín, a „lány gyermek”-ről nevezték el: La Niña.

A mesterséges holdak mérései azután megmutatták, hogy a jelenség nem csak a partokhoz közeli tengerfelszíneket érinti, hanem az egész egyenlítői sávot. Sőt a Csendes-óceán egyenlítői sávján a magasabb tengerfelszíni hőmérséklet nyugatról kelet felé nemcsak magasodik, de a tengernek egyre szélesebb sávjára terjed ki kelet felé. Sőt, mire az El Niño eléri maximumát, a légkör már egészen az Antarktiszig és Észak-Amerikáig terjedően melegebb a szokásosnál, és a melegebb hőmérsékletet átviszi az Atlanti-óceán

és az Indiai-óceán környékére is. Tehát az egész Föld légköre érintett lesz. Ez Európában az időjárási szélsőségeket erősítheti, Délkelet-Ázsiában pedig a monszunok erősödésébe szól bele.

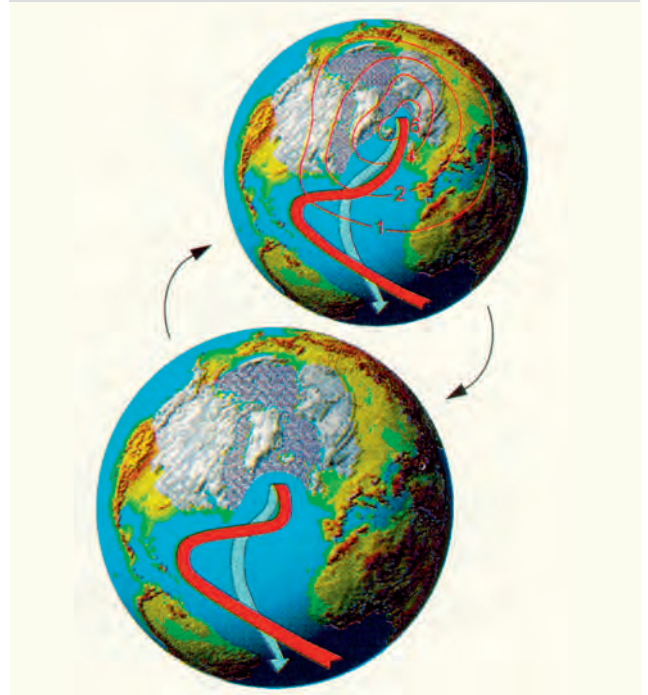
Az a tény, hogy a dél-amerikai partoknál a tengerben általában feláramlás van, El Niño idején pedig lefelé áramlás, azt jelentheti, hogy alapvetően a tengeráramlásnak egy mélységi cirkulációs cellája játszhatja a jelenségben a fő szerepet, és lehet a háttérben ható ok. A nyugati szelek szélleőkesei csak tovább árnyalhatják a jelenséget.

A Madden-Julian oszcilláció

Az MJO-t (Madden-Julian Oscillation) 1971-ben ismertte fel R.A. Madden és P.R. Julian. Ez a légkör egy, a tropikus óceánok felett létrejövő, szezonon belüli változékonysága, mely egy haladó hullámként írható le. Lehetséges, hogy gerjesztésében az Indonéz Átfolyásnak szerepe van?

Az MJO aktív fázisának bekapcsolódását az Indiai óceán nyugati részén nagyon mély légköri konvekció jelzi, amely erős, mintegy két hónapig tartó esőzést jelent a trópusi óceán egy körülbelül tízezer km széles sávján. Később ezt a nagy esőzést egy csökkent viharaktivitás követi. A légkörnek ez a mély konvekciós viselkedése 5 m/s sebességgel tovább csúszik az egyenlítő mentén a Csendes óceán vizeire egészen a keleti partvidékiig. Az elgyengülő konvekciós centrum néha

8. ábra. A Nagy Óceáni Szállítószalag alábukási helyének eltolódása jégkorszakok és interglaciálisok között





9. ábra. A Föld éjszakai fényei (Forrás: NASA)

átmegy az Atlanti óceán nyugati felére is. Közben más, nem-trópusi általános cirkulációs időjárási jelenségekre is hatással van.

Már észrevették, hogy erős El Niño fázisok idején az MJO jelenségre is hat, ami nem meglepő, mivel ugyanabban a földrajzi szélességi sávban jelentkezik mindkettő.

A „légköri folyók” jelensége talán a sok közül időben az utolsó (~2010-es évek), amelynek létét a meteorológia és az oceanográfia tudománya felismerte. Amióta a mesterséges holdak meg tudják határozni a légkör vízgőztartalmát, feltűnő lett, hogy a magasabb értékeket mutató helyek néha hosszú vonalra felfűződve helyezkednek el. Ezek a vonalak időben mintha a meleg tengerek felől az uralkodó szelek szárnyán a szárazföldek felé „kúsznának” fel a nagyobb földrajzi szélességek felé. Aztán valóban nyilvánvalóvá vált, hogy a szárazföldek felé tartanak, és amikor azt elérik, ott nagy esőzések formájában szabadulnak meg terhüktől. Először Amerika közelében (10. ábra), majd Európa környékén is felismerték ezeket a „légköri folyamok”-nak nevezett páraszállító képződményeket, amelyek valóban folyamnyi (Nílusnyi) mennyiségű párat hoznak a trópusi tengerek felől.

Amikor már statisztikai megfigyelési anyag is rendelkezésre állt, kiderült, hogy naponta 4-5 ilyen légköri folyó indul el, és mindkét féltekén jellemzően 3-5 ilyen óriási, keskeny, folyószerű szerkezet található az atmoszférában.

A légköri folyamok forráshelyeit is próbálták beazonosítani. Nem meglepő, hogy Európa esetében ez főleg a Golf-áramlat, mint magasabb tengerfelszíni hőmérsékletű hely. Amikor ezek a légköri folyamok Európa fölé érnek, a kontinens nyugati országait öntözik, de néha még Cseh- vagy Lengyelországot is elérik. Ezek azok a nagy esőzések, amelyek után elöntésekről, kiöntésekről szólnak a hírek.

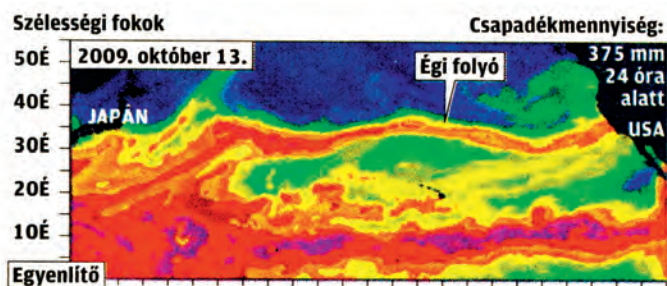
Bizonyos szárazföldi területeknek több óceáni forrásterülete is van, mások nem rendelkeznek közvetlen óceáni kapcsolattal.

A Földön évente kb. 500 ezer km³ víz kerül pára formájában a levegőbe. Ennek 86 százaléka az óceánokból párolog el, és utóbbi 90 százaléka az óceánokba esik vissza. A maradék 10% a kontinensek felé keskeny légköri folyamok formájában indul el.

Érdekes lenne tudni, hogy miért nem egyenletes a páraszállítás (amit már a légköri szelek végeznek) sem időben, sem térben, és miért ilyen kompakt helyen történik a pára képződés. Vagy utólag verődik össze a nagyobb páratartalmú levegő? Esetleg a légköri gravitációs hullámoknak lehet ebben szerepe?

Miért változik az éghajlat egyáltalán?

Az éghajlatváltozásnak több oka van. A légkör a Naptól nem egyenletesen kap fűtést – sem vízszintesen (földrajzi szélességben és hosszúságban) sem függőlegesen (magasságban). Ráadásul a fűtés még időben is változik. Egyrészt a Föld tengelyhajlása miatt, ahogy a Föld a pályája mentén halad az év folyamán,



10. ábra. „Légköri folyó”, amely a Csendes-óceántól tartott Észak-Amerika partjai felé (Forrás: NOAA)

másrészt a Nap sugárzása változik a naptevékenység változása következtében. A monszun rendszer nagyon jól mutatja a differenciális fűtés hatását vízszintes irányban (ugyanolyan besugárzásra különböző a felmelegedés a szárazföld és az óceán között, mert más a hőkapacitása a szárazföldnek és a víznek. Ráadásul a víz még fázisátmeneten is átesik, ami látens hő felszabadulásával vagy elnyelésével is jár). Tehát még külső erő hatása nélkül is nagy változások állhatnak elő. Ehhez jön még az óceáni áramlás és a légkör kölcsönhatása, valamint a globális felmelegedés. Ezzel pedig az óceánok melegebbek lesznek, a légköri szelek sebessége nagyobb, és a tengerek hullámai magasabbak lesznek. A nagy esőzések zónája pedig a számítógépes modellek szerint a pólusok felé tolódik el.

ILLÉS ERZSÉBET