

Klímaváltozás – a „kő magnószalag”

Földtudományok a társadalomért

Bevezető – a kő magnószalag

Földünk éghajlati rendszerében történt ősi változások „köbe vannak vésve”. A por és jég felhalmozódásai, tavak és tengeri üledékek, a dűne mezők és folyóteraszok mérete, alakja és elhelyezkedése, növényi fossziliák és állati csoportosulások, ősi partvonalak, növekedési periódusok a korallokban, fagyűrűkben, mészkőbarlangok keletkezésében, régészeti adatok és ősi kultúrák írott emlékei mind tartalmazzák ennek a történetnek egyes részeit.

Az emberi faj történelme és kultúrái sok mindent őriznek a múltbeli éghajlati változékonyság hatásaiból. Múltunk éghajlatának megismerése az egyik lépés annak megértéséhez, hogy honnan jöttünk és kik vagyunk. Nem kétséges, hogy jövőnket erősen fogja befolyásolni majd az éghajlat.

Azok a tudósok, akik a dinamikus Földrendszert kutatják, tudják, hogy ez a rendszer komplex és állandó alkalmazkodásnak van alávetve. Most első alkalommal, egy faj, a Homo sapiens vált a Földrendszer és a klíma rendszer megváltoztatásának fő tényezőjévé. Az ember egyre tökéletesedik annak megfigyelésében és megértésében, hogy miként változtatjuk meg ezt a rendszert régióknak és társadalmaknak megfelelő méretekben. Ahhoz, hogy ezt hatékonyan tehesük, meg kell értenünk a természetes változékonyság és az emberi behatásoknak tulajdonítható („antropogén”) változékonyság közötti különbséget. Ez a látszólagosan világos megkülönböztetés azonban az idő múlásával egyre inkább elmosódik.

Történelmi feljegyzések tanúskodnak róla, hogy milyen fontos a kapcsolat az óceánok, a légkör és a szárazföld változásai között. Néhány száz éves közvetlen klímaméréseink az éghajlat változékonyságának csak egy csekély hányadát tartalmazzák. Az a képességünk, hogy tudjuk alkalmazni a geológiai múltból származó „mágnésszalagot”, a tudományos-technológiai haladással növekszik. Azonban alapvető fontosságú, hogy a legjobb természeti archívumok reprezentatív létesítményeit megőrizhessük a jövő tudósai számára, akik nagyobb hozzáértéssel és jobb technológiával lesznek felfegyverkezve, mint amilyenekkel napjainkban rendelkezünk.

Ez a füzet azokat a kérdéseket mutatja be, amelyek megmutatják, miképp segítik elő a földtudományok az éghajlatváltozás jobb megértését. Javaslatot tesz továbbá arra vonatkozólag, hogy a jövőbeni kutatások hol járulhatnak hozzá a legjobban a társadalom jólétéhez.

Kulcskérdések

Milyen volt az éghajlatváltozások átlagos lefolyása az elmúlt négy eljegesedési (glaciális) ciklusban?

A Föld, amely körülbelül 4600 millió éves, a múltban megélt már néhány jégkorszakot és felmelegedési epizódot. 1960 óta vált lehetségessé annak a megállapítása, hogy csak az elmúlt körülbelül kétmillió évben is több eljegesedési epizód volt. A legutóbbi maximális eljegesedés – mintegy 21000 éve – egyike volt a legzordabbaknak. Észak-Amerika hatalmas területei, Észak-Európa és a magas hegysek jéggel voltak borítva. A magas, száraz területeket (mint a Tibeti-fennsíkot) a legjobb esetben foltokban borította jég.

Az óceánokból, jégmagokból, porból és közép-kínai fosszilis talajszelvényekből származó adatsorok kiértékelésének és kormeghatározásának legújabb eredményei azt mutatják, hogy a

legfontosabb éghajlati események egyszerre érintik az egész Földet. A legjobb magyarázatot erre a Föld Nap körüli pályájában bekövetkező változásai adják.

A tudósok figyelme most a jégablák keletkezésére és összetöredésére terelődött, és arra a közelmúltban történt felfedezésre, hogy sok gyors és gyakran rövid életű (100-tól 1000 évig terjedő időléptékű) esemény történt. Ezek nem kapcsolhatók össze a pályaváltozásokkal – más Földrendszerbeli folyamatok idézhetik őket elő. Efféle gyors és intenzív változások jelentős feszültségeket okozhatnak a társadalmakban és a gazdasági életben, ha napjainkban megismétlődnek.

Új erőfeszítések történtek a jelenségek közti kapcsolatok keresésére. Például, hogyan mennek végbe olyan események, amelyek az észak-atlanti térségben kezdődnek és hatásaik még Kelet-Ázsiában is mutatkoznak. Mi az összefüggés a különböző monszunrendszerek között? Hogyan változtathatja meg egy tényező a többi dinamikáját?

Mindegyik eljegesedési maximum a ma észleltnél sokkal alacsonyabb globális tengerszinttel járt. Bizonyos esetekben óriási közettömegek emelkedtek ki a tengervízből és teremtettek vándorlási útvonalat növények, állatok és emberek számára, valamint korlátozták a tengervízáramlást az Indiai- és a Csendes-óceán között. A kiemelkedett óceáni hátságok megnövelték a (természetes) üvegházgázok termeléséhez rendelkezésre álló területet. Archeológiai adatok magyarázatánál és az ember térfoglalásánál a tengerszint-változások történetét is figyelembe kell venni.

A fiatalabb glaciális ciklusok lefolyásának a megismerése elengedhetetlen annak megértéséhez, hogy hogyan működnek az éghajlati rendszerek nagyobb időléptékekben (az elmúlt két ciklusban) és hogyan hatnak az emberi társadalmak fejlődésére és térfoglalására.

Milyen volt éghajlatunk változékonysága az elmúlt 1000 évben?

A klíma a hőmérséklet és a csapadék átlagának változásában és az olyan szélsőséges helyzetek, mint például aszályok, viharok és árvizek gyakoriságában nyilvánul meg. Ezek kihatnak a természeti és mezőgazdasági rendszerek termelőképességére, a bozóttüzek gyakoriságára, a vízminőségre, a tulajdoni és infrastrukturális károkról nem is beszélve.

A hosszú időtartamú éghajlati feljegyzések alapján kialakuló kép fontos a modern társadalmak számára, mert ez alapot biztosít számunkra a jelenlegi trendek és azok potenciális okainak megértéséhez.

A Holocén korszak kezdete (megközelítően az elmúlt 10000 év) nagyrészt mentes volt az ember éghajlati rendszerekre gyakorolt befolyásától. Ez az az időszak is, amikor a mezőgazdaság fellendült: például Levante (a Földközi-tenger keleti részének partvidéke), a Jangce és a Sárga folyó völgyei. Körülbelül 5-6000 évvel ezelőtt a mezőgazdasági rendszerek már kiterjedtek voltak az eurázsiai kontinens keleti és nyugati részén. 3000 éve már óriási területeket műveltek. Geológiai adatok szerint ezeket a változásokat nagyarányú erdőirtások, megnövekedett égéstermék kibocsátás és rendszerint nagyobb fokú erózió, valamint a többletvizek felfogásához vagy lecsapolásához kisebb műszaki létesítmények építése kísérte.

Az ember ekkorra már jelentősen befolyásolta a tájalakító folyamatokat, de valószínűleg nem olyan mértékben, hogy klímaváltozás jöhessen létre. A közép-holocénban az öntözéses mezőgazdaság térhódítása az üvegházhatást kiváltó metán felszabadulásához is elvezethetett, megváltoztatva a légkör hő- és víztartó kapacitását. A légkörkémiára gyakorolt emberi behatás szempontjából ez lehetett a kiinduló pont.

Nagy pontosságú adatokat kaphatunk a közelmúltról hosszú életű fák évgyűrűiből, jég-fúrómagokból (amelyekben a rétegek vastagsága az éves hóeséssel arányos) és az állóvizek üledékének rétegzettségéből. Ezek éves szinten (vagy még jobb felbontással) mind alkalmasak az éghajlatváltozások rekonstruálására. Az erre alkalmas adatsor kevés, a legismertebbek az északi félgömb közepes és magas szélességeire vonatkozó, az utolsó 1000 évre terjedő középhőmérséklet rekonstrukciók. Ebben az időszakban gyenge a trópusokra és a déli félgömbre vonatkozó adatsor minősége, mégis lehetőség van az éghajlatváltozás kimutatására. Dolgoznak ennek a feladatnak a megoldásán.

Az északi félgömbre vonatkozó adatok viszonylag enyhe hőmérsékletet mutatnak a 11. és 12. század végén, valamint a 14. század korai és késői időszakában. A 14. század elejétől a 19. századig az átlaghőmérséklet a mainál alacsonyabb volt. Ezt általában történeti adatok is alátámasztják, és gyakran „középkori meleg időszak”-ot, illetve „kis jégkorszak”-ot emlegetnek. A történeti adatokból kiderül, hogy ezeknek jelentős hatása volt a társadalmakra. A melegebb időszakokban a gabonatermelés északabbra tolódott, és hamarabb lehetett szüretelni. A kis jégkorszakban a jégtakaró határán gyakoribbak voltak bizonyos betegségek, és a mezőgazdaság is hanyatlott. Sok esetben a hőmérsékleti eltérések nem voltak nagyobbak 0,2-1°C-nál, azaz nem voltak nagyobbak a 20. század korai időszakában észlelteknél. Az átlaghőmérsékletben bekövetkezett kismértékű változások jelentős hatása sokatmondóan ellentmond azoknak a szkeptikusoknak, akik nem tulajdonítanak semmiféle jelentőséget sem a következő 50-100 évre valószínűsíthető 1-5°C-os változásnak. A 20. század második fele mint különösen meleg időszak tűnik ki.

Mi okozta ezeket a változásokat? Egyes vélemények szerint a hosszú távú változások közül néhányat a Nap fizikai változásai okoztak, de a mostani felmelegedés egyenesen példátlan. Sok különféle adatsor mutatja a maga módján, hogy a globális klíma olyan irányba tart, amilyent az utóbbi 10000 évben (és talán még régebben) sem tapasztaltak. Míg az utóbbi 10000 év változásainak irányát a Nap sugárzási energiájának, a vulkanikus gázok és hamu légköri mennyiségének, valamint az óceáni áramlatoknak a változásával hozták összefüggésbe, az elmúlt fél évszázadbéli felmelegedést egyik sem tudja megmagyarázni. Az erdőirtásokat és építkezéseket látva, valamint tudva, hogy az ember által kibocsátott gázok erősen befolyásolják a Föld felmelegedését, szükségszerű feltételezni azt, hogy az emberiség is okozója a mostani klímaváltozásnak.

Ennek ellenére, ha valaha is meg szeretnénk tudni, hogy ez a megfigyelt változékonyság honnan ered, meg kell ismernünk az éghajlati rendszerekre gyakorolt mesterséges hatások mértékét a természeti hatásokkal összehasonlítva. A klímaváltozás jelentősen befolyásolja az emberek életét. A természetes eredetű változékonyságok megismerése (például az El Nino, vagy a vulkáni gázok és hamu légköri jelenlétének vonatkozásában) azért nagyon fontos, mert ezáltal megismerhetjük az emberi társadalmakat közvetlenül érintő időléptékű mechanizmusokat.

Milyen hatásai voltak a múltbeli klímaváltozásnak a társadalmakra?

Számos nagy birodalom tűnt el a múltban eltérő körülmények között, ezek között azonban az éghajlat változása is szerepel. A szárazság okozta az észak-nyugat-indiai harrapa kultúra, a közép-amerikai maja kultúra és az arizonai hohokam kultúra összeomlását.

A világ más részein a túl sok víz jelentett problémát. A hegyvidéki áradások a Jangce-folyón például akkor fordulnak elő, amikor a Tibeti-fennsíkről lefolyó esővíztöbblet egybeesik a nyári monszunesővel. Néhány évenként komoly áradások alakulnak ki, amelyek emberéletben, termésben és értékben sok kárt okoznak – bár megjegyzendő, hogy ezek az áradások tápanyagban gazdag üledéket hoznak magukkal. A holocén-korban az akkori népek védőművekkel próbáltak az

áradásokkal szembeszállni, és ahol ezek hiányoztak, a rizstermés hiánya nagy éhínséghez vezetett. Eközben északnyugaton, a Sárga-folyó völgyében a klímaváltozás és a talaj kizsákmányolása elsivatagosodáshoz vezetett, aminek következtében a települések délkelet felé szorultak. Az elsivatagosodás ma is tart és a kínai kormány folytatja az emberek és jóságok áttelepítését.

A környezeti változások adatsorait és a társadalmak történeti adatait egyesítve ismereteket nyerhetünk a technológiai fejlődésről és a korai nemzetállamokról folytatott vitákhoz, sőt, ezek talán még a Közép-Keleten, Kelet-Afrikában és máshol régóta fennálló ellenségeskedések megértésében is segíthetnek.

Mi az emberi tevékenység szerepe a klímaváltozás gyorsításában?

Tudjuk, hogy az emberi tevékenység megváltoztatta a légkör kémiai összetételét, a szárazföldet, és komoly károkat okozott a biodiverzitásban. Ezenfelül új szintetikus kémiai termékek ezreit hozták létre, amelyek szerepe a bioszférában nem teljesen tisztázott. Számos törendszert savasodott el az ipari gázkibocsátás egyenes következményeként az elmúlt 150 évben. A biogeokémiai ciklusok módosítása komplex visszacsatolásokat eredményez a klímarendszerek kulcsfontosságú elemeiben, követezőképp a gazdasági tevékenységben, illetve az ivóvíz- és táplálékkészletek biztosításában is.

Az ember által előidézett klímaváltozás megfigyelésének egyik módja az, hogy megfigyeljük az emberi tevékenységtől származó üvegházgáz-kibocsátás mennyiségének hatását. A mennyiséget megbecsülhetjük, de nem tudhatjuk, hogy a gázok végül hova jutnak. A talajban maradnak vissza, beépülve az erdőtakaróba? Az óceán abszorbeálja-e nagy részüket, vagy ezek mind – esetleg még további tényezők is – szerepet játszanak? A 7. ábrán megkíséreljük elkülöníteni a napjainkban észlelt klímaváltozás emberi és természeti tényezőit.

Az egyes klimatikus tényezők hozzájárulása a felszín és a légkör kémiai összetételének változásához még tisztázásra vár. Az erre vonatkozó kutatások biológiai, talajtani és oceanográfiai folyamat tanulmányokat igényelnek, köztük automatikus monitorozást, távérzékelést és talajvizsgálatot – más szóval az aktuális terepi kutatások eredményei realitásának ellenőrzését. Az intenzív üledékképződési sebességű formációkban végzett üledékkémiai kutatások szintén új részleteket szolgáltathatnak.

Mi a szerepe az éghajlat-előrejelző modelleknek, és hogyan állapíthatjuk meg megbízhatóságukat ?

Az éghajlat-előrejelzésre a legjobb módszernek a szimulációs modellek tűnnek. Ezek matematikai egyenleteket használnak a fizikai világ (az óceán-légkör-felszín közötti dinamikus visszacsatolás) leírásához. A modell által szolgáltatott eredmények kompromisszumot jelentenek a földi rendszerek megértése, a valóság matematikai leírhatóságának mértéke és a szükséges számításokat végrehajtó számítógépek teljesítménye között. Manapság több mint 25 globális klíma-szimulációs modellt használnak rendszeresen szerte a világon. Az ezekkel kapott előrejelzések gyakran kisebb-nagyobb mértékben eltérnek egymástól. E jelenség részben a fizikai elemek ésszerű módon történő integrálásának nehézségeit tükrözi, részben a rendszer számos elemének érzékenysége mutatja (kis változásoknak nagy következményei lehetnek, amint ezt geológiai adatok is jelzik).

Az utóbbi időkben olyan integrált rendszereket is kifejlesztettek, amelyek különféle - éghajlati, gazdasági, demográfiai, ipari kibocsátási, mezőgazdasági és természeti ökoszisztéma-modelleket egyesítenek. A jobb rendszerek lehetővé tesznek visszacsatolási hurkokat” a különböző modulok között, így a rendszer egyik részében fellépő változásokat dinamikus módon követni lehet a többi

rendszer felé. A modellek legnagyobb erénye az, hogy különböző források adatait tudják integrálni, és segíthetnek a Föld bolygó jobb megértésében. Mindent meg kell tennünk annak érdekében, hogy a modelleket a valósághoz igazítsuk, mivel ezeknek a rendszereknek a működtetésével járó haszon óriási lépést jelent a tervezési eljárások kidolgozásához és az emberi tevékenység fenntarthatóságához. .

Létre kell hoznunk egy független tesztelő bizottságot, hogy válasszák ki a legjobb modelleket és azokat a módokat, amelyekkel ezek még jobbra tehetőek. Ennek egyik módja a kiválasztott múltbéli időablakokra vonatkozó határfeltételekkel rendelkező modellek kezdeményezése. A Föld pályaparaméterei, az üvegházgázok koncentrációja, a légkör aeroszol-tartalma, a partvonalak és óceánok vízszintje, a kő mágnesszalagból kiolvasható valamikori jégtakaró, és maguk a geológiai adatok tartoznak ezek közé. Ezután kerülhet sor a meghatározott időablakokra vonatkozó éghajlati szimulációk elvégzésére. Ezeket azután összehasonlíthatjuk azokkal a regionális paleoadatsorokkal, amelyeket múltbéli klímaviszonyokkal kapcsolatos következtetésekre használtak.

A kutatási prioritások: jobb földrajzi eloszlású adatsorok, különösen a déli félgömbön és a trópusokon; elsősorban a éghajlatilag érzékenyebb régiókra lehetne koncentrálni. Ez öregbítené a modellezés és adatgyűjtés tudományát, és növelné a társadalom bizalmát a globális éghajlati előrejelzésében.

Mit tudunk a jövőbeli és a valószínű jövőbeli éghajlati változásokról?

A jövő éghajlata ki fog hatni az élelem biztosítására, a mezőgazdaságra, vízellátottságra és vízminőségre, a viharok és ciklonok előfordulási gyakoriságára, a partvonal stabilitására, a biodiverzitásra és a jövőbeli biológiai erőforrásokra. Éghajlati modellek kifejlesztésével csökkenthető a helyi klíma-előrejelzés bizonytalansága. Azonban csak a földtudomány képes a földi rendszer teljes változékonyságának a feltárására, és ezek szolgálnak mintaként annak a megállapítására, hogy a modellek reálisak-e.

A földtudományok művelőinek kiváló adataik vannak a múltbéli éghajlati- és föld-rendszerek tanulmányozására, miután gyakran vizsgálják a kettő közötti kapcsolatot. A társadalom joggal kéri őket, hogy kutatómunkájuk egy részét annak a megállapítására fordítsák, hogy az ember életlehetőségeit közvetlenül érintő forgatókönyvek hogyan fognak működni ezekben a rendszerekben. A jó vezetés alaposan megfontolt döntéseket és körültekintő tervezést eredményez. A földtudományokkal foglalkozó kutatókat fel lehetne kérni arra, jelezzenek előre mindenféle potenciális veszélyt, és váratlan környezeti változást. A Földrendszer megbízható ismerete növelni fogja erre vonatkozó képességünket.

Találó az alábbi ősi kínai mondás:

„A dolgok máttól másképp lesznek... máshogy fogjuk a dolgokat csinálni... ez mindig is így volt és mindig is így lesz”

Ez a mondás mind a Földre, mind a rajta élőkre vonatkozik.

A kutatási feladatok összefoglalása:

- ismereteink bővítése az elmúlt két jégkorszak éghajlati és környezeti jellegzetességeiről
- megállapítandó, hogy a glaciális viszonyok hogyan alakultak ki, és hogyan tűntek el
- a geológiai naptárban regisztrált gyors lefolyású események gyakoriságának és okainak az azonosítása

- kedvezőbb területi eloszlású nagy felbontású adatsorok, különösen a déli félgömből és a trópusokról
- a trópusi „hőerőgép” jobb megismerése, és kapcsolata a klíma mérsékelt övi változékonyságával
- célzott paleokörnyezeti kutatások azokon a helyeken, ahol jó minőségű régészeti adatok állnak rendelkezésre (különösen ott, ahol kulturális változások történtek)
- biológiai, geológiai, talajtani és óceanográfiai folyamatok tanulmányozása (beleértve a monitorozást, a távérzékelést és talajvizsgálatot, valamint - ahol ez szükséges - terepen végzett kutatásokat is) a klíma és a rendszerekben fellépő változások közötti összefüggés meghatározására. Ezeknek a kutatásoknak ki kell terjedniük a szén körforgalmára is, mivel ez segíthet annak tisztázásában, hogy vajon a klíma fordulhat-e egy újabb jégkorszak felé
- a süllyedő és felemelkedő területek kijelölése összehasonlító vizsgálatok céljára, hogy képet kapjunk a globális felmelegedésről és a jövőben várható tengerszint-emelkedésről
- együttműködés elősegítése a jövőbeni folyamatokat modellező és a múltbelieket tanulmányozó kutatói között
- technikai fejlesztés a kormeghatározás módszertanában
- a műszeres és biofizikai adatok kiértékelése a mai regionális rendszerekben mutatkozó kapcsolatok, érzékenység, tehetetlenség és az időbeli eltolódás felderítésére
- meghatározó kutatók meghívása egy olyan munkaértekezletre, ahol megjelölik a prioritásokat és kidolgozzák a további kutatási menetrendet

Földtudományok – a fenntarthatóság kulcsa

A földtudományokkal foglalkozó kutatók a Föld sok titkát fedték fel, és figyelemre méltó haladást értek el bolygónk működésének megértésében.

Ezt az információt azonban gyakran nem megfelelően használjuk. Sokszor rossz helyen építkezünk, gazdaságtalan lelőhelyeket tárunk fel, annak ellenére, hogy most már a természeti kockázatok nagy részét figyelemreméltó pontossággal tudjuk előre jelezni.

Úgy cselekszünk, mintha még tudatlanok lennénk akkor, amikor a jobb élet kulcsa itt van a kezünkben.

A földtudományokkal foglalkozó kutatók világszerte készen állnak a társadalom támogatására abban, hogy biztonságosabb, egészségesebb és gazdagabb környezethez jussunk.

Szerzők: J. Dodson, K. Alverson, Y. Daoxian, J. Wiegand, W. Yim, T. Nield

Fordították: a NYME hallgatói

Lektorálta: Bencze Pál, Szarka László, Verő József