

KÖRNYEZETTUDOMÁNY ÉS SZKEPTICIZMUS: KÖRNYEZETI KIBOCSÁTÁSOK KÁROS HATÁSAINAK FELISMERÉSE ÉS ELISMERÉSE

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND SKEPTICISM: RECOGNITION AND ACKNOWLEDGEMENT OF THE ADVERSE EFFECTS OF ENVIRONMENTAL EMISSIONS

Faragó Tibor
c. egyetemi tanár
Tibor_Farago@t-online.hu

„A szkepticizmus az első lépés
az igazság felé.”

Denis Diderot, 1746

ÖSSZEFOGLALÁS

A nagy kiterjedésű vagy akár globális léptékű környezeti folyamatok feltárása, sokrétű ok-okozati összefüggéseinek, lehetséges káros hatásainak azonosítása és emiatt a megfelelő válaszlépések megalapozása nagy kihívást jelent a környezettudománnyal foglalkozók számára. A tanulmányban néhány olyan jelentős környezeti probléma kapcsán tekintjük át a tudományos felismerés és a politikai elismerés kritikus szakaszait, amelyek kialakulásához különböző emberi tevékenységekből eredő, növekvő mértékű környezeti kibocsátások járultak hozzá. A bemutatott esetek közös jellemzője az okokkal, a terjedéssel, a hatásokkal összefüggő érvek ütköztetése, a tudományos bizonyosság fokozatos erősödése és fordulópontjai. Bizonyos tanulságaik is általánosíthatóak, azaz hogy mennyire lényeges a széles körben elterjedő társadalmi-gazdasági tevékenységek, ipari eljárások kapcsán is a minél teljesebb hatásfelmérés vagy akár az utólagos belátás és korrekció, ha kiderül a nem szándékolt, de súlyos „mellékhatások” lehetősége vagy megléte.

ABSTRACT

The identification of certain large-scale or global environmental processes, their various cause-effect interrelations, possible adverse effects and subsequently, the provision of scientific information for the relevant response measures present huge challenges for the environmental scientists. In this paper we review the critical phases of scientific recognition and political acknowledgement of such significant environmental problems, which emerged due to increasing anthropogenic environmental releases from various sources. The common features

of these cases are as follows: the disputes based on different arguments on the drivers, transmission and/or impacts, the gradual strengthening of the scientific evidence and its turning points. Some lessons can also be generalized: the importance of complex impact assessments for the wide-spreading socio-economic activities, industrial technologies, or the posterior recognition and correction, if and when the inadvertent but severe “side-effects” or their possibilities are discovered.

Kulcsszavak: globális környezeti kibocsátások, szkepticizmus, környezetvédelmi egyezmények

Keywords: global environmental releases, skepticism, environmental conventions

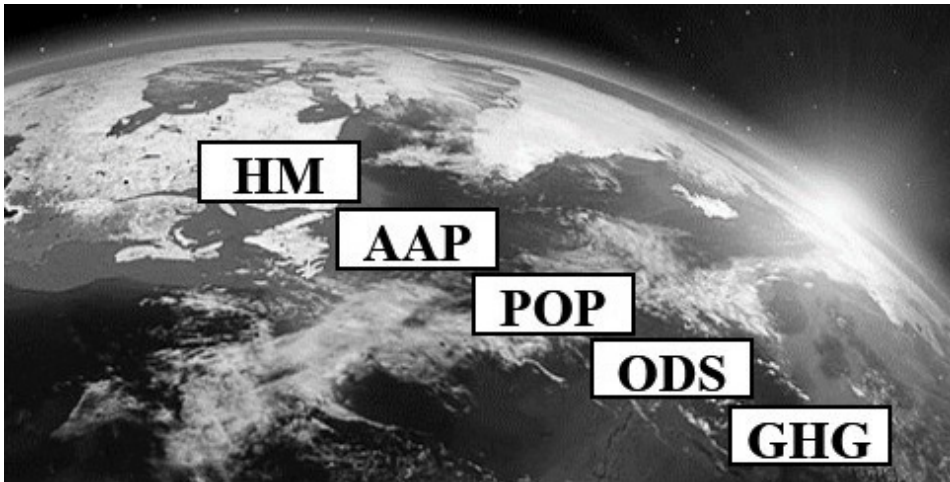
BEVEZETÉS

A növekvő mértékű környezetterhelés és hatásainak felismerése, az ok-okozatok azonosítása nagy kihívást jelent a környezettudomány számára különösen azoknak a légköri kibocsátásoknak az esetében, amikor a szennyezőanyagok hatásai kontinentális vagy akár globális léptékűek lehetnek. A folyamatok hatékony vizsgálatához nélkülözhetetlen a környezeti megfigyelő- és adatfeldolgozó rendszer, a kutatási módszertan fejlesztése, beleértve a mind összetettebb elméleti és numerikus modelleket.

A tudományos vizsgálatok eredményei lényegesen befolyásolhatják az érintett társadalmi-gazdasági tevékenységekhez kapcsolódó eljárások, termelési és fogyasztási módok megítélését, valamint az országhatárokon áterjedő hatások miatt a nemzetközi kapcsolatokat is. Emiatt különös jelentőségű minden egyes ilyen problémakör esetében egyfelől a tudományos bizonyosság mértékének, az adott környezeti problémára vonatkozó felvetések igazoltságának tisztázása, másfelől annak felmérése, hogy milyen következményekkel járna a probléma megoldását célzó intézkedések – környezetpolitikai beavatkozások – megtétele vagy mellőzése.

A kiterjedt környezeti folyamatok feltárása értelemszerűen eddig is csak fokozatosan valósulhatott meg, a korai hipotéziseket vagy jobban alátámasztották az újabb megfigyelésekkel, elemzésekkel, vagy módosították, esetenként elvetették azokat. A klasszikus értelemben vett szkepticizmusnak – de emellett sokszor más jellegű érdekeknek – komoly szerepük volt és maradt e téren. Mindez persze más tudományterületekre is érvényes.

E tanulmányban néhány nagytérségű környezeti téma (*1. ábra*) kapcsán mutatjuk be és értékeljük előbb a *tudományos felismerés* és vita egyes kritikus mozzanatait, majd a tudományos bizonyosság mértékétől is függően a probléma *politikai elismerését*, a válaszlépések szükségességének elfogadását is jelentő nemzetközi megállapodások lényegét, a tudományos ajánlásokhoz viszonyított hatásosságát. E folyamat kritikus szakaszai: a káros *hatás* megítélése, a *terje-*



1. ábra. A vizsgált környezeti kibocsátások: nehézfémek (HM), savasodást okozó szennyezők (AAP), perzisztens szerves szennyezők (POP), ózonkárosítók (ODS), üvegházhatású gázok (GHG)

dési képesség felmérése, a válaszok mérlegelése a nemzetközi megállapodások keretében. Különös jelentőségük van azoknak a *fordulópontoknak*, amikor újabb adatok, érvek hatására lényegesen megváltozott az adott probléma értékelése, illetve a teendőkkel kapcsolatos megközelítés. Célunk egyúttal annak érzékeltetése, hogy – bár eltérő módon, de – tipikus és tanulságos jegyek övezik a vizsgált ügyekben a környezettudományi eredmények és a környezetpolitikai válaszok létrejöttének „rögös útjait”.

A TOXIKUS NEHÉZFÉMEK

Az ólom használata nagyon régi keletű, s bár érzékelhetőek voltak bizonyos káros „mellékhatások”, de ezek nem látszottak kellően megalapozottnak vagy kiterjedtnek, miközben e fém rendkívül hasznosnak bizonyult. A 20. század elejére kellő ismeret állt rendelkezésre a közvetlenül (például ivóvízzel) a szervezetbe jutó ólom egészségkárosító hatásáról, ezt követően viszont vita alakult ki a légkörbe kerülő ólomszennyezésről. A növekvő mértékű kibocsátás elsősorban a benzinbe kevert „kopogásgátló” ólom-tetraetil adalékból származott. Ennek káros hatásait sokáig elhanyagolhatónak ítélték meg a felhasználások hasznosságához képest. Az 1960-as években német szakértők felhívták a figyelmet a lehetséges egészségkárosító hatásokra, miközben francia részről állították, hogy semmilyen veszélyt nem jelent e környezetszennyezés (Storch et al., 2002).

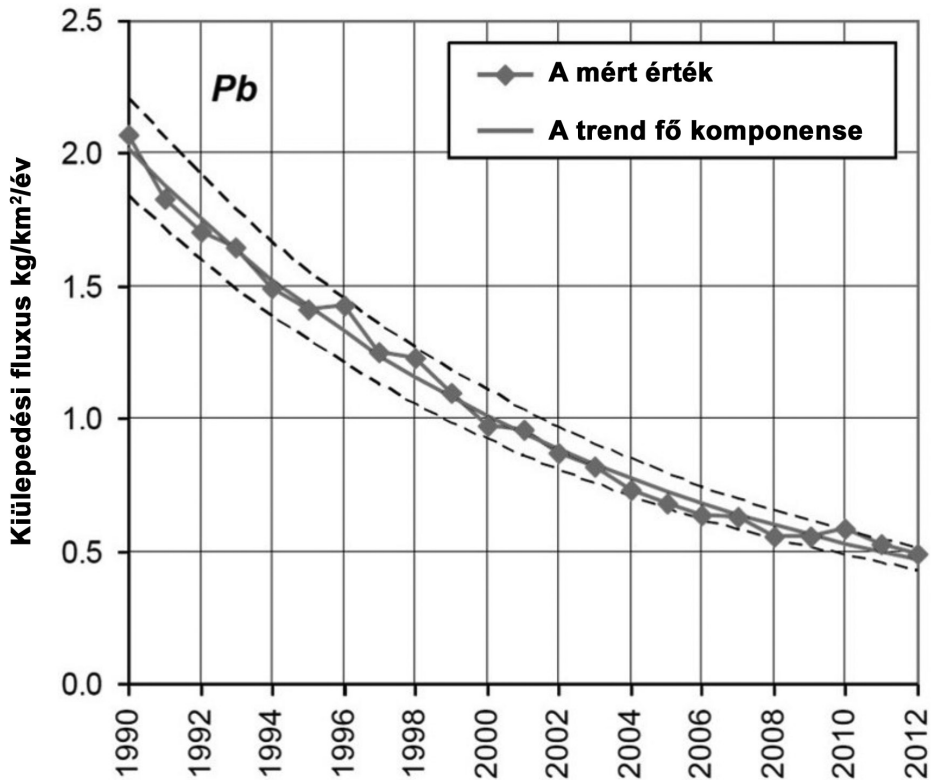
Az USA-ban ugyanekkor éles polémia folyt a súlyos hatásokra figyelmeztető Clair C. Patterson és az ólom-adalékanyag miatti kibocsátások veszélytelenségét hangoztató Robert A. Kehoe között, aki az ólmozott üzemanyagot előállító cég szakértője volt (Needleman, 2000). *Patterson azokra a tényadatokra hivatkozott, amelyek szerint a városi lakosok vérében magas az ólomkoncentráció, ami annak tulajdonítható, hogy ólommal szennyezett levegőt lélegeznek be.* A szakember tántoríthatatlanságát – a Galileo Galileinek tulajdonított mondás nyomán – „eppur” érvelésnek is nevezhetnénk, miszerint mégis a „makacs tényeknek” kell helyt adni, és azok által kell meggyőzni másokat. Az 1970-es évektől kezdődően korlátozták az ólomadalék fajlagos mennyiségét, majd a legtöbb országban megszüntették használatát. (Ehhez hozzájárult, hogy éppen ekkortájt kezdték kifejleszteni más szennyező kibocsátások csökkentésére a katalizátort, amelyet tönkretett volna az ólomadalék.) Említésre méltó, hogy Carl M. Shy (1990) ezt a címet adta a WHO-kiadványban megjelent írásának: *Ólom a benzinben: a 20. század legnagyobb tévedése.*

A légkörbe kerülő toxikus nehézfém-szennyezőkkel az 1990-es évektől foglalkoztak az akkor már jó ideje működő páneurópai megfigyelő hálózat (EMEP) keretében. A mérési adatok és a terjedési modellek segítségével egyértelművé vált, hogy ezen anyagok több száz kilométeres távolságra is eljuthatnak, és fejthetik ki ott hatásaikat (Wangberg et al., 2001).

Mindezek nyomán fogadták el 1998-ban a nemzetközi jegyzőkönyvet a nehézfém-kibocsátások (ólom, kadmium, higany) csökkentéséről. A tudományos ismeretekkel, az érintett alkalmazásokhoz fűződő érdekekkel, a tisztább technológiákra való áttérés módjával, költségeivel kapcsolatos eltérő álláspontok miatti kompromisszumok tükröződtek e megállapodásban. Ezek szerint: az országhatárokon átterjedő nehézfemes szennyezőanyagoknak *valószínűleg* vannak káros hatásaik; a csatlakozó országok csökkentik a kibocsátásokat, de ennek mértékéről nem lett egyetértés, viszont megegyezés született az üzemanyagok ólomtartalmának viszonylag alacsony határértékéről.

A tudományos bizonyosság elért szintje és a problémával való azonosulás politikai mértéke között fennmaradt eltérést jól jellemzi, hogy öt évet kellett várni a hatálybalépésre, és mind a mai napig a páneurópai régió országainak közel fele nem csatlakozott e megállapodáshoz. Ezzel együtt is a mind hatékonyabb beavatkozásoknak köszönhetően számottevően csökkent e szennyezők – köztük az ólom – kibocsátása és a felszínre érkező mennyisége (EMEP, 2016; 2. ábra).

A higany, illetve a higanyvegyületek kapcsán az ólommal kapcsolatoshoz hasonló jellegű konfliktus keletkezett Japánban, ahol az 1950-es évektől kezdve a Chisso cég egy gyártási folyamatban higanyvegyületet használt, és a mérgező metil-higanyt tartalmazó szennyvizet a Minamata település melletti tengeröbölbe engedték. Az áldozatok az e térségben kifogott halakban feldúsult higanynak



2. ábra. A légköri ólomszennyezés felszíni kiülepedése (EMEP-régió), 1990–2012 (EMEP, 2016)

tulajdonították a tömeges megbetegedéseket, míg a cég és a hatóságok szakemberei elvetették ezt az ok-okozati összefüggést. *A sok éven keresztül, 1996-ig tartó pereskedésben végül a bíróság helyt adott – az egyetemi (Kumamoto Egyetem) és a nemzetközi (WHO) szakértők által megerősített – a súlyos hatások ipari szennyezési okát bizonyító érvelésnek.* Később az is igazolást nyert, hogy a légkörben a higanyszennyezés transzkontinentális „utazásra” is képes (Weiss et al., 2007).

Globális szinten is egyetértés alakult ki a káros hatásokról és a nagy távolságú terjedésről, mégis a sokféle higanyos technológiával kapcsolatos érdekek, megszokás, más megoldásra való áttérés problémái miatt csak 2009-ben kezdődhettek meg a nemzetközi tárgyalások, és 2013-ra jöhetett létre a szimbolikusan Minamata Egyezménynek elnevezett megállapodás. Ennek célkitűzése a higanytól való – több évtizedre tervezett – fokozatos, végül teljes „megszabadulás” (Farágó, 2015). Az egyezmény hatályba lépett, de 2018 elejéig még a világ államainak nagy része nem lett annak részese, ami azzal is összefügghet, hogy sok helyen komoly nehézséget okozna az előírások végrehajtása.

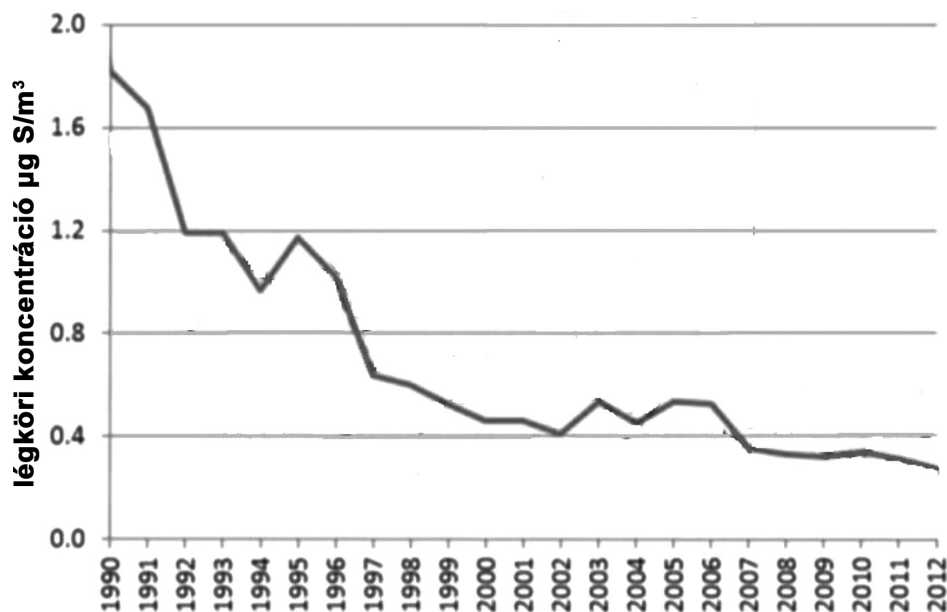
A SAVASODÁST OKOZÓ KIBOCSÁTÁSOK

A széntüzelésből és más tevékenységekből eredően a légkörbe kerülő kén-dioxid és nitrogén-oxidok környezeti savasodást előidéző hatása már ismert volt a 19. század második felétől. Az első nemzetközi konfliktus egy kanadai fémkohó által kibocsátott kén-dioxid és a közeli amerikai területen (Washington állam) észlelt károk miatt alakult ki. A hosszú évekig tartó érvelési-ellenérvelési viszály végül a káros hatások elismerésével és kártérítés megítélésével zárult 1941-ben. Európában az 1957-től kiterjesztett működési területű levegőkémiai megfigyelő hálózat (EACN, BAPMoN) adataira támaszkodva, a terjedési útvonalak elemzésével a svéd Svante Odén 1967-ben vetette fel, hogy a skandináv országok területén észlelt savas kiülepedést okozó szennyezőanyagok döntően – fosszilis tüzelőanyagok növekvő mértékű felhasználásából eredően – nyugat-európai forrásokból származnak. A fő kibocsátó országok képviselői lehetetlennek tartották, hogy a szennyezőanyagok ekkora távolságra eljuthatnak, és így országaik felelhetnek a távoli káros hatásokért.

E disputa folytatódott az 1972. évi stockholmi ENSZ-konferencián (Bolin et al., 1972; Engfeldt, 2009), majd az 1978. évi tanácskozáson is, amikor a norvég Erik Lykke sürgette, hogy e kibocsátások csökkentésére nemzetközi megállapodás készüljön, de e véleményt „az EGK-országok delegációi keményen támadták, különösen Franciaország, az Egyesült Királyság és az NSZK részéről. A vita során az Egyesült Királyság delegációja kétségét fejezte ki a hipotézis érvényességével szemben, miszerint a savas eső áterjedhet az országhatárokon” (Sokolovsky, 2004). *Nem ismeretes, hogy pontosan kiknek tulajdonítható e konfliktust lezáró „*eppur*” érvelés, de az idézett írás szerint a norvég és svéd szakértők által bemutatott mérési adatok meggyőző erejűnek bizonyultak.*

Így a terjedés és ezzel a felelősség mértéke, valamint a kénkibocsátás méréséklésének becsült magas költségei miatt is fennmaradt véleménykülönbségek ellenére 1979-re megszülethetett a levegőszennyező anyagok nagy távolságú terjedéséről szóló páneurópai egyezmény. Az eltérő álláspontok mindenekelőtt abban nyilvánultak meg, hogy e megállapodás a határokon áterjedő légszennyezés lehetséges káros hatásait említette, továbbá nem tartalmazott semmilyen konkrét kibocsátásszabályozási célt, hanem csak azt, hogy a felek vizsgálni fogják ennek módozatait, elsősorban a kénkibocsátásokra.

A bővülő monitoringrendszer adatai, továbbá Bernhard Ulrich német biológusnak a németországi erdők savas esők miatti pusztulásáról 1982-ben ismertett elemzése fordulóponthoz jelentett az országhatárokat „nem ismerő” környezeti savasodás veszélyének nemzetközi politikai elismerésében. Az abban az évben megtartott stockholmi környezetsavasodási konferencián a német delegáció már sürgősnek tartotta a kénkibocsátások csökkentését (Menz–Seip, 2004). Az 1985. évi kén-jegyzőkönyv egyértelműen a kiterjedt káros hatásokra hivatkozott, és emiatt 30%-os kibocsátáscsökkentést írt elő. Az 1988-as nitrogén-jegyzőkönyv



3. ábra. A légköri kén-dioxid-koncentráció svéd mérőállomáson, 1990–2012 (EMEP, 2016)

egyelőre e kibocsátások szinten tartására, az 1994-es kén-jegyzőkönyv a kibocsátások még nagyobb csökkentésére, majd az 1999. évi megállapodás más szennyezők mellett a kénre és a nitrogénre további szigorításokat vezetett be. Eközben felgyorsultak a technikai megoldásokkal, mindenekelőtt a kéntelenítési technológiákkal kapcsolatos K+F-tevékenységek, és ennek is betudhatóan csökkent a környezetterhelés (3. ábra). E folyamatból is kitűnik, milyen, többé-kevésbé tipikus feltételei, stádiumai lehetnek a környezettudomány és a környezetpolitika közötti összhang megerősödésének (Levy, 1995; Faragó, 2016).

AZ „ÁLLÉKONY” SZENNYEZŐK

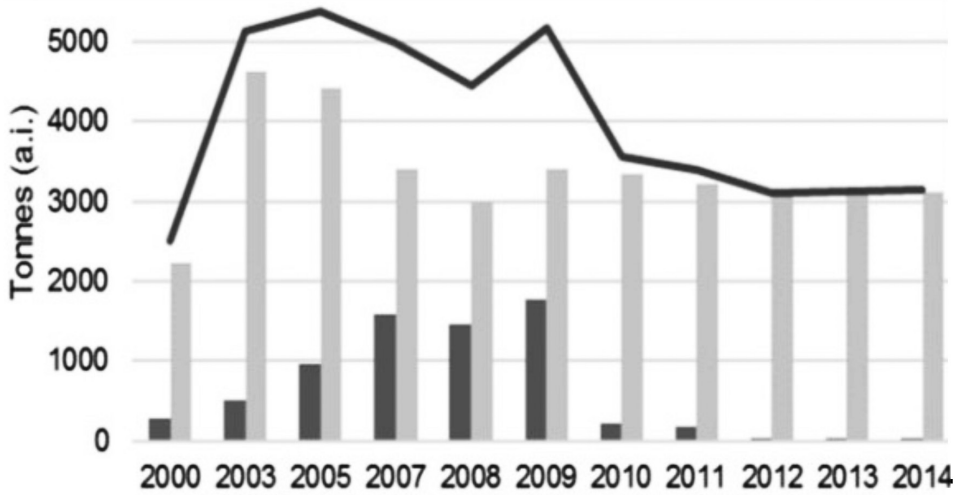
A különféle célokra előállított és forgalomba hozott egyes szerves anyagok – eredeti hasznos „küldetésük” után – a környezetben megmaradva vagy oda kikerülve csak hosszú idő után bomlanak le, és nem szándékoltnak ártalmasnak bizonyulhatnak az élővilágra. Ezek sorában a legismertebb néhány rovarirtó szer és azok között is elsősorban a DDT története, ami a 19. században kezdődött, majd bizonyos növénykárosítók elleni felettébb hatásos szerként az 1940-es évektől folytatódott. Paul H. Müller svájci vegyész 1948-ban orvosi Nobel-díjas lett a DDT egészségvédelmi jelentőségének feltárásáért. E vegyi anyag használata elterjedt

szerte a világban, mert nemcsak hasznosnak, de biztonságosnak is vélték egészen 1962-ig, amikor Rachel L. Carson amerikai biológus a *Néma tavasz* című könyvében azt állította, hogy a DDT ártalmas többek között a madarakra. Éles vita bontakozott ki az USA-ban: az egyik oldalon a mellékhatásként jelentkező, nagyfokú veszélyességre hivatkozó szakértők, környezetvédő szervezetek álltak, a másik oldalon azok a szakértők, vállalkozók, akik szerint ilyen károsító hatás nem vagy csak csekély mértékben mutatható ki. Az éveken át tartó, váltakozó kimenetelű összetűzés csúcspontját a környezetvédelmi ügynökség (US EPA) által megtartott közmeghallgatás jelentette, amelynek keretében a teljes betiltás, illetve ennek elutasítása mellett is érvek sokasága hangzott el. Edmund E. Sweeney 1972. április 25-én közreadott összegzése szerint: a bemutatott adatok alapján a DDT kétségtől perzisztens, és nagy távolságokra is eljut, de helyes alkalmazása nem jelent kockázatot az emberre, nem okoz észszerűtlen mértékű kárt a hasznos állatoknak; ezek ellenkezője nem nyert egyértelmű, ok-okozati igazolást, így ajánlott a DDT további használata. Sweeney tehát szkeptikus volt a súlyos kockázatokat felvető, de a káros hatásokat szerinte nem kellően alátámasztó érvekkel szemben.

1972. június 14-én az US EPA vezetője, William Doyle Ruckelshaus (Kenworthy, 1972) bejelentette: elég adat áll rendelkezésre arról, hogy az előírások betartása melletti használat során is jelentős hatással volt a szer a kezelt terület határain kívüli élővilágra; tágabb értelemben is *a DDT elfogadhatatlan kockázatot jelent a környezetre, potenciálisan ártalmas az emberre*, és ezen indokok alapján kevés kivételtől eltekintve betiltotta engedélyezését az USA-ban. Más országok is így jártak el (köztük hazánk), de több fejlődő országban azóta is valamilyen mértékben használják e szert (más hatékony megoldás híján és WHO ajánlással is elsősorban beltérben a maláriát terjesztő szúnyogok ellen). Azóta is sok elemzés, „pro és kontra” állásfoglalás látott napvilágot (beleértve a majdnem korlátlan használat és a teljes körű globális betiltás melletti érveket is); de arról is jóval több mérési adat született, hogy a DDT bioakkumulatív, és már nagyon távoli területeken is megtalálható: kimutatták például a Déli-sarkvidéken élő pingvinek szervezetében (Geisz, 2008).

A fent hivatkozott közmeghallgatás nyomán született ajánlástól eltérően a DDT betiltását jelentő „mégis” döntés hátterében tehát egy másféle megközelítés állt. Ennek fontos jellemzője volt az, amit a *környezeti felelősségi és az elővigyázatossági elvekkel* azonosíthatunk, s ezek alapján – az akkori megfigyelési adatok korlátozott mennyisége és minősége mellett is – indokoltnak volt tekinthető a tiltó rendelkezés.

Az előbbi elvet 1972. június 16-án (!) fogadták el a stockholmi ENSZ-konferencián (az USA-delegáció részvételével), és ennek értelmében az államok felelősséget viselnek azért, hogy a területükön folytatott tevékenységek ne okozzanak környezetszennyezést máshol (a Nyilatkozat 21. alapelve). Az elővigyázatosság elvét pedig – ha még nem is ezzel a szóhasználattal, de – már akkor is széles körben alkalmazták, majd konkrét megfogalmazását az 1992. évi riói ENSZ-csúcstalálkozón hagyták jóvá (15. alapelv). Eszerint: amikor fennáll a jelentősebb környezeti károkozás



4. ábra. DDT-használat: teljes mennyiség, ezen belül a subszaharai felhasználás (sötétebb hasáb) és a más régiókban használt összesített mennyiség (világosabb hasáb), 2000–2014 (UNEP, 2017a)

lehetősége, az erre vonatkozó teljes tudományos bizonyosság hiánya nem adhat okot olyan költségghatékony intézkedések elhalasztására, amelyekkel megelőzhető a környezet károsodása. Később ugyane két alapelvre épült a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezők előállításának, felhasználásának, környezetbe való kijutásának fokozatos megszüntetését előíró 1998. évi páneurópai jegyzőkönyv és a 2001. évi globális egyezmény. E nemzetközi jogi eszközök a DDT mellett egy sor más „állékony” (perzisztens) szennyezőanyagra vonatkoztak, azokra konkrét és határidőkhöz kötött szabályozással, de mindkettőben éppen a DDT külön „bánásmódban” részesült. Ennek használata a jegyzőkönyv alapján átmenetileg engedélyezett maradt elsősorban a malária elleni védekezésben. Az egyezmény is főleg a fejlődő országokra való tekintettel bizonyos feltételek mellett nyitva hagyta e szer előállításának és felhasználásának lehetőségét (4. ábra). Azóta mindkét megállapodás esetében a szabályozott vegyi anyagok köre tovább bővült, és összességében jelentősen csökkent azok használata, környezeti kibocsátása.

AZ ÓZONKÁROSÍTÓK

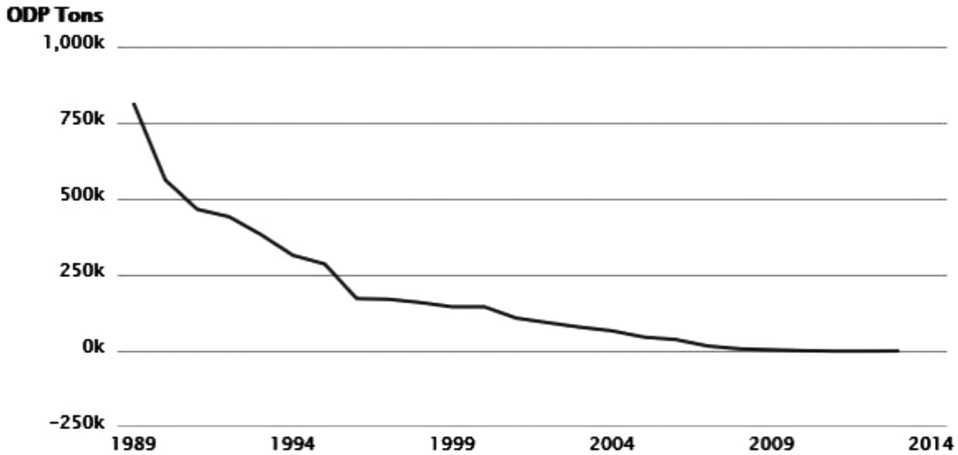
A vegyipar által előállított halogénezett szénhidrogének – freonok, halonok – felhasználása a múlt század közepétől többek között szórópalackokban hajtógázként, hűtőgépekben hűtőközegeként, műanyaggyártásban habosító anyagként, tűzoltásban oltóanyagként hódított teret. E vegyi anyagoknak nem látszott sem-

miféle ártalmas hatásuk egészen addig, ameddig az 1970-es évek elején Paul J. Crutzen vizsgálni nem kezdte, hogy a természetes hatások mellett milyen emberi tevékenységek okozhatják a magaslégköri ózon mennyiségének csökkenését.

Az ózonréteg veszélyeztetése már az 1972. évi ENSZ-konferencián is vitatéma volt (Engfeld, 2009), majd Mario J. Molina és Sherwood F. Rowland (1974) felvetette, hogy a magaslégkörbe is eljuthatnak a freonok, és ott előidézhetik a háromatomos ózonmolekulák elbomlását. Laboratóriumi vizsgálatok, majd a nagy magasságban végzett mérések eredményei is alátámasztották ezt az állítást. E felvetés ellen viszont az érintett vegyi anyagok előállításával és alkalmazásával foglalkozó cégek képviselői saját vizsgálataikra is hivatkozva nagyon határozottan léptek fel. Az ózonréteggel foglalkozó más szakértők, így például Michael E. McElroy, James E. Lovelock nem látták még kellően igazoltnak ezt az ok-okozati kapcsolatot vagy legalábbis annak veszélyes mértékét, s emiatt további kutatásokat tartottak szükségesnek. E vita tétje az volt, hogy a becsült kockázatok alapján kell-e korlátozni a vegyi anyagok engedélyezését, avagy meg lehet várni ezzel a további vizsgálatok eredményeit (Litfin, 1994). *Az ózonréteg károsodásával járó jelentős kockázat elismerése kerekedett felül: 1978–79-ben az USA-ban, Kanadában, Dániában, Norvégiában, Svédországban legalábbis a freon-hajtógáz használatát betiltották a szórópalackokban.*

1981-ben az ENSZ környezetvédelmi szervezetének (UNEP) égisze alatt tárgyalások kezdődtek egy egyezmény kidolgozásáról, amelyet végül 1985. március 22-én fogadtak el. E nemzetközi megállapodás az egyértelmű bizonyítékok hiányában az *elővigyázatosságra* hivatkozott: olyan intézkedések meghozatalára ösztönözte a részes feleket, amelyekkel korlátozhatók vagy megelőzhetőek bizonyos emberi tevékenységek, ha azokról kiderül, hogy van vagy valószínűsíthető az ózonrétegre gyakorolt káros hatásuk. Ekkor még nem fogalmazódott meg semmilyen konkrét kibocsátás-szabályozási cél. Csak ilyen kompromisszumokkal lehetett elérni a jelentős kockázat meglétét állító és az azt kétségbe vonó felek közötti megegyezést. E vitában a döntő fordulatot az jelentette, amikor 1985. május 16-án napvilágot látott a brit déli-sarkvidéki expedíció tudományos közleménye *a magaslégköri ózonkoncentráció nagymértékű csökkenéséről a megelőző mintegy két évtized mérési adataihoz képest, és ami összefüggésbe volt hozható a légköri freonkibocsátással* (Farman et al., 1985).

Ennek „drámái” hatása volt: felgyorsultak a nemzetközi tárgyalások, és 1987-ben megszületett a *Montreali Jegyzőkönyv*. Ez ugyan még mindig az elővigyázatossági megközelítésre hivatkozott, de már nagyon konkrét, számszerűsített és határidőkhöz kötött kibocsátáskorlátozó és -csökkentési célokat tartalmazott. Mindenekelőtt az ózonkárosító freonok termelése, használata és kibocsátása gyorsan mérséklődött (5. ábra). A későbbiek során a vegyi anyagok körét bővítették, a kötelezettségeket többször szigorították, ennek és a hatékony végrehajtásnak köszönhetően kezd fokozatosan „begyógyulni” az ózonréteg (Faragó, 2017).



5. ábra. Az ózontkárosító freonok (CFC-k) globális felhasználása (ODP: ózontkárosító-potenciál tonna egyenértékben) 1989–2013 (UNEP-GEG, Live Tracker)

Az ózontkárosító anyagokkal kapcsolatos tudományos eredményeikért 1995-ben Paul J. Crutzennek, Mario J. Molinának és Frank S. Rowlandnak ítelték oda a kémiai Nobel-díjat.

AZ ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZOK

Az emberi tevékenységekből eredő légköri szén-dioxid-kibocsátások jelentősebb mértékben az iparosodással kezdődtek, de e környezetterhelés üteme is alapvetően a múlt század közepétől növekedett meg. Ennek fő hajtóerői lényegében ugyanazok, mint amelyek az eddig tárgyalt problémákat eredményezték (népeségrobbanás, a termelési és fogyasztási volumen gyors emelkedése). E kibocsátások lehetséges következményeiről régebben is megjelentek közlemények, de a kockázatokra a tudomány köreiben az 1950-es évek végétől, az 1960-as évek elejétől kezdtek jelentősebb figyelmet fordítani a pontosabb adatok, becslési módszerek, modellek birtokában.

Miközben az antropogén szén-dioxid-kibocsátás és e nyomgáz légköri koncentrációja határozottan emelkedett, a globális felszíni átlaghőmérséklet a 19. század végétől mutatkozó emelkedő tendenciája az 1950-es évtizedtől „megtört”. A kutatók két táborra oszlottak: egyfelől, akik a hosszabb idejű megfigyelésekre és az elméleti becslésekre alapozva a koncentrációnövekedés miatt már néhány évtizedes távlatban jelentős éghajlatváltozást – globális felmelegedést – vetítettek előre, másfelől, akik a jelenséget egy újabb eljegesedési időszak kezdetének

vélték. Charles D. Keeling (1970) szerint a 21. században „az emberiség szembe-sülhet az éghajlatváltozás veszélyével, amit a fosszilis tüzelőanyagokból eredő légköri szén-dioxid növekedése fog okozni”. Bert Bolin és Walter Bischof (1970) pedig már számszerű becsléseket tett közzé. Ezzel szemben például George Kukla és Robley Matthews (1972) szerint valójában megkezdődött az újabb eljegesedési periódus (glaciális).

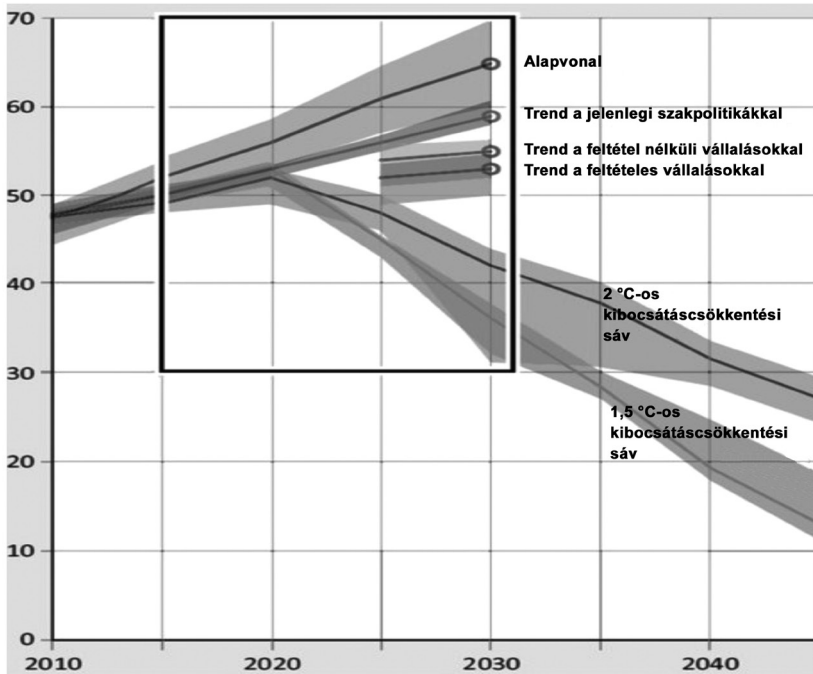
E vita többé-kevésbé nyugvópontra jutott, amikor az 1979. évi genfi nemzetközi konferencián egyetértés alakult ki, hogy sokkal részletesebb vizsgálatokra van szükség egy átfogó világprogram keretében, és mielőbb tisztázni kell, milyen következményei lehetnek a növekvő légköri szén-dioxid-mennyiségnek. A konferencián elfogadott nyilatkozat szerint: „a nagyobb légköri szén-dioxid-mennyiség hozzájárulhat a globális melegedéshez, de a változás részleteit még alig értjük” (UN, 1979).

Az ezt követő intenzív megfigyelések és kutatások eredményeképpen egyértelműbb kép rajzolódott ki az éghajlatváltozás kockázatáról, az üvegházhatású gázok szerepéről, az éghajlati rendszer összetevőinek kölcsönhatásairól. Időközben a légköri szén-dioxid-koncentráció mellett már a globális felszíni hőmérséklet évi középértékei is új rekordokat értek el. (Azóta is voltak és vannak eltérő értékelések e rendkívül összetett környezeti rendszer működéséről, a természeti és emberi hatásokról, lehetséges következményeiről. Legutóbb a vita akörül alakult ki, hogy a századforduló után a felszíni középhőmérséklet növekedése egy időre abamaradt; ezt azonban újabb maximumok követték.)

A tudományos bizonyosság megerősödésének hatására kibontakozó nemzetközi klímapolitikai együttműködést többek között a következő események fémjelezték: 1988-ban megalakult az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC), az ENSZ Közgyűlés 1990-es határozata nyomán megkezdődtek a nemzetközi tárgyalások, 1992-re pedig elkészült az éghajlatváltozással foglalkozó keretegyezmény.

Ugyan továbbra is sokat kell tenni a globális éghajlati rendszer minél pontosabb megértéséért, jövőbeli állapotának becsléséért, de ettől kezdve már nem a különböző tudományos teóriákat képviselők vitája, hanem *a bizonyosság elért szintje alapján tett ajánlások és az e globális probléma kezelésére irányuló célok, intézkedések közötti összhang, illetve annak hiánya lett a nemzetközi együttműködés kritikus kérdése.* (E tudományos „felismerési” folyamatban az IPCC szerepét 2007-ben Nobel-békedíjjal ismerték el.)

Eddig négy nemzetközi megállapodás kötöttett ebben az ügyben: az ENSZ-keretegyezmény (1992), a *Kiotói Jegyzőkönyv* (1997), ez utóbbi *Dohai Módosítása* (2012) és a *Párizsi Megállapodás* (2015). Az ezekben foglalt, majd ténylegesen elért célok, megtett lépések – mindenekelőtt a kibocsátásszabályozás terén – nagy mértékben eltérnek azoktól a tudományos becslésekre támaszkodó ajánlásoktól, amelyek alapján kellő valószínűséggel még észszerű mértékben korlátozható e globális folyamat, azaz a globális melegedés 2 °C, illetve 1,5 °C alatt lenne tart-



6. ábra. Az üvegházhatású gázok kibocsátása (GtCO₂e): beavatkozások nélkül és a meglévő beavatkozásokkal becsült trend (felső trendvonalak); a Párizsi Megállapodás alapján megajánlott és feltételes vállalásokkal (középső trendvonalak), +2 °C és +1,5 °C kritériumhoz szükséges kibocsátáscsökkentés sávja (alsó trendvonalak) (UNEP 2017b)

ható (6. ábra). A Párizsi Megállapodás már minden fél számára megszabott klímapolitikai feladatokat, de konkrétumok híján egyelőre ez sem garantálja a globális környezetterhelés szükségesnek látszó mértékű mérséklését (Faragó, 2016; UNEP, 2017b). E globális probléma tudományos felismerési és politikai „elismerési” szintje között mutatkozó számottevő különbség egyik lényeges oka, hogy a változást kiváltó és a hatásviselő oldalon szinte mindegyik gazdasági kulcságazat érintett, amelyeknél viszonylag rövid időn belül jelentős kibocsátáscsökkentési és/vagy alkalmazkodási intézkedéseket kell(ene) hozni.

ÁLTALÁNOS KÖVETKEZTETÉSEK

Az emberi tevékenységek által akaratlanul okozott káros környezeti hatások felismerése, annak nyomán a probléma politikai elismerése – a megfelelő intézkedések szükségességének elfogadása – különösen akkor „érzékeny” ügy, ha az érintett tevékenységekhez, azok eredeti céljaihoz erős érdekek fűződnek, és a káros hatások-

nak nemzetközi vetületei is vannak. A bemutatott esetek jelzik, hogy a „mellékhatások” meglétével vagy az azokat korlátozó teendőkkel kapcsolatban általában milyen jellegű kétségek, ellenérvek merülnek fel, majd a pontosabb tényadatok, terjedési vizsgálatok, ok-okozati hatáselemzések nyomán miképpen erősödhet meg a tudományos bizonyosság, majd a szándék az észszerű beavatkozásokra.

A másféle adatokra, oksági viszonyokra hivatkozó eltérő, illetve szkeptikus érvek kifejezetten előnyösek is lehetnek a problémával kapcsolatos tudományos igazolás folyamatában és akárcsak elővigyázatos megfontolásból a megfelelő válszintézkedések meghatározásában. Ezekből különböző érvek és érdekek is motiválhatják a döntéseket – így a hatásért viselt felelősség vagy a „környezetbarát” megoldásra való áttérés gazdasági, technikai vonatkozásai –, amelyek sajátos módon tükröződhetnek az intézkedésekben, nemzetközi megállapodások célkitűzéseiben, előírásaiban is.

A bemutatott esetek mindenképpen tanulságosak abban a tekintetben, hogy mekkora a jelentősége az újabb keletű társadalmi-gazdasági tevékenységek, ipari eljárások kapcsán is a minél teljesebb körű előzetes hatásfelmérésnek, illetve akár az utólagos belátásnak és korrekciónak, ha és amikor már kellő mértékben igazolt a nem szándékolt, de súlyos környezeti és egészségi hatás lehetősége vagy megléte.

IRODALOM

- Bolin, B. – Bischof, W. (1970): Variations of the Carbon Dioxide Content of the Atmosphere in the Northern Hemisphere. *Tellus*, 22, 431–442. DOI: 10.1111/j.2153-3490.1970.tb00508.x, <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3402/tellusa.v22i4.10236>
- Bolin, B. et al. (1972): *Air Pollution across National Boundaries: The Impact on the Environment of Sulfur in Air and Precipitation*. Stockholm: Norstedt
- Engfeldt, L-G. (2009): *From Stockholm to Johannesburg and beyond*. Sweden: MFA
- EMEP (2016): *Air Pollution Trends in EMEP Region*. NILU: EMEP: CCC-Report 1/2016, <https://www.ivl.se/download/18.7e136029152c7d48c202d81/1466685735821/C206.pdf>
- Faragó T. (2015): A folyékony ezüst tündöklése és bukása. *Magyar Kémikusok Lapja*, 70, 1, 11–14., 70, 2, 43–47. <http://real.mtak.hu/62028/>
- Faragó T. (2016): The Anthropogenic Climate Change Hazard. *Időjárás*, 120, 1, 1–40. <http://real.mtak.hu/60726/>
- Faragó T. (2017): Az ózonréteg megmentése. *Magyar Tudomány*, 178, 1105–1113. <http://www.magtud.iif.hu/2017/09/12.htm>
- Farman, J. C. et al. (1985): Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature*, 315, 207–210. DOI: 10.1038/315207a0
- Geisz, H. N. et al. (2008): Melting Glaciers: A Probable Source of DDT to the Antarctic Marine Ecosystem. *Environmental Science & Technology*, 42, 11, 3958–3962. DOI: 10.1021/es702919n, <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es702919n>
- Keeling, C. D. (1970): Is Carbon Dioxide from Fossil Fuel Changing Man’s Environment? *Proceedings of the American Philosophical Society*, 114, 1, 10–17. http://shadow.eas.gatech.edu/~kcobb/warming_papers/keeling70.pdf

- Kenworthy, E. W. (1972): DDT Banned in U.S. *New York Times*, 15 June 1972. 1. <https://www.nytimes.com/1972/06/15/archives/ddt-banned-in-us-almost-totally-effective-dec-31-ruckelshaus.html>
- Kukla, G. J. – Matthews, R. K. (1972): When Will the Present Interglacial End? *Science*, 178, 190–202. DOI: 10.1016/0033-5894(72)90056-7
- Levy, M. A. (1995): International Co-operation to Combat Acid Rain. In: *Green Globe Yearbook*. Oxford Univ. Press, 59–68. https://www.researchgate.net/publication/242676527_International_Co-operation_to_Combat_Acid_Rain
- Litfin, K. T. (1994): *Ozone Discourse: Science and Politics in Global Environmental Cooperation*. Columbia University Press
- Menz, F. C. – Seip, H. M. (2004): Acid Rain in Europe and the United States: An Update. *Environmental Science and Policy*, 7, 253–265. DOI: 10.1016/j.envsci.2004.05.005
- Molina, M. J. – Rowland, S. F. (1974): Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom-catalysed Destruction of Ozone. *Nature*, 249, 810–812. <http://ozone.unep.org/pdf/stratospheric.pdf>
- Needleman, H. (2000): The Removal of Lead from Gasoline: Historical and Personal Reflections. *Environmental Research, Section A*, 84, 20–35. DOI: 10.1006/enrs.2000.4069
- Shy, C. M. (1990): Lead in Petrol: The Mistake of the 20th Century. *World Health Statistics Quarterly*, 43, 3, 168–176.
- Sokolovsky, V. (2004): Fruits of a Cold War. In: Sliggers, J. – Kakebeeke, W. (eds.): *Clearing the Air: 25 years of the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*. Geneva: UN, 7–15.
- Storch, H. et al. (2002): Reassessing past European Gasoline Lead Policies. *EOS*, 83, 36, 393–399.
- Sweeney, E. M. (1972): *Consolidated DDT Hearing*. Washington, DC: EPA, https://www.thenewatlantis.com/docLib/20120926_SweeneyDDTdecision.pdf
- UN (1979): *Declaration of the (First) World Climate Conference, Geneva*. <https://www.documentcloud.org/documents/3467449-First-World-Climate-Conference-Declaration.html>
- UNEP (2017a): *DDT – Highlights of the Effectiveness Evaluation*. UNEP
- UNEP (2017b): *The Emissions Gap Report*. Nairobi: UNEP, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22070/EGR_2017.pdf
- Wangberg, I. et al. (2001): Atmospheric Mercury Distribution in N-Europe and in the Mediterranean Region. *Atmospheric Environment*, 35, 3019–3025. DOI: 10.1016/S1352-2310(01)00105-4, http://www.macehead.org/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=775&Itemid=73
- Weiss, P. et al. (2007): Quantifying Asian and Biomass Burning Sources of Mercury. *Atmospheric Environment*, 41, 4366–4379. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.01.058, <https://bit.ly/2m5CIiT>