

AZ EMBERISÉG MINT ÉGHAJLAT-ALAKÍTÓ TÉNYEZŐ

Gelencsér András

az MTA doktora

MTA–Pannon Egyetem Levegőkémiai Kutatócsoport
gelencs@almos.uni-pannon.hu

Földünk éghajlatát évmilliárdokon keresztül csak kozmikus katasztrófák, csillagászati tényezők vagy mérhetetlenül hatalmas geológiai folyamatok tudták befolyásolni. A néhány ezer évvel ezelőtt kialakult emberi civilizáció eleinte csak elszenvedője volt az éghajlati változásoknak, a 20. századra azonban globális éghajlatalakító tényezővé vált. Napjainkban az emberiség földtörténetileg is példátlan sebességgel változtatja meg a légkör összetételét, az üvegházhatású gázok koncentrációját, aminek, múltbeli példák alapján, komoly következményei lehetnek. A levegőszennyezéssel kibocsátott aeroszol részecskék a nagy vulkánkitörésekéhez hasonló árnyékoló hatásukkal azonban egyidejűleg hűtik is a Földet. Az eddig megfigyelhető éghajlati változások e két ellentétes előjelű tényező – és más természeti tényezők – a Föld–légkör rendszer bonyolult működési mechanizmusán keresztül kifejtett eredő hatásaként állnak elő. A Föld és légköre hatalmas nemlineáris rendszert alkot, annak kiszámíthatatlanságával és az ebből adódó veszélyekkel együtt. Ezért az éghajlat változására utaló, nem is feltétlenül csak a légkörben észlelhető természeti jelenségekre érdemes lenne az eddigieknél komolyabban odafigyelnünk.

*Éghajlati tényezők szerepe
a földtörténeti múltban*

Vulkánkitörések • Jól ismert tény, hogy a Föld éghajlatára (pontosabban időjárására) a nagyobb vulkánkitörések érzékelhető hatást képesek gyakorolni (Cole-Dai, 2010). A légkörbe kerülő vulkáni hamufelhő szemmel láthatóan árnyékolja a Napot, csökkenti a felszínre jutó napsugárzás intenzitását. Ez a hatás azonban rövid ideig tart és elsősorban a vulkánkitörés környezetében érvényesül, mert a vulkáni hamu részecskéi gyorsan kiülednek a légkörből. Sokkal nagyobb hatásuk van a vulkánkitörés során kibocsátott gázne-mű komponenseknek, főleg a kén-dioxidnak. A magasléggörbe juttatott kén-dioxid kén-savrészecskékké alakul át. A 0,2 mikrométer átmérőjű apró cseppekből álló réteg a sztratoszférában a világűr felé visszaveri a napsugárzás egy részét, tehát a felszínre jutó energia mennyisége, így a hőmérséklet is csökken. A hatás azonnali és látványos, de az éghajlat szempontjából meglehetősen rövid ideig tart: a részecskék többsége kettő-négy év elteltével kiüledpszik a sztratoszférából és a vulkánkitörés éghajlati hatása is elmúlik. A nagyobb vulkánkitörések még a történelem menetébe

is beleszóltak: az izlandi Laki vulkán 1783–84. évi kitörése Európa-szerte évekig tartó lehűlést, savasodást és súlyos éhínséget hozott, ami minden bizonnyal közrejátszott a francia forradalom kitörésében is. A Tambora vulkán 1815-ös kitörését Európában és Észak-Amerikában 1816-ban ún. „nyár nélküli év” követte, amikor a nyári hónapokban több alkalommal is mélyen fagypon alatti hőmérsékleteket regisztráltak. A tudományosan legjobban dokumentált vulkánkitörés a Fülöp-szigeteken található Pinatubo vulkán 1991. évi kitörése volt (Hansen et al., 1996). A kitörés a mérések szerint 20 millió tonna kén-dioxidot (a teljes éves globális emberi kibocsátás 1/3-át) juttatott néhány nap alatt mintegy 40–50 km-es magasságba. A Pinatubo kitörését követő évben a *globális átlaghőmérséklet* 0,5 °C-kal esett vissza, és a trend csak 1994-re állt ismét helyre.

Üvegházgáz vezérelte éghajlatváltozás • Mintegy 56 millió évvel ezelőtt a Föld körülbelül 220 ezer évig tartó igen meleg periódust élt át. Ezt a földtörténeti eseményt – amelyet a geológusok Paleocén-eocén hőmérsékleti maximumnak (PETM) neveznek – tekinthetjük a Föld történetében az üvegházgáz-vezérelt éghajlatváltozás legközelebbi példájának (McInerney – Wing, 2011). A felmelegedés kezdeti szakasza földtörténeti szempontból rendkívül gyorsan játszódott le, a Föld átlaghőmérséklete kevesebb, mint tízezer év leforgása alatt legalább 5 °C-ot emelkedett. A kivételesen meleg időszak 110 ezer évig tartott, majd ezt követően földtörténeti léptékben ugyancsak viszonylag gyorsan, néhány tízezer év leforgása alatt a hőmérséklet visszatért a meleg periódust megelőző értékre. A szén izotóparányának hirtelen megváltozásából arra következtethetünk, hogy a felmelegedést hatalmas mennyiségű szén-dioxid felszaba-

dulása okozhatta. Az abból az időszakból származó óceáni üledék összetétele is az óceánfelszín gyors elsavasodására, azaz nagy mennyiségű szén-dioxid beoldódására utal. A szén felszabadulásának mértéke, forrása és helye azonban mindmáig tudományos viták tárgya (Pagani et al., 2006). A tapasztalt mértékű felmelegedéshez 5–13 billió tonna szénnek kellett kevesebb, mint tízezer év alatt a levegőbe jutnia. Csak összehasonlításképpen: a hagyományos fosszilis energiahordozók összes becsült készlete körülbelül 5 billió tonna. A hirtelen felmelegedést megelőzően a szén-dioxid koncentrációja a mainál (400 ppm) lényegesen nagyobb volt (600–1500 ppm), a globális átlaghőmérséklet pedig 4–5 °C-kal lehetett magasabb. A hatalmas mennyiségű szén gyors felszabadulását követően a szén-dioxid-koncentráció 4500–6000 ppm-re emelkedett. A legnagyobb változást a tenger mikroszkopikus élőlényei közül a bentikus foraminiférák szenvedték el, amelyek közül számos faj kihalt. Más mikroszkopikus tengeri élőlényeket a változások kedvezően érintettek, a trópusi vizekben élő fajok mérsékelt égövi vizekben is elterjedtek. A szárazföldeken a szélsőségesen meleg időszakban számos új emlősfaj jelent meg, köztük az első főemlősök is. A felmelegedés miatt a sarkvidékhez közeli földhidakon keresztül új emlősfajok vándoroltak az észak-amerikai kontinensre. A földtörténet ezt az időszakot az emlősök kirajzásának eseményeként tartja számon.

Az emberi tevékenység hatása az éghajlatra

A földtörténeti múlt példáiból láttuk, hogy az éghajlati rendszert többé-kevésbé stabil állapotából számos más tényező mellett két *ellentétes előjelű* hatás képes kibillenteni. A vulkánkitörések által a légkörbe juttatott részecskék azonnali és jelentős – igaz, egyetlen

kitörés esetén viszonylag rövid ideig tartó – hőmérsékletcsökkenést eredményeznek. Az üvegházhatású gázok koncentrációjának jelentős mértékű növekedése pedig felmelegedéssel jár, amelyre a paleocén-eocén hőmérsékleti maximum szolgált földtörténeti példát. Napjainkban az emberi tevékenység *egyidejűleg mindkét éghajlati tényezőben* a múltbelihez hasonló mértékű változásokat tud előidézni.

Levegőszennyezésből származó aeroszol részecskék • A levegőszennyezést az 1990-es évekig inkább lokális, elsősorban a lakosság egészségét érintő problémának vélték, fel sem merült, hogy globális éghajlat-módosító hatása is lehet. A levegőszennyezés az éghajlat szempontjából meghatározó komponensei az 1 mikrométernél is kisebb aeroszol részecskék, elsősorban a kén-dioxidból képződő szulfát-, az illékony szénhidrogénekből képződő szerves és az égésből származó koromrészecskék. Az aeroszol részecskék látványos és közismert előfordulási formája a füst. A látható fény és a részecskék kölcsönhatása (szórás, illetve elnyelés) révén csökken a felszínre jutó napsugárzás intenzitása, a világűr felé történő visszaszórás révén pedig a sugárzási energia egy része a Föld-légkör rendszer számára elvész. Ez az aeroszol részecskék közvetlen éghajlati hatása. A szennyezett levegőben képződő felhők napsugárzás-visszaverő képessége megnő, ez is csökkenti a Föld-légkör rendszerbe jutó sugárzási energia mennyiségét. A légköri aeroszol részecskék közvetett és közvetlen éghajlati hatásának globális eredője negatív (hűtő hatás), de a hatás mértéke csak jóval nagyobb bizonytalansággal határozható meg, mint az üvegházhatású gázoké (Penner et al., 2001). A mérések és számítások szerint a szulfát- és szerves részecskék globálisan az emberiség teljes energiater-

melő kapacitása negyvenezerszeresének (!) megfelelő teljesítménnyel hűtik *folymatosan* a légkört, éppúgy, ahogy *alkalmanként* a nagy vulkánkitörések által a levegőbe juttatott aeroszol részecskék is teszik.

A levegőszennyezésből származó aeroszol részecskék éghajlati hatása az üvegházhatású gázokkal szemben nem egyenesen jelentkezik a Föld felszínén: legnagyobb mértékben erősen szennyezett régiókban (például Ázsiában), illetve a legérzékenyebb, hóval és jéggel borított területeken (például az Arktiszon) érvényesül. Ez az egyébként az 1960-as és 80-as évek között globálisan is kimutatható jelenség a „globális elhomályosodás” (*global dimming*) néven vált ismertté. Napjainkban ez a jelenség a trópusi öv hatalmas területeit érinti, ahol új elnevezése is van: szuperszmozognak (*Atmospheric Brown Clouds*) nevezik. A felszínre elérő napsugárzás intenzitása ilyenkor kontinentnsnyi kiterjedésű területeken átlagosan 5–10%-kal is csökken, a meteorológiai viszonyok a régióban számottevően megváltoznak. Mivel hatalmas területeket érintő és hosszantartó jelenségről van szó, kijelenthető, hogy a hatás *globális jelentőségű*, azaz a Föld-légkör rendszer energiamérlegét kimutathatóan befolyásolja (Ramanathan – Feng, 2009).

Az üvegházhatású gázok koncentrációváltozása • A Föld légkörében a legnagyobb koncentrációban előforduló üvegházhatású gáz, *amelynek mennyiségét az emberi tevékenység befolyásolni képes*, a szén-dioxid. Légköri koncentrációja (pontosabban keverési aránya) éppen 2014 tavaszán haladta meg először a lélektaninak tekinthető 400 ppm (0,04 térfogat%) értéket, amekkora több mint hétmillió évvel ezelőtt lehetett utoljára! Ahhoz képest, hogy az emberi civilizáció kialakulását és fejlődését az ipari forradalom hajnaláig lényegében állandó (280 ppm) szén-dioxid-

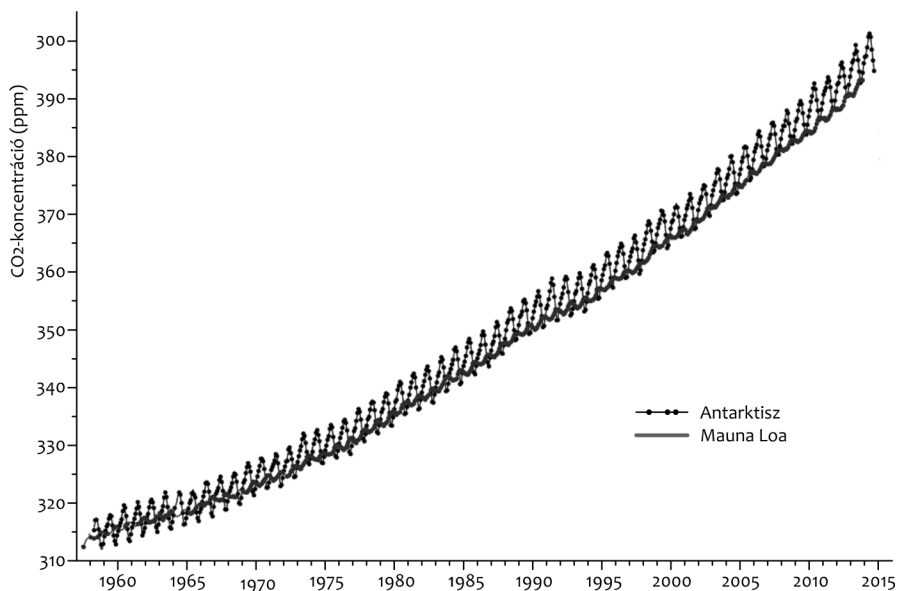
koncentráció kísérte végig, ezt napjainkra 40%-kal sikerült megnövelni. Ez azért kockázatos, mert a légköri szén-dioxid a Földön a szén természetes körforgásának egyik eleme, amely hatalmas léptékű természeti folyamatokban vesz részt (Ciais – Sabine, 2013). Ezekbe a folyamatokba avatkozik be az emberiség, egyre növekvő mértékben. A beavatkozás fő terepe napjainkban a fosszilis energiahordozók égetése, melynek során a légkörtől elzárt tározókból *nem egyensúlyi folyamatban* évmilliók alatt eltemetődött szenet juttatunk a légkörbe. Egyetlen nap leforgása alatt mintegy húszezer év (!) alatt eltemetődött energiahordozót termelünk ki és használunk fel. Ezért ez a szénmennyiség a Föld-légkör rendszer gondosan kiegyenlített természetes körforgásában *többletként* jelentkezik.

Az 1950-es évek közepén a fosszilis energiahordozók égetése évente globálisan még „csak” egymilliárd tonna körüli szenet juttatott a légkörbe. Abban az időben a tudomány számára is elképzelhetetlennek tűnt, hogy az óceán és a bioszféra ne tudnák eltüntetni ezt a csekélynek tűnő többletet. Charles David Keeling vetette fel először, hogy mégis folyamatosan mérni kellene a légköri szén-dioxid koncentrációját. Ötlete nem aratott elismerést, feleslegesen kidobott pénznek gondolták az *állandónak vélt* légköri alkotó folyamatos mérésére fordított dollármilliókat. Végül hosszas küzdelem után Keelingnek sikerült 1958-ban a hawaii Mauna Loa vulkán tetején elindítani a folyamatos szén-dioxid méréseket. A mérések a kezdetektől az évszakos ingadozásokon felül a szén-dioxid-koncentráció lassú növekedését mutatták. A mérési eredményeknek azonban *kezdetben nem hittek*: évekig a műszerek pontatlanságára, beállításaik hibáira gyanakodtak, és csak az 1960-as évek elejére vált nyilvánvalóvá, hogy a szén-

dioxid légköri koncentrációja – minden előzetes várakozással szemben – *valóban* növekszik. Ma már a légköri szén-dioxid koncentrációjának folyamatos növekedése mindenki számára elfogadott tény, a mért adatokat bemutató diagram, az ún. *Keeling-görbe* az emberi tevékenység légkörre gyakorolt hatását érzékeltető szimbólummá vált (*1. ábra*).

A többlet szén-dioxid-kibocsátást illetően az emberi civilizáció egészen a XIX. század közepéig szinte elhanyagolható hatást gyakorolt a szén körforgására, majd ezt követően egyre gyorsuló mértékben globális természet-alakító tényezővé vált. A fosszilis energiahordozók égetéséből és kisebb mértékben a cementgyártásból kibocsátott szén-dioxid mennyisége 2013-ban tízmilliárd tonnát tett ki. Az emisszió 22%-kal haladta meg a 2000. évit, az 1990-es kibocsátást pedig 61%-kal múlta felül. A kibocsátás növekedési üteme is gyorsult: az 1990-es évek elején még csak évente 1%-kal növekedett, 2010. óta már évi 2,5%-kal bővül. A gyorsuló növekedésnek részben az is oka, hogy a fosszilis energiahordozókban napjainkban újra reneszánszát éli a kőszén felhasználása. Tudvalevő, hogy megtermelt teljesítményegységre vetítve a kőszén felhasználása 33%-kal több szén-dioxid-kibocsátással jár, mint a kőolaj égetése, és 84%-kal többel, mint a földgázé.

Ma már egyértelműen tisztázott, az emberi tevékenység okozza a légköri szén-dioxid koncentrációjának tízezer év óta először tapasztalható gyors növekedését. A kételkedőknek csak az az érv marad, hogy a szén-dioxid koncentrációja a földtörténeti múltban is gyorsan és széles határok között változott, akkor még nyilvánvalóan az ember közreműködése nélkül. Ma már az antarktisi kutatóállomáson mélyített jégfúrásokból a légzárványok összetételének elemzése révén több



I. ábra • A légköri szén-dioxid mért koncentrációja az 1958. óta folyamatosan végzett Mauna Loa-i és antarktiszi műszeres mérések eredményei alapján

mint 800 ezer évre visszamenőleg áll rendelkezésünkre a múltbeli légkör összetételére vonatkozó közvetlen információ. Ebből egyértelműen kiderül, az eljegesedések és a köztes melegebb időszakok váltakozását a szén-dioxid-koncentráció széles határok között és gyorsnak tűnő módon követte. A koncentráció azonban ebben a hosszú időszakban egyetlen egyszer sem haladta meg a 310 ppm értéket. Ami a múltbeli koncentrációváltozás *sebességét* illeti, annak legnagyobb értéke is közel *negyvenszer lassabb* volt a mainál! A 21. század végére a pesszimista forgatókönyvekben előre jelzett 900 ppm-es szén-dioxid-koncentráció utoljára több mint 35 millió évvel ezelőtt fordulhatott elő a Földön, amikor a Föld sarkvidéki területei még jégmentesek voltak.

Az 56 millió évvel ezelőtti földtörténeti esemény azonban a mai éghajlatváltozás ta-

nulságául szolgál. Hirtelen jelentős mennyiségű üvegházhatású gáz szabadult fel, és erre a Föld, ahogy az a fizikai törvényekből következik, gyors és jelentős felmelegedéssel és az óceánfelszín elsavasodásával válaszolt. Nem szabad azonban elfelejtenünk, hogy az analógia ezen alapvető változásokon túlmenően korántsem tökéletes. A légkör szén-dioxid-koncentrációja és a Föld átlaghőmérséklete manapság az akkorinál lényegesen alacsonyabb. A sarkokat most jégsapka borítja, ami a felmelegedés ütemét olvadásával jelentősen gyorsítani tudja. Ma más a kontinensek elhelyezkedése, az óceáni áramlások rendszere, és még sorolhatnánk az alapvető különbségeket. Más állat- és növényfajok élnek ma a Földön, mint akkoriban. Fontos tényező, hogy a szén légkörbe bocsátásának üteme ma több mint tízszerese az 56 millió évvel ezelőtinek. Ebből arra következtethetnénk, hogy

az emberi tevékenység a jövőben sokkal drasztikusabb változásokat idézhet elő. Az is igaz ugyanakkor, hogy napjainkban korántsem csak ez az egy hatás érvényesül, hanem ellentétes előjelű változásokat okozó emberi tényezők (többlet üvegházhatás kontra levegőszennyezés) vívják gigantikus csatájukat. Annyi azonban bizonyos, hogy az elmúlt évtizedekben feltárt földtörténeti példa jelentős mértékű éghajlatváltozás *lehetőségét* vetíti előre.

Záró gondolatok

Az emberi tevékenység a Föld-légkör rendszer sugárzási mérlegének számos elemét bizonyíthatóan módosította (Steffen et al., 2007). Az emberiség jelentős mértékben megváltoztatta a földfelszín sugárzáselnyelő képességét az erdőirtás, mezőgazdasági tevékenység, beépítések révén. A levegőszennyezés közvetett hatásaként hatalmas óceáni és szárazföldi területek fölött módosította a felhők szerkezetét és napsugárzás-visszaverő képességét. A levegőszennyezésből származó részecskékkel – a vulkánkitörésekhez hasonlóan – megnövelte a földi légkör árnyékoló hatását, az égésből származó koromrészecskék pedig számottevő mennyiségű napsugárzást nyelnek el. Az üvegházhatású gázok folyamatosan növekvő kibocsátásával megnövelte a légkörben elnyelt hőenergia mennyiségét. A formális logika szabályai alapján következik, hogy amennyiben egy adott rendszer elemeit megváltoztatjuk, akkor magát a rendszert is megváltoztattuk, *ergo* bizonyítottuk, hogy az emberi tevékenység *módosítja* a Föld-légkör rendszer sugárzási mérlegét. Mivel pedig a bolygó sugárzási mérlege a Föld-légkör éghajlati rendszer része, a fenti formális logikai gondolatmenet alapján bizonyítottunk tekinthetjük, hogy *az emberiség napjainkban*

tevékenyen közreműködik a bolygó éghajlatának alakításában. Ez a következtetés önmagában kevéssé meglepő, hiszen Földünk felszínén kivétel nélkül minden szféra magán viseli a hatalmas léptékű emberi beavatkozások nyomát.

De vajon következnek-e ebből, hogy az elmúlt százötven évben bekövetkezett éghajlati változások *minden kétséget kizáróan* az emberi tevékenység hatásainak tulajdoníthatók? A teljes bizonyosság ismereteink hiányosságán felül már csak azért sem érhető el, mert az éghajlati rendszernek a sugárzási mérlegen kívül vannak olyan elemei is, amelyekre az emberi tevékenység jellegénél (például a naptevékenység) vagy nagyságánál (például az óceáni áramlások) fogva *nem lehet közvetlen* hatással. Az is tény, hogy a napjainkig tapasztalható éghajlati változások egyelőre belül maradnak az ismert földtörténeti közel-múlt vagy akár az emberi történelem nyilvánvalóan még természetes eredetű éghajlati ingadozásain. Ez gyakori érv a kételkedők körében, akik a természeti folyamatok fontosságát igyekeznek hangsúlyozni, míg az emberi tevékenységek jelentőségét kisebbítve ni vagy éppen tagadni.

Pedig éppen ellenkezőleg, az elmúlt kétmillió év drámai éghajlatváltozásai lelkiismeretünk megnyugtatása helyett inkább aggodalomra adnának okot. Azt bizonyítják, hogy a sugárzási mérleg kismértékű megváltozásának hatására Földünkön igen könnyen gyors eljegesedés vagy felmelegedés indulhat meg. Más szavakkal: az elmúlt kétmillió év nagy éghajlati ingadozásai arra tanítottak meg bennünket, hogy amikor az éghajlati rendszer kibillent adott állapotából, akkor öngerjesztő folyamatai révén még emberi léptékkal mérve is viszonylag gyorsan megszaladt. Azaz bolygónk éghajlati rendszerében – legalább-

is évtizedes-évszázados időskálán – nincsenek hatékony fékező-stabilizáló mechanizmusok, nincs jól működő földi „termosztát”. Márpedig látjuk, hogy a sugárzási mérleg egyensúlyát az emberiség máris érzékelhetően módosította. Ez az emberiség által indukált vagy inkább kiprovokált jövőbeni éghajlatváltozás legnagyobb kockázata.

Nem feltétlenül a közvetlenül belátható jövőben, az elkövetkező néhány évtizedben fognak jelentős változások bekövetkezni, de nemlineáris nagy rendszereknél a hirtelen változás sem kizárt. A hatalmas Föld-légkör rendszer tehetetlenségéből fakadóan késleltetett hatások valószínűleg a jövő generációjának életlehetőségeit fogják befolyásolni, súlyosbítva a fékevesztett gazdaság- és népességnövekedésből eredő, az éghajlatváltozásnál

napjainkban jóval fenyegetőbb környezeti problémákat. Mivel az éghajlati rendszer működését csak hézagosan ismerjük, ezért a jövőbeni éghajlatváltozás mértéke és következményei egyelőre tudományos igénnyel és felelősséggel megjósolhatatlanok.

Jelen cikk *Az éghajlatváltozásból eredő időjárási szélsőségek regionális hatásai és a kárenyhítés lehetőségei a következő évtizedekben* című TÁMOP-4.2.2.A-II/1/KONV-2012-0064 projekt keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Kulcsszavak: *éghajlatváltozás, üvegházhatás, aeroszol részecskék, levegőszennyezés, vulkánkitörések, szén-dioxid, emberi tevékenység*

IRODALOM

- Ciais, Philippe – Sabine, Christopher (2013): Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Stocker, Thomas F. et al. (eds.): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK–New York, USA • http://www.climatechange2013.org/images/report/WGIAR5_Chapter06_FINAL.pdf
- Cole-Dai, Jihong (2010) Volcanoes and Climate, *Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 1, 6, 824–839. DOI: 10.1002/wcc.76 • https://www.researchgate.net/profile/Jihong_Cole-Dai/publications
- Hansen, James – Sato, M. – Ruedy, R. et al. (1996): A Pinatubo Climate Modeling Investigation. In: Fiocco, Giorgio – Fua, D. – Visconti, G. (eds.): *The Mount Pinatubo Eruption: Effects on the Atmosphere and Climate. NATO ASI Series I*, 42. Springer-Verlag, 233–272. • <http://eaps4.mit.edu/research/papers/Pinatubor1996.pdf>
- McInerney, Francesca A. – Wing, Scott L. (2011): The Paleocene-Eocene Thermal Maximum: A Perturbation of Carbon Cycle, Climate, and Biosphere with Implications for the Future. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 39, 489–516. DOI: 10.1146/annurev-earth-040610-133431
- Pagani, Mark – Caldeira, K. – Archer, D. et al. (2006): An Ancient Carbon Mystery. *Science*. 314, 1556–1557. DOI: 10.1126/science.1136110 • http://people.earth.yale.edu/sites/default/files/files/Pagani/I_2006%20Pagani_Science.pdf
- Penner, Joyce E. – Andreae, M. O. – Annegarn, H. et al. (2001): Aerosols, Their Direct and Indirect Effects. Intergovernmental Panel on Climate Change, Report to IPCC from the Scientific Assessment Working Group (WGI), 289–348, Cambridge University Press • http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf/tar-05.pdf
- Ramanathan, Veerabhadran – Feng, Yan (2009): Air Pollution, Greenhouse Gases and Climate Change: Global and Regional Perspectives. *Atmospheric Environment*. 43, 37–50. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.063 • http://ubairpollution.org/Papers/General_and_Review/Ramanathan_2009.pdf
- Steffen, Will – Crutzen, P. J. – McNeill, J. R. (2007): The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 36, 8, 614–621. DOI: 10.1579/0044-7447 • https://www.pik-potsdam.de/news/public-events/archiv/alter-net/former-ss/2007/05-09.2007/steffen/literature/ambi-36-08-06_614_621.pdf