

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS, HATÁSAI ÉS AZ INTÉZKEDÉSEK AZ IPCC NEGYEDIK ÉRTÉKELŐ JELENTÉSE TÜKRÉBEN

NOVÁKY Béla

Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, Természetvédelmi és Tájökológiai Tanszék
2103 Gödöllő, Páter Károly u 1., e-mail: novaky.bela@kti.szie.hu

Kulcsszavak: globális melegedés, üvegházhatású gázok, kibocsátási forgatókönyv, éghajlati forgatókönyv, hatások, alkalmazkodás, megelőzés

Összefoglalás: Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (IPCC) 2007-ben közzreadott Negyedik Értékelő Jelentése megállapította, hogy a Föld éghajlata az ipari forradalom óta eltelt időben melegedett. A melegedés nagyon valószínű oka, hogy a különféle emberi tevékenységek során a növekszik a légkörbe jutó, a természetes üvegházhatást fokozó üvegházgázok, mindenekelőtt a szén-dioxid mennyisége. Amennyiben a kibocsátás a jelenlegi vagy azt meghaladó ütemben folytatódik, a globális melegedés mértéke a 21. század végére elérheti a 2,5–5,5 °C-ot. A globális melegedés hatással lesz a regionális éghajlatra, a természetes fizikai és biológiai rendszerekre, a humán rendszerekre. Számos jelzés van arról, hogy a változások máris elkezdődtek. A melegedés következtében olvad a sarkkörüli tengerjég, csökken a gleccserek és a permafroszt kiterjedése, emelkedik a tengerek vízszintje, a száraz éghajlatú térségekben csökken a hasznosítható vízkészlet, gyakoribbá válnak a szélsőséges időjárási jelenségek (aszály, árvizek). Az éghajlatváltozás a nem éghajlati hatásokkal (földhasználati változások, szennyezés, a természeti erőforrások túlzott igénybevétele) együtt veszélyezteti számos ökoszisztéma fennmaradását, különösen a 2–3 °C-ot meghaladó globális melegedésnél. Folytatódik a biogeográfia övezetek eltolódása, pl. erdők északi terjeszkedése a tundra rovására, a szubtrópusi területek bővülése a trópusok rovására. Az éghajlatváltozás veszélyezteti a biodiverzitást, az eddig ismert fajok 20–30%-a kipusztulhat. A tengerek melegedése miatt eltűnhet a koralltelepek jó része, a sarki jég olvadása miatt szűkülhet egyes fajok élettere, a tengervízszint emelkedése miatt veszélybe kerülnek a parti mangrove-erdők. A humán szférában nő a vízhiányos területeken élők száma, hosszabb távon romlik az élelmiszer-ellátás biztonsága, nő a fertőzőes betegedések kockázata. A tengerszint emelkedése több millió parti lakos biztonságát veszélyezteti. Az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásainak kivédésére vagy csökkentésére két út kínálkozik: az egyik az éghajlatváltozás mérséklése, a másik az új éghajlati viszonyokhoz való alkalmazkodás.

Bevezetés

Az 1970-es évek óta mind több észlelés utalt az éghajlat melegedését okozó üvegházgázok légköri koncentrációjának növekedésére. A szén-dioxid légköri koncentrációja az 1970-es évek közepén elérte a 330 ppm értéket, ami 20%-kal magasabb, mint az ipari forradalom előtt volt. A Meteorológiai Világszervezet (WMO) állásfoglalása szerint a növekedés egyaránt lehet a természetes változékonyság és az emberi tevékenységek hatásainak következménye. Az első Éghajlati Világkonferencia (Genf, 1979) fogalmazása egyértelműbb: a légköri szén-dioxid tartalom növekedésének fő oka a fosszilis tüzelőanyagok használata, az erdőirtás és a földhasználat-változás, a szén-dioxid légköri növekedése pedig a melegedés fő kiváltó oka. A WMO és az ENSZ Környezeti Problémákkal Foglalkozó Szervezete (UNEP) 1980-ban elindította az Éghajlati Világprogramot (WCP), 1988-ban létrehozta az Éghajlat-változási Kormányközi Testületet (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Az IPCC célja és küldetése a környezeti megfigyelések és a kutatási eredmények alapján tudományosan megalapozott információk összegző értékelése a politikusok számára az éghajlatváltozásról, a kiváltó tényezőkről, az éghajlatváltozás várható következményeiről, a következményekre való felkészülés, és az éghajlatváltozás megelőzésének vagy mérséklésének lehetőségeiről. A testület egyfajta híd szerepét tölti

be a tudomány és a politika között. Az IPCC alapítását követően a mai napig négy ún. Értékelő Jelentést állított össze, a legutóbbit 2007-ben (FARAGÓ 2007).

- Az *Első Értékelő Jelentés* (FAR, IPCC 1990) szerint biztosak lehetünk abban, hogy az emberi tevékenység okozta kibocsátások miatt növekszik az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja, ami a felszín közeli légkör melegedését okozza, azonban a hatások terén még sok a bizonytalanság. A jelentés javasolta az üvegházgázok kibocsátásának csökkentését, támogatta az ENSZ keretében az Éghajlat-változási Keretegyezmény (UNFCCC) létrehozását, közreműködött annak a berlini konferenciának (Conference of the Parties, COP) létrejöttében, amelynek résztvevői 1995-ben megalkották az üvegházgázok 2000 utáni kibocsátásának korlátozására az ipari országok által megkötendő szerződés feltételeit (berlini felhatalmazás, mandátum).
- A *Második Értékelő Jelentés* (SAR, IPCC 1995) az időközben jelentősen megnövekvő számú megfigyelés és a modellezések alapján kijelentette, hogy az emberi tevékenység hatással van a Föld éghajlatára. Az Értékelő Jelentés publikálását követően számos speciális jelentés készült a különböző eredetű (repülés, földhasználat, ipari technológiák) és mértékű kibocsátásoknak a globális melegedésre gyakorolt hatásaira. A jelentés kulcsfontosságú adatokat szolgáltatott a kiotói egyezmény (1997) elfogadásához vezető tárgyalások számára.
- A *Harmadik Értékelő Jelentés* (TAR, IPCC 2001) megállapította, hogy az emberi hatás okozta várható hőmérsékleti növekedés a 21. században lényegesen nagyobb lehet, mint bármikor korábban, a globális melegedés nyomán nagy térségekre kiterjedő, jelentős következményekkel járó változások indulhatnak el. Ezért is tartotta a jelentés különösen fontosnak a kiotói vállalások hatályba lépését.
- A *Negyedik Értékelő Jelentés* (AR4, IPCC 2007) szerint az éghajlatváltozás máris jelen van, és amennyiben az üvegházgázok kibocsátásában nem történik mérséklés, úgy annak jelentős következményei várhatók a 21. század végére. Tanulmányunk az IPCC Negyedik Értékelő Jelentésének legfőbb következtetéseit mutatja be.

A Negyedik Értékelő Jelentés munkálatai, a korábbiakhoz hasonlóan, három munkacsoportban (working group) folytak. Az első munkacsoport (WG I) foglalkozott a globális melegedéssel, az éghajlatváltozással, a kiváltó okokkal, a második munkacsoport (WG II) a lehetséges következményekkel és az alkalmazkodás lehetőségeivel, a harmadik munkacsoport (WG III) a melegedést okozó légköri kibocsátások visszafogásának és mérséklésének lehetőségeivel. Mindhárom munkacsoport több száz oldalas jelentést készített, a legfontosabb következtetésekről egy rövid szakmai összefoglaló (Technical Summary, TS), és egy még rövidebb összefoglaló készült a politikus döntéshozók számára (Summary for Policymakers, SPM). A három munkacsoport jelentését a Szintézis Jelentés (Synthesis Report, SYR) foglalja össze. Minden esetben nagyon fontos a jelentések tudományos hitelessége. A munkacsoportok jelentéseik során ezért szigorú szakmai szűrőkön átment, lektorált tudományos cikkeket használnak fel, a jelentések véglegesítés előtt többszakaszos bírálaton megy keresztül. Az első szakaszban maguk a jelentésírók fogalmazzák meg kölcsönösen észrevételeiket, a második szakaszban külső, felkért szakmai bírálók, a harmadik bírálati szakaszba politikai döntéshozók is bekapcsolódnak. Az észrevételekre a jelentésíróknak minden szakaszban tételesen és érdemben válaszolni kell, aminek megtörténtét ellenőrzik. A Negyedik Értékelő Jelentés talán legfontosabb dokumentumának, a politikai döntéshozók számára készített jelentés (SPM) megvitatása, majd jóváhagyása az IPCC tagországok kormányzati képviselőinek jelenlétében, nyílt ülésen zajlik. A jelentéstervezet megvitatása soronként történik, elfogadásához valamennyi jelenlévő közös akarata szükséges.

A Negyedik Értékelő Jelentés erősen hozzájárult ahhoz, hogy az IPCC – Al Gore-lal megosztva – 2007-ben megkapta a Nobel-békedíjat, a díjat odaítélő bizottság megfogalmazása szerint „azért az erőfeszítésért, amit az ember okozta éghajlatváltozásra vonatkozó nagyobb ismeret létrehozása és terjesztése, valamint a változás megaka-

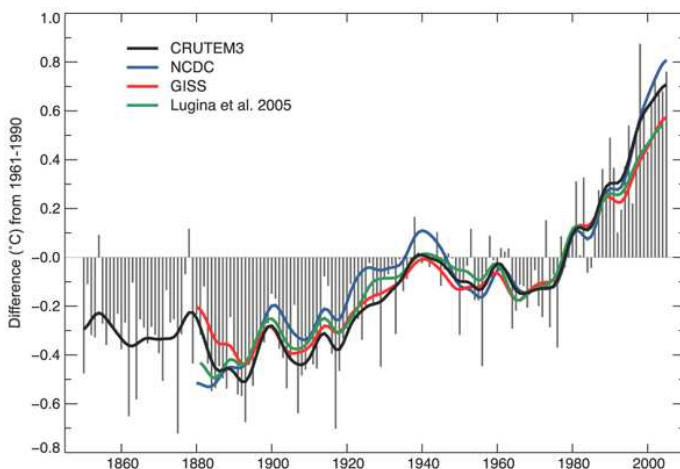
dályozására szolgáló intézkedések megalapozása érdekében fejtettek ki. ... Több mint száz ország tudósainak és hivatali képviselőinek ezrei működtek közre azért, hogy tisztábban lássuk a felmelegedés valódi mértékét.”

Az IPCC Negyedik Értékelő Jelentés készítésében három magyar kutató vett részt. A második munkacsoport 12. Európa fejezetében koordinátor-szerzőként Nováky Béla, a Szent István Egyetem egyetemi docense, a 18. Alkalmazkodás és megelőzés kapcsolata fejezetében Tóth L. Ferenc a Budapesti Corvinus Egyetem, jelenleg a bécsi Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szakértője, vezető szerzőként, a harmadik munkacsoport 6. Lakó és középületek fejezetében Ūrge-Vorsatz Diana, a Közép-Európai Egyetem (CEU) egyetemi tanára ugyancsak koordinátor-szerzőként vett részt.

Éghajlatváltozás, okai és következményei az ipari forradalmat követő időszakban

A Föld éghajlatának melegeése az ipari forradalom óta

A Föld éghajlata melegsik. A globális évi középhőmérséklet az 1906-2005 közötti száz év alatt 0,74 °C-kal emelkedett, üteme a legutóbbi ötven év alatt közel kétszerese volt a teljes száz év alatti növekedésnek (1. ábra). A legutóbbi száz év legmelegebb tíz évéből kilenc a legutóbbi évtizedre esett, a 20. század második felének ötven éve nagy valószínűséggel a legmelegebb volt az utolsó 500 évben, és valószínűleg az utolsó 1300 évben. Az évi középhőmérséklet mind az óceánok, mind a szárazföldek térségében növekedett. A Föld éghajlatának az ipari forradalmat követő, napjainkban felerősödő melegeése nagy valószínűséggel elfogadott, az IPCC Negyedik Értékelő Jelentés megállapítása szerint nem vitatható tény (IPCC 2007a). Az elmúlt évtizedekben a Föld egészét tekintve közel 29 ezer olyan változást, tendenciát regisztráltak a természetes fizikai és biológiai rendszerekben, amelyek 90%-a konzisztens a globális melegeedéssel, egymás között jó összhangban vannak, együttes bekövetkezésük aligha volna magyarázható csupán az éghajlat természetes változékonyságával (IPCC 2007b).



1. ábra Az északi félteke átlagos évi középhőmérsékletének alakulása az elmúlt ezer évben (IPCC 2007a)
Figure 1. Average annual mean temperature of the northern hemisphere in the past 1000 years (IPCC 2007a)

A melegedést kiváltó okok

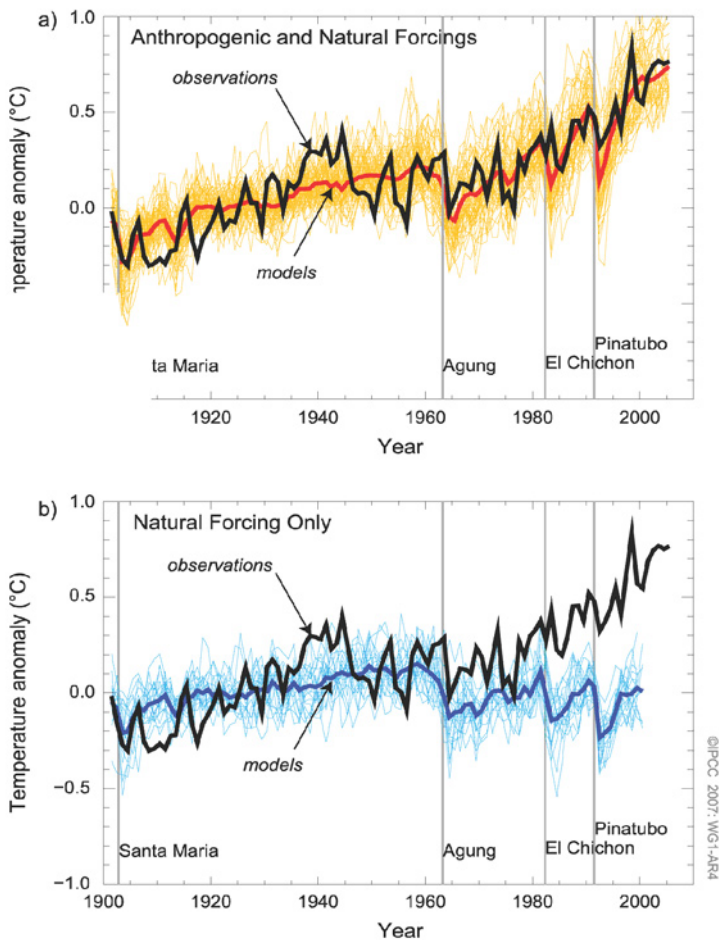
Az IPCC Negyedik Értékelő Jelentése másik fontos megállapítása szerint „nagyon valószínű, hogy a globális középhőmérsékletben a 20. század közepétől észlelt növekedés jórészt az antropogén üvegházhatású gázok koncentráció emelkedésének tudható be” (IPCC 2007a). Az ipari forradalmat követően az üvegházgázok légköri mennyisége exponenciális ütemben emelkedett szoros összefüggésben a népességnek és a népesség élelem- és energia-igényének növekedésével. Az üvegházgázok ekvivalens szén-dioxidban kifejezett kibocsátási üteme, főként az energiaipar, az ipar és közúti közlekedés kibocsátása miatt, 1970–2004 között 80%-kal nőtt. Az energiaipar jelenlegi kibocsátása annak ellenére magasabb, hogy lényegesen javult az energiahasznosítás hatékonysága, mivel ez utóbbi nem ellensúlyozta a lakosság számának növekedéséből és a termelés bővüléséből eredően növekvő energiaigényt (IPCC 2007c). A növekvő kibocsátás következtében a legfontosabb üvegházgáz, a szén-dioxid légköri koncentrációja az elmúlt 200 évben több mint 30%-kal emelkedett, és mára elérte a 380 ppm értéket (IPCC 2007a), magasabbat, mint az elmúlt 20 millió évben bármikor. Nőtt a légkör hűtését okozó antropogén eredetű aeroszolok légköri koncentrációja is. A légkört szennyező kibocsátások mellett, kisebb mértékben, más emberi tevékenységek (növényzet megváltozása a földművelés térhódítása miatt a szubtrópusi és trópusi éghajlatú térségekben, a szaporodó állatállomány miatti túllegeltetés, a trópusi övezet nagyarányú őserdő-irtásai, urbanizáció) is befolyásolták az éghajlat alakulását.

Az emberi tevékenységek a légkör sugárzási viszonyainak, mindenekelőtt a planetáris albedó és az üvegházhatás megváltoztatásával hatnak az éghajlatra, és kényszerítik az éghajlatot új állapotra, ezért e hatásokat az éghajlati rendszer külső sugárzási kényszereiként értelmezik, nagyságukat Wm^{-2} egységben fejezik ki. A Negyedik Értékelő Jelentés szerint az antropogén eredetű melegedést (pozitív) és hűlést (negatív) kiváltó külső sugárzási kényszer eredője $1,60 \text{ Wm}^{-2}$ értékre becsülhető (IPCC 2007a).

Az antropogén hatások, és mindenekelőtt az üvegházgázok és az aeroszolok kibocsátásának növekedése és a globális melegedés közötti ok-okozati összefüggést bizonyítják az éghajlati modellekkel a múlt éghajlatára utólag végzett ún. kontroll-szimulációk. A globális éghajlati modellekkel (GCM) a múlt éghajlatára végzett számítások igazolják, hogy csak a természetes és antropogén hatásoknak a modellekben együttes figyelembevétele adja vissza jól (egyedül jól) a globális hőmérsékletben bekövetkezett múltbeli változásokat (2. ábra, IPCC 2007a), a természetes vagy antropogén hatásokat külön-külön figyelembevevő modellek eredményei kevésbé vagy egyáltalán nem egyeznek az észlelt értékekkel.

A globális melegedés megfigyelt következményei

A globális melegedés máris sokféle változást indított el a különféle természetes fizikai és biológiai rendszerekben, mindenek előtt hatással volt a regionális éghajlatra. A mérsékelt éghajlati övben 1960 óta erősödtek a nyugati szelek. Egyes csapadéokban ma is gazdag térségben (Észak- és Dél-Amerika keleti része, Észak-Európa, Ázsia északi és középső részei) a csapadék szignifikánsan növekedett 1900–2005 között, másutt (Földközi-tenger környezete, Száhel-övezet, Afrika déli része, Dél-Ázsia egyes vidékei) csökkent. A csökkenő csapadék magasabb hőmérséklettel párosulva intenzívebb, hosszabb ideig tartó, nagyobb térségre kiterjedő aszályokat váltott ki különösen az 1970-es éveket követően. A szárazföldi területek nagy részén nőtt a nagycsapadékok gyakorisága, ami egybecseng a légköri vízgőztartalomnak a felmelegedés következtében bekövetkező, megfigyelt



2. ábra A globális középhőmérséklet tényleges (folytonos fekete vonal), a természetes hatások figyelembe vételével (alsó ábrarész, kék vonal), és a természetes és antropogén hatások figyelembe vételével együttesen (felső ábrarész, piros vonal) modellezett időszora (IPCC 2007a)

Figure 2. Time scales of global mean temperature: actual (constant black line); modelled by considering natural effects (bottom figure, blue line), and by considering both natural and anthropogenic effects (top figure, red line) (IPCC 2007a)

emelkedésével. Az utóbbi 50 évben változásokat észleltek a szélsőséges hőmérsékletekben is: a hideg napok és éjszakák, a fagyok ritkábbak lettek, a forró éjszakák és a hőhullámok gyakoribbá váltak.

Az óceánok vízhőmérséklete 1961 óta legalább 3000 m mélységig nőtt, ami a tengervíz hőtágulását okozta és hozzájárult a tengervízszint emelkedéséhez. A vízszint emelkedése más antropogén hatásokkal együtt a parti ökoszisztémák (sósomcsarak, mangrove-erdők) fogyatkozását, fokozódó romlását okozta. A tengerek növekvő vízhőfoka következtében az 1970-es évektől nőtt az észak-atlanti területek trópusi ciklonjainak intenzitása, de éves számuk nem mutat lényeges változást. A vízhőmérséklet emelkedése, a jégtakaróban,

a sótartalomban, az oxigénszintben, a tengeri áramlatokban bekövetkezett változások hatással voltak több tengeri faj fenológiájára és élőhelyeire. A vízhőmérséklet emelkedése kedvezett a melegkedvelő algák és planktonok, egyes halfajok élőhelyi terjeszkedésének. A melegkedvelő planktonok és halak élőhelyei közel 10° -nyi szélességgel (1000 km-rel) helyeződtek át északi irányba négy évtized alatt az Atlanti-óceán északkeleti részén és az Északi-tengerben. Ugyanitt megfigyelhető a hidegkedvelő planktonok csökkenése, ami kedvezőtlenül hatott a tőkehal szaporulatra.

Az utóbbi években megfigyelhető a mérsékelt meleg égövre jellemző evezőlábú rákfaj, a *Calanus Helgolandicus* terjeszkedése. Anglia délnyugati partjainál mind gyakoribb a fattyúmakréla, aranydurbincs, új melegvízi fajok is megjelentek, mint az íjhal, a gömbhal, vagy az óceáni naphal, amely utóbbit a medúzák és algák elszaporodása vonzotta ide. Csökkent egyes, a mérsékelt hideg égövre jellemző faj, így a *Calanus finmarchius* elterjedése és egyedszáma.

Különösen látványosak a jégborítottságban beállt változások. Az északi-sarkvidéki (arktikus) tengerek jégborítottsága évtizedenként 2,7%-kal csökkent, a szárazföld magashegységeiben a gleccserek jelentősen visszahúzódtak, esetenként teljesen eltűntek. A Kilimandzsárót 1912-ben még 12,1 km²-en borító jégtakaró 2000-re 2,2 km²-re csökkent, a Gangesz egyik forrását jelentő Gangtori-gleccser évente 23 m-rel húzódik vissza, a svájci Alpokban 1850-ben a gleccserek kiterjedése 4474 km² volt, ami 1970-re 2903-km²-re csökkent. Csökkent az északi félteke fagyott talajú (permafroszt) területeinek kiterjedése, az évi legnagyobb kiterjedésük 1990 óta 7%-kal. A grönlandi, és kisebb mértékben az antarktisi jégtakaró olvadása tovább növelte a tengerszinteknek a víz hőtágulásából adódó emelkedését, ami a 20. században 17 cm-t tett ki. A gleccserek olvadását követően nőtt a tavak száma és felülete, a gleccserekből táplálkozó vízfolyások vízhozama. Az Atlanti-óceánba és melléktengereibe ömlő eurázsiai folyók vízhozama az 1930-as évektől emelkedett. A hóolvadásból táplálkozó vízgyűjtőkön a téli melegedés miatt a hótakaró korábban kezd olvadni, és ezért korábban jelentkeznek a tavaszi áradások. Az Alpok alacsonyabban fekvő részein számottevően csökkent a hótakarós napok száma. A sarkokhoz közeli tengeri jégborítottságban beálló változások hatással voltak az élővilágra, amelynek legszembetűnőbb következménye, hogy egyes pingvinfajok (pl. Adélie-pingvinek) délebbre vándorolnak, az Északi-sark közelében a jegesmedvék száma helyenként erősen lecsökkent. A kanadai Hudson-öbölben a jegesmedvék száma 22%-kal fogyatkozott az 1980-as évek közepétől. Az Antarktisz szubarktikus szigetein megváltozott a növények és az állatok faji összetétele.

A melegedés változásokat indított el a kontinensek szárazföldi és vízi ökoszisztémáiban. Látványos változás több, meleget kedvelő növény- és állatfaj északabbra, illetve nagyobb magasságok irányába meginduló terjeszkedése. Európában az erdők határa mind északabbra tolódik, a túlelvélő erdőket lombhullatók váltják fel. Növekedett az erdők produktivitása, ezzel együtt szénfelvevő és tároló képességük is 1950–1999 között. A melegedés és szárazodás miatt számos faj eltűnőben van korábbi élőhelyein, eltűnőben vannak egyes wetland típusok is (pl. a lappföldi ún. palsa mire). A tavak és folyók vízhőmérsékletének emelkedése hatással volt a vízminőségre, ez pedig az édesvízi fajok produktivitására és faji összetételére, megoszlására és migrációjára.

Skandináviában egyre északabbra terjeszkedik a magyal (*Ilex aquifolium*). Változások mutathatók ki az Alpok magashegységeinek vegetációjában, egyes fajok (fehér fagyöngy, *Viscum album*) mind magasabbra húzódnak. Az Egyesült Államok nyugati részén élő *Euphydryas editha* tarkalepkéfaj élőhelye a XX. század során 92 kilométerrel északabbra, illetve 124 méterrel magasabbra tolódott. Skóciában 1950 óta az erdei szemeslepké (*Parage aegeria*) ma 110 km-rel van északabbra, ez megegyezik az évi középhőmérsékletben megfigyelt 120 km-es eltolódással. A *Heodes tityrus* lepkéfaj élőhelye is északabbra tolódik, délről

kivonulóban van. Kalifornia partjainál valaha a szürke vészmadár alkotta a legnépesebb nyári tengeri madárkolóniát, azonban számuk 1987–1994 között 90%-kal csökkent. Costa Ricában 1987-től 50, egy adott területen megfigyelt békafaj közül 20 eltűnt, ami kapcsolatban áll az erdő pártartalmában beállt változásokkal. Spanyolországban a *Batrachochytrium dendrobatidis* rajzospórák parazitagomba 1970-es évektől megfigyelt terjeszkedése miatt a dajkabéka (*Alytes obstetricans*) gyakorlatilag kihalt. Európában változott számos folyami halfaj elterjedési területe (FRY 2008).

A melegedés természetes ökoszisztémákat érintő következménye a tenyészidőszak hosszabbodása. Az 1980-as évek végétől végzett műholdas megfigyelések alapján nagyfokú a bizonyosság abban, hogy számos térségben korábban indul a tavaszi rügyfakadás, a növényzet tavaszi kizöldülése. Egyes vándormadarak később kelnek útra, és korábban érkeznek, számos fészekrakó madárnál megfigyelték, hogy hamarabb rakja le tojásait. A melegedő vizekben korábban kezdődik a halak vándorlása. Változások vannak a növények fenológiájában, főleg tavasszal. Európában a magasabb földrajzi szélességek és a nagyobb tengerszint feletti magasságok tavaiban és folyóiban nőtt a fito- és zooplankton előfordulás.

Növekvő számban mutatható ki a melegedés hatása a *humán rendszerekben* is, jóllehet ebben az esetben a hatások nehezebben ismerhetők fel az alkalmazkodás, valamint a nem-éghajlati tényezők hatásainak jelentkezése miatt. Az északi félteke magasabb szélességi körein pl. korábbra tolódott egyes mezőgazdasági növények vetési ideje, nőtt a növényi kártevők károkozása, az erdőtüzek gyakorisága. Növekedett egyes természetű növény tenyészidőszaka, pl. a szőlő Franciaországban, a gyümölcsöké Németországban. Kedvezőbb természeti feltételek figyelhetők meg Európa több országában: a hőmérséklet és különösen a nyári hőmérséklet emelkedése kedvezőbb éghajlati feltételeket nyújt a silókukorica termesztéséhez Angliában és Dániában. Európában nőtt a hőhullámokkal összefüggő halálozás, a fertőző betegségeket terjesztő vektorok száma, az alacsonyabban fekvő alpesi területeken csökkent a téli sportolás lehetősége (ALCAMO et al. 2007). Megfigyelhető a kullancsok északi irányba és a tengerszint feletti egyre nagyobb magasságokra való terjeszkedése főként Észak- és Kelet-Európában. Oroszország fagyott talajú, permafroszt térségeiben csökkent a talajstabilitás, ami többfelé a meglévő infrastrukturális berendezések, építmények fokozódó károsodásával járt együtt.

Éghajlatváltozás, okai és várható következményei a 21. században

Éghajlatváltozás a 21. században

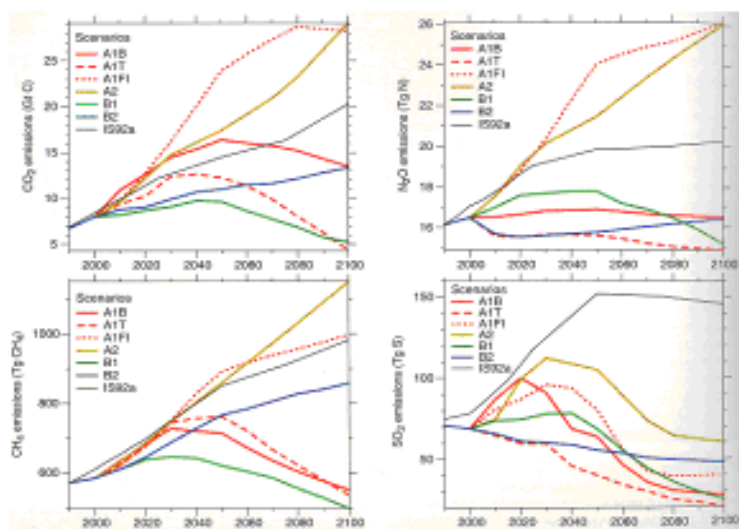
Az IPCC Negyedik Értékelő Jelentése megállapította, hogy „az üvegházgázok jelenlegi vagy azt meghaladó mértékű kibocsátása az éghajlat folytatódó melegedését, és további számos változást okozhatja a 21. században, és ezek a változások nagy valószínűséggel nagyobbak lennének, mint voltak a 20. században”.

A globális melegedés nagysága alapvetően attól függ, hogyan alakulnak az éghajlat változását kikényszerítő légköri kibocsátások. Az IPCC Harmadik és Negyedik Értékelő Jelentésében a melegedés előrejelzése az előrejelzéshez készült ún. speciális kibocsátási forgatókönyveken (SRES emissziós scenáriók) alapul (IPCC 2001, IPCC 2007a). Ezek a forgatókönyvek a gazdaság-társadalom négy alapváltozatban (A1, A2, B1 és B2) megfogalmazott, lehetséges fejlődési pályáiból indulnak ki, az egyenként is hiteles és egymás között konzisztens fejlődési pályákat leíró módon (narrative storyline) vázolják fel (1. táblázat, IPCC 2001).

1. táblázat A társadalmi-gazdasági fejlődés forgatókönyvei (ARNELL et al. 2004 nyomán)
 Table 1. Scenarios of economic and social development (based on ARNELL et al. 2004)

| | A1 | A2 | B1 | B2 |
|-----------------------------|---------------------|---------------|----------|----------|
| Népesség növekedés | Alacsony | Magas | Alacsony | Közepes |
| GDP növekedés | Nagyon magas | Közepes | Magas | Közepes |
| GDP/fő | Magas | Alacsony | Közepes | Alacsony |
| Energiafogyasztás növekedés | Nagyon magas/ magas | Magas | Alacsony | Közepes |
| Földhasználat | Alacsony/közepes | Közepes/magas | Alacsony | Közepes |
| Technológiai fejlődés | Gyors | Lassú | Lassú | Közepes |

A SRES kibocsátási forgatókönyvek igen eltérőek a társadalom-gazdaság feltételezett fejlődési pályájától függően. Nagy népességnövekedés esetén (A2), és amennyiben az energiaforrások szerkezete lényegesen nem változik, a legfontosabb üvegházgázok (széndioxid, dinitrogén-oxid, metán) kibocsátása 2100-ig és azt követően várhatóan folyamatosan nő (3. ábra). Más fejlődési pályák esetében a kibocsátás egy ideig növekszik, majd a tetőzést követően csökken, és 2100-ban alacsonyabb lehet a mai szintnél. Figyelemre méltó, hogy a kéntartalmú aeroszolok kibocsátása szinte minden forgatókönyv szerint csökken, ami a hűtőhatás csökkenésén keresztül növeli az éghajlat melegedésének lehetőségét.



3. ábra Néhány üvegházgáz (CO_2 , CH_4 és N_2O) és a kéntartalmú aeroszolok kibocsátási forgatókönyvei (IPCC 2007a)

Figure 3. Emission scenarios of some greenhouse gases (CO_2 , CH_4 and N_2O) and sulphate aerosols (IPCC 2007a)

Az üvegházgázok és aeroszolok légköri koncentrációja, eltérő késleltetési idővel, követi a kibocsátás ütemét. A késleltetett válaszadásból következik, hogy a kibocsátott anyag légköri koncentrációja a tetőzést követően egy ideig még nő. A légköri koncentráció

alakulásában a kibocsátás mellett fontos szerepük van a nyelőknek is. Az üvegházhatásért legnagyobb mértékben felelős szén-dioxid esetében számolni kell az óceán és a szárazföldi növényzet, az utóbbinál kiemelten az erdők szénfelvételével. Az erdők növekedésük során szén-dioxidot vonnak ki a légkörből, amit szervezetükbe építve, hosszú ideig, a pusztulásukig tárolnak. A szárazföldi növényzet szénelnyelő képessége azonban véges, ennek felső határát globális léptékben 40–70 ppm értékben adják meg (IPCC 2001). A kibocsátást és a nyelőket is figyelembe véve, a szén-dioxid légköri koncentrációja a 21. században valamennyi SRES forgatókönyv szerint nő, a felszín és az óceán visszacsatoló hatását is figyelembe vevő előrejelzéseknek megfelelően 2100-re 540–971 ppm közé, a nyelők általi légköri szénkivonás és a szárazföldi bioszférát érintő visszacsatolás bizonytalanságait is figyelembe véve, 490–1250 ppm közé. Ezek az értékek 75–350%-kal magasabbak, mint az ipari forradalom előtti értékek.

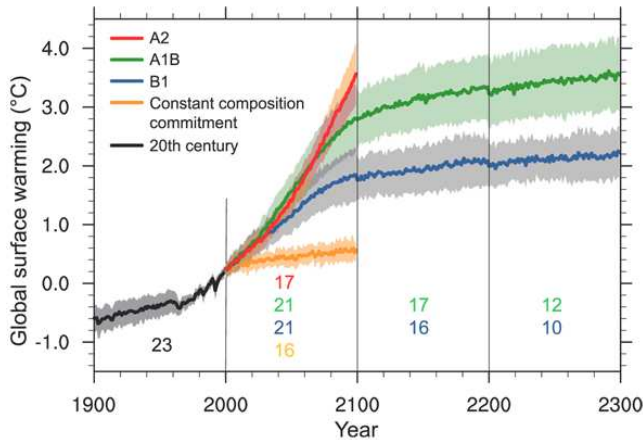
A jövő éghajlata előrejelzésének legnagyobb, az időtávlat növekedésével együtt növekvő bizonytalansága a kibocsátások bizonytalanságából fakad. További bizonytalanságot jelent az éghajlat változását kiváltó külső kényszerek hatását leíró éghajlati modellek bizonytalansága. Az éghajlatváltozás általános légkörzési modellen alapuló előrejelzései azonos kibocsátások esetén is eltérnek egymástól, az eltérés 30–50%-os is lehet az átlagos vagy a legjobbnak mondott előrejelzés körül (IPCC 2007a). Dönteni az egyes modellek között azért nehéz, mert a modellek teljes értékű, független ellenőrzése csak korlátozottan lehetséges.

Az éghajlat modellezését szolgáló általános légkörzési modellek (GCM-modellek) sokat fejlődtek a megjelenésük óta eltelt immár 30–40 év alatt. A fejlődés három vonatkozásban volt különösen jelentős, a térbeli felbontás, a visszacsatolások, és a peremfeltételek figyelembe vétele terén. A térbeli felbontás finomítását a számítógépi kapacitás gyors növekedése tette lehetővé. Az 1990-es évek elején a számítógépek kapacitása 500x500 km-es térbeli felbontást engedett meg, ma a felbontás 100x100 km-es (IPCC 2007a), de még ez a felbontás sem képes visszaadni egyes, főleg a konvektív csapadékok képződésével összefüggő folyamatokat. A visszacsatolások tekintetében a GCM-modellek a Föld felszín és az óceán hatásait az 1970-es évek végétől, a felhőzetet az 1985-es évektől, a mélyóceán és a tengerjég hatását az 1990-es évek elejétől veszik figyelembe (IPCC 1996), az 1990-es évektől képesek leírni a szulfát aeroszolok hatását, az 1990-es évek végétől a nem szulfát aeroszolokét is, valamint a szénkörforgásnak az éghajlat alakításában játszott szerepét. A 2000-es évek elejétől veszik figyelembe a növényzet szerepét. A modellek mind teljesebb mértékben képesek leírni és figyelembe venni a peremfeltételeket. A különböző peremfeltételek, mint a domborzati és a felszín adottságok (növényzet, földhasználat) egyre részletesebb térbeli felbontású leírását, parametrizációját jelentősen segítette az észlelések fejlődése a pontszerű megfigyelésektől a teret átfogó, térinformatikai alapú adatfelvétel és megjelenítés.

A bizonytalanságok ellenére a 21. századi globális éghajlatváltozás fő vonásai nagy valószínűséggel előre jelezhetők (IPCC 2007a). Hat reprezentatív kibocsátási forgatókönyvre többféle éghajlati modellel készített éghajlati forgatókönyvek becslései egybehangzóan a globális hőmérséklet növekedését jelzik előre a 21. század végére (4. ábra) az 1980–1999. évekhez képest.

A 21. század végére a legkisebb növekedés a B1 kibocsátási forgatókönyv szerint várható, 1,8 °C melegedés az éghajlati modellek átlagában az 1,1–2,9 °C tartományban, a legnagyobb növekedés az A1F1 forgatókönyv esetén, a legjobb becslés 4,0 °C a 2,4–6,4 °C tartományban. A melegedés akkor is folytatódna, amennyiben az összes üvegházhatású gáz és aeroszol légköri koncentrációja a 2000. évi szinten stabilizálódna, a melegedés várható üteme ekkor 0,1 °C/évtized lenne.

Nagyterségi megoszlását tekintve legnagyobb hőmérsékleti emelkedés a szárazföldek felett, ezen belül is a magasabb szélességi körökön várható, legkisebb az Antarktisz közeli óceánok és az Észak-atlanti óceán északi térsége felett. Várhatóan növekszik több szélsőséges időjárási jelenség gyakorisága (szélsőséges napi hőmérséklet, hóhullámok, nagycsapadékok), illetve erőssége (trópusi ciklonok). Várható, hogy az évi csapadék



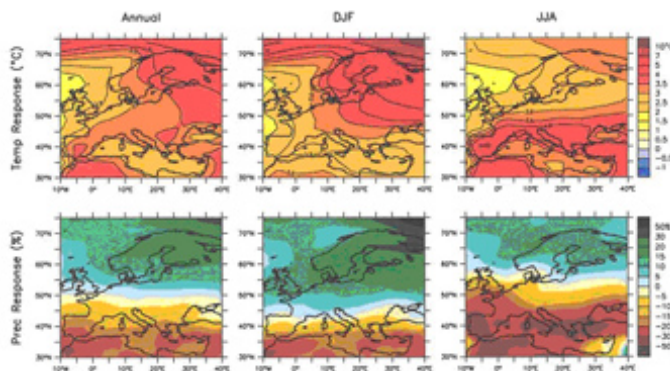
4. ábra A globális melegedés becsült értékei különböző kibocsátási forgatókönyvek (SRES) és éghajlati modellek szerint (IPCC 2007a)

Figure 4. Estimated values of global warming based on different emission scenarios (SRES) and climate models (IPCC 2007a)

növekszik a magasabb földrajzi szélességeken, és csökken elsősorban a szubtrópusi térségekben. Mai ismereteink szerint a globális melegedés a 21. század után folytatódik abban az esetben is, ha a sugárzási kényszert a 21. század végére sikerülne stabilizálni (4. ábra).

A különböző kibocsátási forgatókönyvek és éghajlati modellek alapján készített globális éghajlati forgatókönyvek kisebb térségekre nagyobb eltéréseket mutatnak. A globális éghajlati forgatókönyvekből Európára kiolvasható előrejelzések is erősen különböznek egymástól, a csapadék tekintetében akár a változás előjelében is. Az időtáv növekedésével a bizonytalanság is növekszik. A bizonytalanságok ellenére az éghajlati forgatókönyvek abban megegyeznek, hogy mind a hőmérséklet, mind a csapadék előre jelzett változása minden esetben meghaladja a természetes változékonyságot. Átlagos mértékű kibocsátást (A1B kibocsátási forgatókönyv) feltételezve, 21 különböző éghajlati modell együttes átlagában megrajzolható a 21. század végére várható éghajlatváltozás legjobbnak tekintett becslése (5 ábra, IPCC 2007a).

A legjobb becslés szerint Európában az évben, a téli és nyári hónapokban egyaránt mindenütt emelkedik a hőmérséklet. A növekedés télen a magasabb földrajzi szélességeken nagyobb, nyáron a mediterrán térségben. Az évi hőmérséklet emelkedése a 21. század végén mindenhol meghaladja a 3,0 °C-ot. A csapadék a magasabb földrajzi szélességeken minden időszakban és az évben nő, és csökken az alacsonyabb földrajzi szélességeken. A növekedést és csökkenést elválasztó vonal nagyjából a 48-50° szélességi kör mentén halad, helyzete nyáron a magasabb (53–57°), télen az alacsonyabb (44–46°) szélességi körök felé tolódik el. Változnak az időjárási szélsőségek is. Növekszik az évi maximum hőmérséklet, legnagyobb mértékben Dél- és Közép-Európában, a minimum hőmérséklet egész Európában. A napi nagycsapadékok intenzitásának növekedése általában azokban a térségekben is várható, ahol egyébként az évi csapadék csökken.



5. ábra Az évi, téli hónapok (DJF) és nyári hónapok (JJA) középhőmérsékletének és csapadékának a XXI. század végére várható változása 21 modell átlagában az A1B emissziós forgatókönyv esetére (IPCC 2007a)
 Figure 5. Estimated changes of mean temperature and precipitation of annual average, winter (DJF), and summer months (JJA) by mean of 21 models until the end of the 21st century in case of A1B emission scenario (IPCC 2007a)

A globális melegedés 21. században várható következményei

A globális melegedésnek és a regionális éghajlatváltozásnak számos következménye várható mind a *természetes*, mind *humán (kezelt) rendszerekben*, folytatódnak a természeti rendszerek több, már a 20. századi melegedés miatt megkezdett változása. A hőmérséklet emelkedése, párosulva a Föld számos térségében a csapadék változásával, a szélsőségek (árvíz, aszály, erdőtűz, kártevők megjelenése) gyakoriságának és intenzitásának növekedése, a tengervíz savasodása más, nem éghajlati hatásokkal (változások a földhasználatban, szennyeződések, a természeti erőforrások túlzott igénybevétele) együttesen számos öko-szisztéma fennmaradását, illetve alkalmazkodó képességét veszélyezteti. Különösen nagy lehet a változás a globális melegedés magasabb, 2–3 °C-ot meghaladó fokozatánál, amikor a jelenlegi biotopok jelentős átalakulása mellett, újak is megjelenhetnek.

Az éghajlatváltozás várható következményeit az IPCC második munkacsoportjának jelentése foglalja össze (IPCC 2007b). A jelentés húsz fejezetből áll, ebből nyolc az egyes régiókat (a hat kontinens, a sarkvidéki területek és az óceáni kisszigetek), hat az éghajlatváltozással leginkább érintett szektorokat (vízkészletek, tengerparti területek, ökoszisztémák, élelmiszer, települések, egészségügy) tekinti át. Hat fejezet átfogó kérdésekről (az éghajlatváltozást alátámasztó múltbeli észlelések, módszertani kérdések, a változó éghajlathoz való alkalmazkodás, az alkalmazkodás és a megelőzés kapcsolata, a leginkább sérülékeny területek és szektorok, éghajlatváltozás és a fenntartható fejlődés) szól. A jelentés a következményeket azzal a feltételezéssel fogalmazza meg, hogy az éghajlatváltozás hatásainak megelőzésére intézkedések nem történnek.

A globális melegedés miatt várhatóan tovább nő az óceánok és tengerek vízhő-mérséklete, ami változást idéz elő a tengerek ökoszisztéáiban. 1,5–3 °C globális melegedésnél a szubtrópusi óceánok alacsony produktivitású térségei 5%-kal terjeszkedhetnek az északi és 10%-kal a déli féltekén. A vízhőfok emelkedése többfelé (pl. Latin-Amerika csendes-óceáni térsége) a halak jelenlegi élőhelyeinek eltolódásához vezethet, az Északi-sark közelében kismértékben előnyös lehet több halfaj (tőkehal, hering) számára, de hátrányosan érintheti pl. a garnélarák szaporodását, vagy a Csendes-óceán délkeleti részének (Peru, Chile) halállományát. A hőmérséklet emelkedése, párosulva az óceánok

vizének a légköri CO₂ növekedése hatására a 21. században is folytatódó savasodásával együtt, kedvezőtlen a mérsékelt élőlényekre (korall, rákok, tintahal, tengeri csigák, osztriga, kagyló), és áttételesen a tőlük függő fajokra. Várható a korallok nagy tömegű kifehéredése az elkövetkező 50 évben, különösképpen az ausztráliai Nagy Korallzátonynál, az ázsiai korallzátonyok 30%-a eltűnhet, pusztulás fenyegeti Afrika, Latin-Amerika (Mexikó, Belize, Panama), az óceáni kisszigetek koralltelepeit.

A csalánozókhoz tartozó korallok táplálkozási módja alapvetően kétféle. Táplálékukat általában apró algáktól kapják, amelyek a korallokkal együtt élnek, és a nap fényenergiája segítségével, fotoszintézissel állítanak elő tápanyagokat. Ezekről az algáktól oly színpompások a korallzátonyok. A korallok, csalánozók lévén, csipős tapogatókkal is el vannak látva, amelyeket képesek kis távolságra kinyújtani a zsákmány megragadására. Ez lehetővé teszi számukra, hogy az algák nélkül is táplálékhoz jussanak. Az emelkedő vízhőmérséklet okozta stressz miatt sok korall ledobja a vele együtt élő algákat, és ez táplálékhiányukhoz, végső soron tömeges pusztulásukhoz vezet. Az algák elvesztése miatt a korallok kifehérednek, a kifehéredés jól jelzi a korallok pusztulását.

A globális melegedés következtében a tengerek vízszintje, részben a víz hőtágulása, részben a szárazföldi jégtakaró olvadása miatt, tovább emelkedik. Globális átlagban az emelkedés az 1980–1999 évekéhez képest a 21. század végén lassabb melegedésnél (B1 forgatókönyv) 0,18–0,38 m, gyorsabb melegedésnél (A1F1 forgatókönyv) 0,26–0,59 m lehet. A tengerszint emelkedése, más antropogén hatásokkal is súlyosbítva, veszélyezteti a parti ökoszisztémákat. Különösen érzékenyek a sómocsarak és a mangrove-erdők, amelyek egyharmada is eltűnhet 2080-ig a tengervíz szintje 36 cm-es emelkedése esetén, főként Afrika és Ázsia partvidékein. A Mekong deltájában a tengervízszint 1 m-es emelkedésénél a mangrove területek fele is eltűnhet, mintegy 100 ezer ha művelt termőföld és akvakultúrás terület válhat sómocsárrá. Érzékeny veszteség érheti Észak- és Dél-Amerika atlanti-óceáni és mexikói-öböl menti partvidékeit, a Földközi- és Balti-tenger környezetét, az óceáni kisszigeteket. Európában a tengervízszint emelkedése a parti wetlandek 20%-át veszélyezteti.

A melegedés következtében folytatódik a sarkok tengerjégének olvadása. Az Északi-sark körüli tengeri jégborítottság a 21. század végére a mainál 22–33%-kal kisebb lehet, egyes éghajlati forgatókönyvek szerint késő nyáron teljesen eltűnhet. Az Antarktisz körüli tengerek jégborítottsága tekintetében nagyobb a bizonytalanság, legvalószínűbb a kisebb mértékű csökkenése, de nem zárható ki a jég teljes eltűnése, akár kismértékű növekedése sem. A sarkvidékek tengerjégének visszahúzódása komoly változásokat indít el az élővilágban: 1,5–3 °C-os globális melegedésnél a sarkvidéki tengerjéghez kötődő magas produktivitású biomok kiterjedése az északi féltekén 40%-kal, a délin 20%-kal csökkenhet, szűkülhet a jellegzetes sarkvidéki fajok, köztük egyes ragadozók (jegesmedve, fóka) és madarak (pingvin, különféle költöző madarak) élettere. Változás várható a fajok egyedszámában. Megváltoznak azok az éghajlati adottságok, amelyek mostanáig védtek a sarkvidéki fajokat más fajok terjeszkedése ellen. Ennek következtében számos faj vándorlása indulhat meg a melegedő sarkvidékek irányába, mind az északi-, mind a déli sarkvidéken várható az ott ma idegen fajok, és az általuk közvetített betegségek megjelenése. Ez utóbbi különösen sérülékennyé teheti a sarkvidékek mai élővilágát.

Az elkövetkező évtizedekben jelentősen megfogyatkoznak a szárazföldi gleccserek, gyorsuló ütemben folytatódik ma is tapasztalható visszahúzódásuk, tömegük fogyatkozása. Teljesen eltűnnek a trópusi gleccserek, az északi féltekén a 21. század közepére eltűnik a gleccserek fele, Európában az alpesi jellegű térségek kisebb gleccserei, a nagyobbak tömege 30–70%-kal csökkenhet. Amennyiben a melegedés jelenlegi üteme megmarad, a Himaláját borító gleccserek mai 0,5 millió km²-es kiterjedése 2030-ra 0,1 millió km²-

re zsugorodik, a globális hőmérséklet 3 °C-os emelkedésével a tibeti fennsík kisebb gleccserei valószínűleg eltűnnek. Fogyatkozik a hókészlet is, egyes területeken, pl. az Egyesült Államok nyugati hegységeiben, számottevően. Várhatóan a 21. században folytatódik a grönlandi jégtakaró olvadása, mivel a hőmérséklet emelkedésével tömege gyorsabban fogy, mint amilyen ütemben nő a csapadék növekedésének köszönhetően. Az Antarktisz jégtakarója túlságosan hideg ahhoz, hogy ott nagyfokú olvadás következzen be, sőt a növekvő csapadék miatt a jég tömege gyarapodhat. Ugyanakkor a jégtakaró peremi területén, főleg Nyugat-Antarktisz térségében az olvadó jég leválása (borjadzás) miatt valószínűsíthető a jégtömeg fogyatkozása. A grönlandi és részben az antarktisi jég olvadása a tengerszint emelkedéséhez vezet, amelynek nagysága, a tengereknek a vízhőmérséklet emelkedéséből adódó hőtágulásával együtt, 0,2–0,6 m is lehet a 21. század végére. A grönlandi jégtakarónak csupán a 21. század után bekövetkezhető teljes elolvadása 7 m-rel, a nyugat-antarktisi jégtakaróé 5 m-rel járulna hozzá a tengerszint emelkedéséhez.

A grönlandi jégtakaró olvadásának további következménye lehet, hogy az Atlanti-óceán északi térségében a tengervíz kiédesedik. Emiatt csökken a víz sűrűsége, megnehezítve a délről észak felé tartó összefüggő atlanti-óceáni tengeráramlatoknak – amelynek a Golf-áramlat is része – a sarkvidéki térség közelében való alábukását és a mélyebb rétegekben déli irányú visszafordulását, azaz csökkentené az Atlanti-óceáni meridionális körforgást (Meridional Overturning Circulation, MOC). Képletesen szólva, az Egyenlítő vidékéről a magasabb szélességi körök felé hőt szállító „nagy óceáni szállítószalag” (6. ábra) lelassulhat, sőt leállhat. A lassulás a 21. században is valószínű, de a leállás valószínűsége rendkívül csekély. Ugyanakkor a 21. századot követően nem zárható ki a leállás sem, ami igen súlyos következményekkel járhat főként Európa éghajlatára. A lassulás önmagában is lehűléssel jár, de ezt a légkör globális melegedése még kiegyenlíti, és a Golf-áramlattal érintett térségben, az Atlanti-óceán és Európa felett a hőmérséklet nő. Az Atlanti-óceán megváltozó meridionális körforgása hatással lesz a tengeri ökoszisztémára, a tengeri élővilág szén-dioxid felvételére, de a szárazföldi ökoszisztémákra is.



6. ábra A Nagy Óceáni Szállítószalag (BROECKER 1987)
Figure 6. The Great Ocean Conveyor Belt (BROECKER 1987)

Az északi féltekén az egész évben fagyott talajú, permafroszt területek kiterjedése a 21. század közepére várhatóan 20–35%-kal csökken, az időszakosan fagyott talajú területeken a fagy felengedésének mélysége növekedhet, a felengedést követő talajsüllyedés veszélyezteti a meglévő infrastrukturális létesítményeket, nehezíti újak létesítését, lerövidíti a közlekedés és szállítás számára alkalmas időszak hosszát. A permafroszt olvadása miatt változhatnak a vizek természetes lefolyási viszonyai, ami lehetővé teszi új, korábban nem létező vízi életközösségek megtelepedését. Kedvezőtlen további következmény az olvadást és a talajok felengedését követő fokozódó metánkibocsátás, ami tovább növelheti a globális melegedést. A téli hőmérséklet növekedése miatt változnak a folyók jégviszonyai, a szibériai folyókon pl. a jégtakarós napok száma már a közeli jövőben egy hónappal lerövidülhet.

A globális melegedés miatt fokozódik a vízkörforgás intenzitása, az átlagos évi lefolyással jellemzett megújuló, hasznosítható vízkészlet a 21. század közepére globálisan közel 10%-kal növekedhet, ezen belül 10–40%-kal növekedhet a magasabb földrajzi

szélességeken és egyes nedves trópusi területen, 10–30%-kal csökkenhet a közepes földrajzi szélességeken és a száraz trópusi térségben. A csökkenés többnyire olyan területeket érint, amelyek vízben ma is szegények, mint Európában a Földközi-tenger medencéje, az Egyesült Államok nyugati partvidéke, Afrika déli része, Brazília észak-keleti vidéke, Ausztrália egyes térségei. A felszín alatti vizek utánpótlása globális léptékben várhatóan alig változik, kismértékben inkább növekedhet, de egyes térségekben (pl. Európa mediterrán vidéke) csökkenhet. A gleccserek és a hótakaró olvadása miatt az elkövetkező két-három évtizedben nőhet a lefolyás, a teljes vagy nagymértékű elolvadást követően azonban csökken, sőt megszűnik a lefolyás éven belüli kiegyenlítésében játszott szerepük, amiért számottevően csökkenhet a tavaszi és nyári időszak lefolyása. Az Alpok gleccserei nagy részének olvadását követően a nyári lefolyás is jelentősen csökkenhetnek, akár 50%-kal (ZIERL és BUGMANN 2005).

A csapadék éven belüli átrendeződése a téli félév javára a téli lefolyás növeléséhez és a nyári lefolyás csökkenéséhez vezet. A téli lefolyás növekedése miatt nő a téli, esőeredetű árvizek kockázata, Európában főként a kontinens atlanti térségében. Európa azon térségeiben, ahol a téli csapadék ma jórészt hó alakjában hull le, a téli hőmérséklet emelkedése miatt a növekvő téli csapadék egyre kisebb hányada hull le hó formájában, a hó olvadása korábban jelentkezik, ezért ezen térségek folyóin (Saar, Rajna, Volga, szlovákiai folyók) is várható a téli lefolyás növekedése, a tavaszi árvizek korábbi jelentkezése. Növekszik a szélsőséges csapadékok gyakorisága és intenzitása, különösen a közepes és magasabb szélességi körökön, ami kedvez a heves áradásoknak. A nyári csapadék csökkenése a párolgás növekedésével párosulva növeli a kisvizek (hidrológiai aszály) gyakoriságát és nagyságát. Európa mediterrán térségében (Portugália, Spanyolország, Franciaország egyes vidékei) a ma 100 éves gyakoriságú kisvizek akár 10 évenként is jelentkezhetnek. Gyakoribbá és súlyosabbá válnak a talajaszályok, különösen az alacsony és közepes szélességi körök kontinentális belterületein. A súlyos aszályal érintett területek aránya a Földön a jelenlegi 1-3%-ról 2090-ig 30%-ra növekedhet, a súlyos aszályok gyakorisága a mai 2–6 szoros lehet (BURKE et al. 2006).

A hőmérséklet emelkedése közvetlenül, a lefolyás csökkenésén keresztül közvetve is hat a vizek minőségére. A magasabb hőmérséklet csökkenti az oldott oxigén telítettségi szintjét, növeli az oxigénhiányt, segíti az algaszaporodást, az algavirágzás gyakoriságát és időtartamát, a baktériumok és gombák növekedését. A kisvizek csökkenése miatt változik a vízminőség több összetevője: romlik a biológiai oxigénigény, oxigénhiány, ammónium, nő a vizek sótartalma. A hőmérsékletemelkedés miatt csökkenhet a trópusi tavak nettó szervesanyag-termelése, amit a Tanganyika-tó példája már ma is tanúsít. Növekvő vízhőmérséklet, fokozott csapadékintenzítés és a kisvízi időszakok hosszabbodása kedvezőtlen a víz szennyezése szempontjából, ezzel együtt az ökoszisztémákra, az emberi egészségre, a vízellátó rendszerek üzemeltetésére.

Az éghajlat melege, főleg a magasabb földrajzi szélességeken a biogeográfiai övezetesség változásához vezet. A sarki tengerekhez kötött, magas produktivitású biomok visszahúzódását az északi féltekén követi a tundra északabbra tolódása, ezzel a mai sarkvidéki jégsivatagok kiterjedése 15–25%-kal csökken. A tundra mai déli határa északabbra tolódik, helyét Észak-Amerikában és Euráziában az észak felé terjeszkedő boreális és tajga erdők foglalják el, a 21. század végén a mai tundraterület akár 50%-át. Az északi terjeszkedésükkel szemben az alacsonyabb földrajzi szélességeken, így

Európa déli részén, az erdők visszahúzódhatnak. Hegyvidékeken is várható az erdő-sültség vonalának nagyobb magasságokba való eltolódása, és az erdők fajok szerinti összetételének változása. Az éghajlat szárazodása következtében a szubtrópusi területek a trópusok rovására terjeszkednek. Az üvegházgázok kibocsátásának átlagos növekedését feltételezve, 2 °C-os globális melegedésnél, a 21. század közepére a trópusi erdőket fokozatosan szavannák válthatják fel Mexikó trópusi vidékén, Amazónia keleti részén, míg a ma szemiárid éghajlatú területek felsivatagi növényzetét sivatagi növényzet Brazília északkeleti vidékén, Mexikó középső és északi területeinek nagy részén. A trópusi erdők eltűnését a termőföldek terjeszkedése is okozza, de a 21. század végéig az éghajlatváltozás hatása a meghatározó. A trópusi erdők visszahúzódásával számos trópusi faj is eltűnhet. Jelentős térbeli eltolódások várhatók egyes afrikai ökoszisztémákban, változhat a faji összetételük, egyes ökoszisztémák (törpecserjék és a szukkulens Karoo biomok Afrika déli részén) ki is pusztulhatnak.

A globális melegedésnek kezdetben pozitív ökológiai hatások is lehetnek, mint az éghajlatilag kevésbé sérülékeny ökoszisztémák (szavannák, a fajokban szegény sivatagok) esetében a fokozott nettó primer produkció (NPP). 2 °C-ot meg nem haladó globális melegedésnél a nettó primer produkció növekedése jelezhető előre a magasabb földrajzi szélességeken is, amelynek nagysága erősen függ a fás szárú növények tényleges terjeszkedésétől.

A bioszférában várható változások, s különösen az erdők terjeszkedése kezdetben kedvező a légköri szén elnyelés tekintetében. A globális melegedés 2 °C-os értékéig a magasabb szélességi körökön a nettó primer produkció (NPP) növekedése jelezhető előre, ami meghaladja a NPP várható csökkenését az alacsonyabb szélességi körökön. Nagyobb melegedésnél azonban a szárazföldi ökoszisztémák egyre csökkenő mértékben képesek lekötni a szenet, maguk is nettó szénforrásokká válhatnak. A korábbi „széntárolók” (tőzeges területek, permafroszt talajok, a boreális és trópusi erdők talajai) szénkibocsátása is felgyorsul. Mindez együttesen fokozza az üvegházhatást. A felmelegedés hatására csökken a szárazföldek és az óceánok szén-dioxid felvétele és így nő az antropogén kibocsátás azon hányada, amely a légkörben marad. Az A2 forgatókönyv például az éghajlat-szénciklus visszacsatolás a földi melegedést 2100-ra több mint 1 °C-kal emeli. A sérülékeny szénállományoktól származó, különösképpen a tőzegtalajoktól, a tundrai fagyott löszből (‘yedomá’), és az állandóan fagyott talajokból, és a lombhullató és a trópusi erdők talajából felszabaduló felgyorsult szénkibocsátás, gyakorlatilag bizonyos.

Az éghajlatváltozás érzékenyen érinti a biodiverzitást, sok fajt kihalással fenyeget. A globális melegedés mértékének növekedésével a veszélyeztetettség nő. Az eddigi értékelésekbe bevont fajok 20–30%-a (térsegenként 1%–80% között változva) valószínűleg fokozott mértékű kipusztulásnak van kitéve, ha a globális melegedés meghaladja az ipari forradalom előtti szinthez képest a 2–3 °C-ot, a honos fajok kipusztulása nagyobb lehet, mint a földtani korokban bármikor. Európa növényzetének nagy része (akár 50%-a) várhatóan sérülékennyé, veszélyeztetetté, vagy kihalással fenyegetetté válik a 21. század végére. Az alpesi jellegű területeken, magas kibocsátási forgatókönyvet (A2) feltételezve, 2080-ig a fajok akár 60%-a kipusztulhat. A biodiverzitás csökkenésének számottevő kockázata áll fenn sok mai faj kipusztulása miatt sokfelé a trópusi Latin-Amerika területén, Ausztrália több, fajokban ma gazdag vidékén (Queensland nedves trópusai, Kakadu mocsaras területek, Ausztrália dél-nyugati része) már 2030-ig is. Ausztrália Queensland vidékén 5 °C-os melegedés esetén a ma élő gerincesek lényegében eltűnhetnek (7. ábra). Afrikában a déli területek és a hegyvidékek ökoszisztémái különösen veszélyeztetettek, az máris elkezdett változásuk a korábban előre jelzetté is gyorsabb mértékű. Az óceáni kisszigetek bennszülött fajait az invázió jövevényfajok veszélyeztetik.

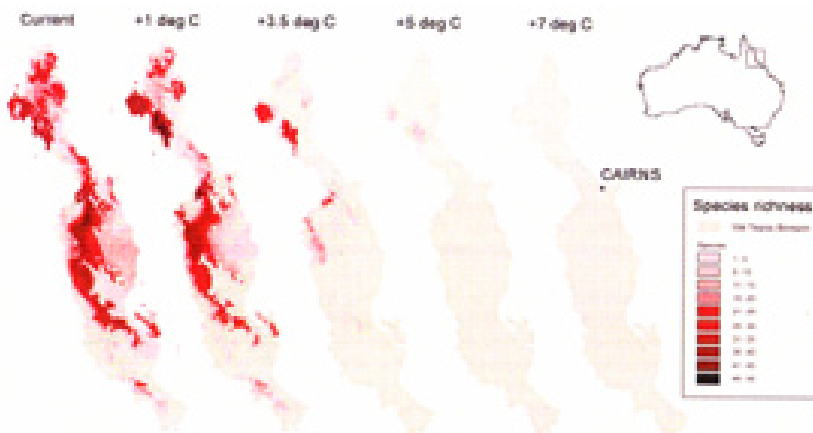


Figure 3. Indicates the decline in distribution of species richness of regionally endemic terrestrial vertebrates with increasing temperature¹².

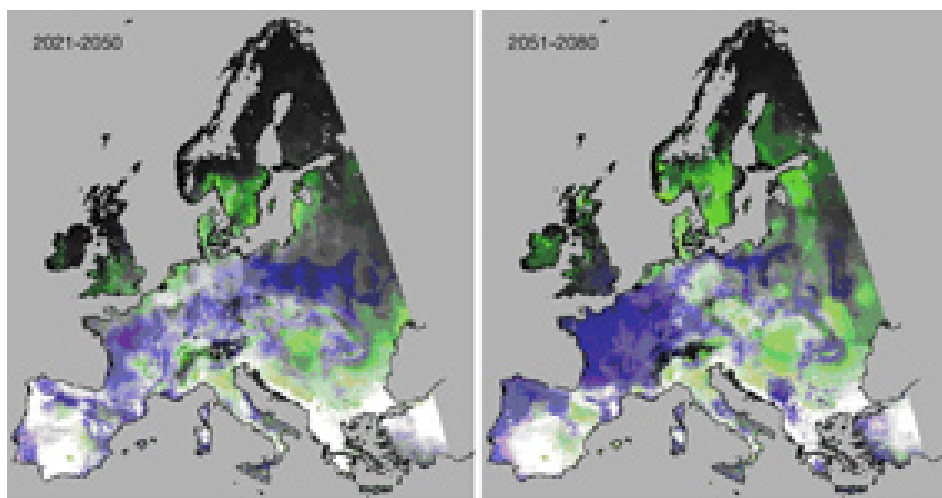
7. ábra A biodiversitás változása a globális melegedés különböző fokozatában (Queensland, Ausztrália) (KROCKENBERGER et al. 2003)

Figure 7. Changes of biodiversity at different stages of global warming (Queensland, Australia) (KROCKENBERGER et al. 2003)

Az éghajlatváltozás többfelé hátrányosan érinti a vízi ökoszisztémákat is, megváltoztatva azok produktivitását, a vízi életközösségek faji összetételét. A melegedés várhatóan az édesvízi halállomány csökkenéséhez vezet. Európára végzett vizsgálatok szerint a melegedés kedvező lehet a legtöbb kétéltű (45–69%) és hüllő (61–89%) számára, amelyek akár növelhetik is élőhelyüket, de csak abban az esetben, ha migrációjuk kellően biztosított, terjeszkedésük nem korlátozott (8. ábra). Amennyiben a migrációjuk korlátolt, a fajok nagy többségének, több mint 97%-nak az élőhelye számottevően csökken, különösen az Ibériai-félszigeten és Franciaországban. Európa mediterrán térségében számos mai időszakos vízi ökoszisztéma várhatóan eltűnik, az állandóak zsugorodnak és időszakossá válnak.

A globális melegedés és regionális következményei kihatnak a humán rendszerekre is. A gleccserek visszahúzódását követően a hasznosítható vízkészlet csökkenése várható a világ több részén, így Latin-Amerikában, Ázsiában a Himalája gleccsereiből eredő folyók (Indus, Gangesz, Brahmaputra, Hoangho, Jangce, Mekong) vízgyűjtőiben. Ez utóbbiak területén él jelenleg a világ lakosságának egyhatoda, az éghajlatváltozás 2050-ig itt közel 1 milliárd fő vízellátását érinti hátrányosan. Az alacsonyabb és közepes földrajzi szélességek csapadékának csökkenésével nő a szárazsággal érintett területek nagysága. Ezekben a térségekben, Kelet-Ausztráliában, Új-Zélandon, Európában az északi térségek kivételével szinte mindenütt, a csendes-óceáni és karibi kistszigeteken, romlik a vízellátás biztonsága. Nő a vízhiánnyal érintett lakosság száma, 2080-ra a vízhiánnyal sújtott területen élők száma a mai 1,5 milliárról 4,3-6,9 milliárdra növekedhet a kibocsátási forgatókönyvtől függően. A Föld népességének 20%-a él olyan vízgyűjtőkben, amelyekben várhatóan fokozódó árvízveszéllyel számolni a 2080-as évekig.

Az éghajlatváltozás a nem éghajlati hatásokkal együtt Afrikában és Latin-Amerikában a mezőgazdasági művelésre alkalmas területek csökkenéséhez vezethet. Latin-Amerika



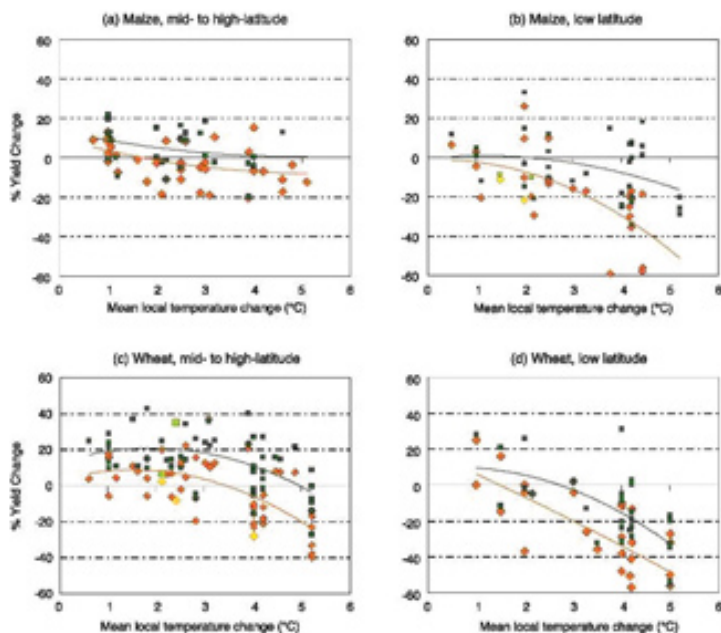
8. ábra A hüllő és kétlábú fajok számának változása éghajlatváltozás esetén korlátlan terjeszkedési lehetőséget feltételezve (IPCC 2007b) (zöld szín jelöli a növekvő, lila a csökkenő, egyéb színek a változatlan fajszámot)
 Figure 8. Changes in number of reptile and amphibian species, supposing limitless possibilities for expansion in case of climate change (IPCC 2007b) (green: increasing, blueish: decreasing, other colours: stagnating species number)

egy-egy száraz éghajlatú térségeiben a sivatagosodás és szikesedés miatt a művelhető területek akár 50%-os csökkenése is lehetséges a 21. század közepéig. Számottevő változások várhatók a terméshozam alakulásában. Kisebb mértékű melegedésnél a közepes és magasabb földrajzi szélességeken nőhet a terméshozam, az alacsonyabb szélességi körökön, és különösen az évszakosan száraz és trópusi térségekben a növekvő aszályok miatt csökkenhet. Rövidebb távon, jelentős területi eltérésekkel, a terméshozam növekedése várható Kelet- és Délkelet-Ázsiában, Észak-Amerikában, Új-Zélandon a vegetációs időszak hosszának növekedése, a növekvő csapadék és kevesebb fagyveszély miatt. Latin-Amerika mérsékelt éghajlatú vidékein, a közelebbi évtizedekben kisebb éghajlatváltozásnál, nőhet a szója terméshozama. A terméshozam növekedését részben a szén-dioxid légköri koncentrációjának emelkedése eredményezi, amit a nyílt térben végzett újabb kísérletek alátámasztanak. A terméshozam csökkenhet Afrikában, különösen a ma is száraz és félszáraz éghajlatú térségek marginális területein, Dél- és Közép-Ázsiában, itt akár 30%-kal, több fontos növényi kultúra esetében Latin-Amerika száraz éghajlatú területein, Dél-Európában, Ausztrália keleti és déli részén. Nagyobb melegedés várhatóan mindenütt hátrányos a terméshozamokra (9. ábra).

Latin-Amerikában csökkennek az állati hozamok. A globális melegedés az akvakultúrára és a halászatra is hátrányos. Afrikában a vízhőmérséklet növekedése miatt a nagy tavak halhozama csökkenhet.

Világ egészét tekintve az élelmiszer ellátottság a globális hőmérséklet 3 °C-os emelkedéséig akár javulhat, felette romlik. A világ egészére jellemző képtől eltérően az éghajlatváltozás miatt a világ számos térségében romolhat az élelmiszerrel való ellátás biztonsága, és tekintettel a gyorsan növekvő népességre, nő az éhínség sújtotta térség nagysága, főként Ázsia és Afrika egyes országaiban. Afrikában a mezőgazdaságot érintő veszteségek különösen nagyok a Szahel térségben, kelet- és Dél-Afrikában. Az élelmiszer

termelés feltételeiben ma is meglévő területi eltérések tovább növekedhetnek, a fejlődő országok többsége élelmiszer importfüggő lesz. Várhatóan növekszik az élelmiszerárak kereskedelme.



9. ábra A terméshozamok alakulása a globális melegedés mértékének függvényében (IPCC 2007b)
(a-b: kukorica, c-d – gabona, a-c közepes és magas földrajzi szélesség, b-d alacsony földrajzi szélesség)
Figure 9. Crop yields in the light of global warming degree (IPCC 2007b)

Az erdőszűltségben és az erdőhozamokban is változások várhatók. Kisebb melegedés esetén, rövid és középtávon a változás nem tűnik számottevőnek, de várható, hogy az erdőszűltség egyre északabbra és nagyobb magasságok felé tolódik el. Rövid- és közepes távon a globális melegedés következtében nő az erdők produktivitása, igaz, jelentős területi eltérésekkel. Az erdők hozamára hátrányosan hat a szélsőséges éghajlati események gyakoriságának és intenzitásának növekedése, aminek következtében növekszik az erdőtüzek gyakorisága, elszaporodnak a kártevők és korokozók. Észak-Amerikában és Dél-Európában az erdőtüzek, Kelet-Európában a tűzterjedés kockázata nő. Egyes szélsőséges időjárási esemény, pl. a fagyveszély csökkenése miatt az éghajlatváltozás kedvező is lehet, Új-Zélandban várható emiatt az erdők termőképességének növekedése.

A tengerszint emelkedése 2080-ig több millió embert érint azokon a sűrűn lakott, alacsonyan fekvő parti területeken, ahol az alkalmazkodási készség viszonylagosan alacsony, így Ázsia és Afrika nagy kiterjedésű deltavidékein. Az emelkedő tengerszint veszélyezteti a kontinensek alacsonyan fekvő területeit, az óceánokban és tengerekben alacsony fekvésű kistesteket sokaságát, növeli a tengerparti területek árvízi és eróziós veszélyét, a tengervíz behatolása a parti térségekbe rontja az ott előforduló felszín alatti vizek minőségét. A tengervíz felszíni hőmérsékletének emelkedése növeli a trópusi és trópuson kívüli ciklonok hevesességét. A sarkvidéki területek melegedése hátrányosan

befolyásolja az itt élő őslakosság hagyományos életformáját, ugyanakkor kedvező a fűtési igény csökkenése, és a hajózás növekedése szempontjából.

Az éghajlatváltozás közvetlen (hőmérsékletemelkedés, a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribbá válása) és közvetett (romló levegőminőség, gyakoribb áradások, rosszabbodó víz- és élelemellátás) nagyon valószínűleg negatív hatással lesz több milliányi, főként alacsony alkalmazkodó képességű népesség egészségi állapotára. A hőmérséklet emelkedése, a hóhullámok gyakoriságának és intenzitásának növekedése számos helyen növeli a halálozás kockázatát, amitől nem mentesek a fejlett társadalmú térségek, Észak-Amerika és Európa sem. Európában főleg a mediterrán területeken növekedhet a hóhullámok okozta halálozás. A melegedés okozta halálózást többnyire csak részben ellensúlyozza egyes mérsékelt éghajlatú térségekben a hideg okozta halálozás csökkenése. A melegedő éghajlat kedvez többféle kórokozónak, növelve egyes megbetegedések gyakoriságát, jóllehet a növekedésben nem éghajlati tényezők is szerepet fognak játszani. Nő a hasmenési fertőzések gyakorisága, különösen az alacsony jövedelmű térségekben élő lakosság körében. A fertőzések száma várhatóan igen gyorsan emelkedik Ausztrália őslakossága körében. A Föld maláriával érintett lakosainak száma a jelenlegihez képest 220-400 millió fővel nőhet, és kockázatuk olyan országokban is megjelenhet, ahol ma egyáltalán nem jellemző (Nagy-Britannia, Portugália, Ausztrália). Ugyanakkor Afrika egyes térségeiben csökkenhet a malária kockázata. Nem zárható ki, hogy a trópusi náthaláz (dengue-láz) növekvő kockázata 2085-ig 3,5 milliárd embert érint. Várható a kullancsok északabbra és magasabb térségek irányába terjeszkedése, a Lyme-kór és a járványos agyhártyagyulladás kockázatának ezzel együtt járó megnövekedése. Kanadában a legnagyobb mértékű melegedést feltételező éghajlati forgatókönyv szerint a Lyme-kór okozóját hordozó kullancsok a maihoz képest 1000 km-rel északabbra is megjelennek. Az éghajlatváltozás közvetett következményeként számos térségben romlik a levegőminőség, ami hozzájárul az allergiás betegségek gyakoriságának növekedéséhez. A gyakoribbá váló árvizek, a tengerszint emelkedése miatt a tengeráradások gyakoriságának növekedése növelik a fertőzés veszélyét főként az alacsony alkalmazkodási és védekezési képességű lakosság körében. Az ózonszint növekedése növeli a szív- és érrendszeri megbetegedések gyakoriságát. Észak-Amerika keleti részén az A2 éghajlati forgatókönyv esetében 4,5%-kal növekedhet az ózonnal kapcsolatos halálozások száma. Egyes ázsiai országokban a romló élelmiszerellátás okozta alultápláltság, sőt éhínség, Afrikában a rosszabbodó vízellátottság vezethet a halálozás kockázatának növekedéshez.

Az óceáni kisszigeteken a tengerszint emelkedése miatt romlanak a turizmus lehetőségei, rosszabbodik a strandolásra alkalmas partszakaszok (beachek) állapota. Dél-Európában, főleg a mediterrán térségben a változó éghajlati feltételek (növekvő hő-mérséklet és szárazság) miatt csökkenhet a nyári turizmus. Európa hegyvidékein rosszabbodnak a téli turizmus feltételei.

Felkészülés az éghajlatváltozásra

Az éghajlatváltozás hátrányosan érintheti a természetes fizikai és biológiai rendszereket, az emberi tevékenység, a humán szféra számos területét, szektorát. Az éghajlatváltozásnak lehetnek kedvező hatásai is. A kedvezőtlen hatások kivédésére, vagy legalábbis csökkentésére lényegében két út kínálkozik. Az egyik út az éghajlatváltozás megelőzése vagy mérséklése, a másik az új éghajlati viszonyokhoz való alkalmazkodás.

Az éghajlatváltozás megelőzése vagy mérséklése

Az éghajlatváltozás megelőzése vagy mérséklése döntően az éghajlat változását kiváltó gázok (elsősorban az üvegházhatású gázok) és szennyeződések légköri koncentrációnak lehetőleg minél alacsonyabb szinten való stabilizálása, aminek többféle eszköze lehet a kibocsátások mérséklésétől kezdve a biológiai rendszerek szén-elnyelő kapacitásának növeléséig. Az IPCC Negyedik Értékelő Jelentése harmadik munkacsoportja részletesen feltárta a megelőzés lehetőségeit, korlátait, anyagi következményeit (IPCC 2007c). A mérséklés elsődlegesen az energetikai, a közlekedési, az ipari, a lakókörnyezeti, az erdészeti és a mezőgazdaság ágazatokat érinti (2. táblázat). A kibocsátások csökkentésének éghajlati hatása globális léptékben, de időben csak késleltetve jelentkezik.

2. táblázat A kibocsátás mérséklésének lehetőségei szektorok szerint
Table 2. Possibilities for mitigating emissions in case of different sector

| <i>Szektor</i> | <i>A kibocsátás mérséklésének lehetőségei</i> |
|---------------------|--|
| Energia | Hatékonyabb ellátó és elosztó rendszerek, megújuló energiák (víz-, nap- és szélenergia, geotermikus és bioenergia, a CO ₂ eltávolítása és raktározása a természetes gázból) |
| Közlekedés | Üzemanyag hatékonyabb felhasználása, bioüzemanyagok, vasúti közlekedés fejlesztése, tömegközlekedés terjedése, nem motorizált közlekedés, közlekedéstervezés |
| Épületek | Természetes és hatékony világítás, hatékonyabb elektromos készülékek, fűtő- és hűtő berendezések, jobb szigetelés, fluortartalmú gázok visszanyerése és újrahasznosítása |
| Ipar | Hatékonyabb energiafelhasználás, hő- és egyéb energia visszanyerése, az anyagok újrahasznosítása és helyettesítése, a nem CO ₂ gázkibocsátás ellenőrzése, specifikus technológiák |
| Mezőgazdaság | A talaj szénraktározásának fokozása, a tőzegtalajok helyreállítása, jobb rizs-termesztési technikák és az állati trágya jobb kezelése a metánkibocsátás csökkentésére, jobb alkalmazási technikák a nitrogénműtrágyáknál az dinitrogén-oxid csökkentésére, céltudatos energianövény termesztés |
| Erdészet | Fásítás és erdősítés, kevesebb erdőirtás, az erdőgazdálkodás javítása, erdészeti termékek bioenergiaként felhasználása |
| Hulladékgazdálkodás | Hulladéklerakók metánkibocsátásnak kezelése, szerves hulladékok komposztálása, ellenőrzött szennyvízkezelés, hulladékminimalizálás és újrahasznosítás, |

A kibocsátások csökkentését nagymértékben segíthetik a megfelelő nemzetközi egyezmények megkötése és azok betartásának ellenőrzése.

Az éghajlatváltozáshoz történő alkalmazkodás

Az alkalmazkodás igazán a biológiai és a humán rendszerekben értelmezhető, a természetes fizikai rendszerek inkább csak elviselik az éghajlatváltozás hatásait, igazodnak az megváltozó éghajlathoz. Az éghajlatváltozás csupán egyike az alkalmazkodást ki-kényserítő hatásoknak, és mintegy ráépül a nem éghajlati, többnyire ugyancsak antropogén eredetű hatásokra. Ez utóbbiak csökkenthetik az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás esélyét, növelik az éghajlatváltozás okozta sérülékenységet. Az éghajlati és nem éghajlati hatásokhoz való alkalmazkodást célszerű együttesen, integrált megközelítésben kezelni.

A természetes ökoszisztémák alkalmazkodása spontán jellegű, a kiválasztódáshoz hasonló folyamat, amelynek során az élővilágnak lehetnek vesztesei és győztesei. Az éghajlatváltozás mellett az élővilágot olyan hatások is terhelik, továbbá nehezítik meg alkalmazkodásukat, mint a környezet szennyezése, tengerek esetében a tengervíz savasodása. Az alkalmazkodási lehetőségek azonban sokszor korlátozottak az élőlények és ökoszisztémák számára. Nagyon valószínű, hogy Európában a korlátozott terjeszkedési lehetőség miatt csökken a hullók és kételtűek biodiverzitása, az alacsonyan fekvő, geológiaiilag kevésbé ellenálló tengerparti területek ökoszisztémái képtelenek lesznek alkalmazkodni a tengervízszint emelkedéséhez. (ALCAMO ET AL. 2007). Várhatóan az ökoszisztémák többsége nehezen alkalmazkodik az éghajlat változásához, egyes ökoszisztémák esetében, mint a tundra vagy az alpesi vegetáció esetében, mai ismereteink szerint, nincs is nyilvánvaló alkalmazkodási lehetőség. A természetes ökoszisztémák spontán alkalmazkodását az ember elsősorban a nem éghajlati antropogén hatások csökkentésével, a természetet érő terhelések minimumra szorításával segítheti elő. Sokat segíthet a védett természeti területek növelése, az élővilág migrációját elősegítő zöld- és kékfolyosók biztosítása, ritka természeti értékek megőrzésére különösen védett természeti helyek, „szentélyek” nagyobb számú kialakítása, esetenként a védett növények és állatok mesterséges úton való át- és betelepítése, egyszóval olyan eljárások, amelyek többé-kevésbé sikeresen alkalmaztak már a múltban is. Korlátozott alkalmazkodási lehetőségeik miatt leginkább sérülékenyek szárazföldön a tundra, a boreális erdők, a hegyvidéki és mediterrán ökoszisztémák, a tengerparti térségekben a mangrove erdők és a sós mocsarak, az óceánokban és tengerekben a koralltelepek, és a tengerjég élővilága. Ezekben az ökoszisztémákban a globális hőmérséklet kisebb emelkedése is számos változást idézhet elő, számos faj eltűnhet.

A humán rendszerekben, a társadalom életében is jelentkeznek az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást súlyosbító nem éghajlati hatások, a túlnépesedés, szociális egyenlőtlenségek, szegénység, fertőző betegségek, fogyatkozó nyersanyagok, közgazdasági globalizáció, a nemzetek közötti konfliktusok, terrorizmus. Az éghajlati hatások sokrétűen jelentkeznek, egy helyen lehet pl. a csökkenő csapadék miatt növekvő aszály és a növekvő csapadékkéntizitás miatt gyakoribb árvíz, tengerparti területeken a tengerszint emelkedéséből adódó önmagában is súlyos következményű hatásokat növeli a szaporodó viharveszély, intenzívebb hurrikánok. A humán rendszerek éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásának ezért komplex, integrált jellegűnek kell lennie.

Az alkalmazkodás, egyfajta csoportosítás szerint, kétféle lehet: tervezett, proaktív, amikor a társadalom számol az éghajlat változásával, felkészül a lehetséges válaszadásokra, és reaktív, amikor a válaszokat a hatások bekövetkezése után, többé-kevésbé spontán

jelleggel teszi meg. A rövidebb távú éghajlati ingadozás vagy a szélsőséges időjárási események által kiváltott negatív hatások (pl. árvizek, belvizek, aszályok, hurrikánok, hőhullámok) esetében a múltbeli tapasztalatok sora igazolja, hogy a proaktív felkészülés eredményesebb és akár kevésbé költséges is, mint az utólag meghozott intézkedések. Az alkalmazkodási kényszer függ a társadalom-gazdaság fejlődési pályájától, ami ma csak nagy bizonytalansággal jelölhető ki, ezért célszerű több alkalmazkodási pályát vizsgálni. Mivel az éghajlatváltozást és a várható regionális hatásait illetően ma még nagyfokú a bizonytalanság, különösen nehéz dönteni a kétféle lehetőség közt, a nagyszámú alkalmazkodási alternatíva eleve kedvét szegheti mindenféle cselekvésnek, az éghajlatváltozásnak és kellemetlen következményeinek eleve tagadása viszont minden cselekvési kötelezettség alól felment.

A humán rendszerek éghajlathoz való alkalmazkodása nem előzmények nélküli. Az éghajlatra érzékeny tevékenységeknek a múltban is számos alkalommal kellett szembenéznie éghajlati, főként az éghajlati szélsőségekből eredő következményekkel. A földrajzi helyenként igen eltérő, az adott térség intézményi, politikai, finanszírozási rendszerétől nagymértékben függő alkalmazkodásnak változatos formái alakultak ki a múltban kezdve a technológiai (műszaki) jellegű alkalmazkodástól (pl. tengerszint emelkedése elleni védelem műszaki létesítményei), a viselkedési formák alakításán át (pl. a táplálkozási és pihenési szokások megváltozása) a politikai szintű lépésekig (tervezési szabályozások) (3. táblázat). A múltbeli tapasztalatok ismeretei segíthetik a jövőbeli alkalmazkodásokat.

3. táblázat Alkalmazkodási lehetőségek különféle hatások és szektorok esetében
Table 3. Possibilities for adaptation in case of different effects and sectors

| | <i>Mezőgazdasági nyersanyag</i> | <i>Vízgazdálkodás</i> | <i>Egészségügy</i> | <i>Ipar, település</i> |
|---------------------------|--|--|--|---|
| Aszály | Aszálytűrő fajták, gyomgazdálkodás, öntözés, vízvisszatartás, kiegészítő takarmány, legelőváltás, erdők telepítése | Vízfogyasztás, szivárgási veszteség csökkentés (mérés, vízdíj), talajnedvesség megőrzése (talajtakarás), talajvízdúsítás, tengervíz sótalanítás, nevelés | Biztonságos ivóvízellátás, közegészségügy intézményi rendszerének erősítése, nemzetközi élelmiszerpiacok jobb elérhetősége | Éghajlathoz való alkalmazkodási képesség javítása, jobb vízellátó rendszerek, az éghajlatváltozás beépítése a fejlesztési programokba |
| Növekvő csapadék, árvizek | Vízelveztetés, alternatív növények, ültetés és betakarítás időpontjainak változtatása | Árvízi előrejelző és riasztó rendszerek, veszélyeztetettség zónák kialakítása, biztosítási rendszerek, áttelepítések | Korai figyelmeztető rendszerek, katasztrófa tervek, vészhelyzet utáni hatékony mentés tervezése | Árvédelmi rendszer, földhasználati váltás, helyet az árvíz levonulásának, kockázati térképek, riasztás |

| | | | | |
|--------------------------------|---|--|---|--|
| Emelkedő hőmérséklet, hőhullám | Hőségtűrő fajták, művelési időpontok változtatása, kártevők elleni védelem, árnyékos helyének biztosítása az állatok számára, erdők tűzvédelme, tájtervezés | Vízigény-szabályozás, fenntartható vízhasználatra oktatás és nevelés | Nemzetközi rendszer a betegségek felbukkanásának figyelésére, hőség riasztó rendszerek, városi zöldterületek, megfelelő ruházkodás, folyadék-fogyasztás | Segélynyújtás a különösen sérülékeny csoportok számára, az alkalmazkodó képesség javítása, technológiai váltás |
| Viharok | Szélnek ellenálló fajták | Partvédelem, a vizek szennyezéstől való védelme | Korai előrejelző és riasztó rendszerek, károk helyreállítása | Felkészültség, riasztó rendszerek, ellenállóbb infrastruktúra, hatékony kockázatkezelés |

Alapvető kérdés, hogy a múltban sikeres alkalmazkodási technikák elegendőnek bizonyulnak éghajlatváltozás esetén. Elegendő vizsgálatok hiányában ma még kevés ismeretünk van arról, hogy a múltbeli eljárások mennyire hatékonyak az éghajlatváltozás következményeinek teljes mértékű értékű csökkentésében, főként a globális melegedés magasabb fokozatában, és a különösen sérülékeny területeken. Hiányosak az ismereteink azon a téren is, hogy az alkalmazkodásnak milyen korlátjai és költségei vannak, milyen externális hatásai lehetségesek, amelyek korlátozhatják magát az alkalmazkodást. Az alkalmazkodást számos környezeti, gazdasági, információs, szociális, viselkedési akadály is hátráltatja. Mindezért szükség van az alkalmazkodási technikák fejlesztésére is, különösen a fejlődő országokban.

Az éghajlatváltozásra való felkészülés hatékony eszköze lehet, ha az alkalmazkodási lehetőségek vizsgálatát beépítik a különféle szintű fejlesztési tervek készítésébe. Hasonló vizsgálatok különösen fontosak a termőföld hasznosítás fejlesztésének, az infrastrukturális fejlesztések tervezése során, a katasztrófák elleni védelem terveinek készítésében. Néhány szép példa máris megjelenik, így a tengerszint várható emelkedését is figyelembe veszik a parti területek védelmének tervezésénél a Maldív-szigeteken, Hollandiában, vagy egyes infrastrukturális létesítmények tervezésénél Kanadában (Confederation-híd). Intézkedéseket dolgoztak ki a gleccserek oladásából eredő árvizek megelőzésére Nepálban, Ausztráliában a vízgazdálkodásban, a hőhullámok elleni védekezésre Európa több országában.

Megelőzés vagy alkalmazkodás? Megelőzés és alkalmazkodás!

Az éghajlatváltozást kiváltó kibocsátások mérséklésének szükségességét az indokolja, hogy ellenkező esetben olyan mértékű éghajlatváltozás következne be, amihez az alkalmazkodás csak igen magas társadalmi, környezeti és közgazdasági költségekkel volna lehetséges. Nem kétséges azonban, hogy a mérséklés önmagában nem elegendő, az alkalmazkodásra is szükség van, mert még a legszigorúbb mérséklési erőfeszítésekkel sem kerülhető el a globális melegedés folytatása az elkövetkező néhány évtizedben. A melegedést kiváltó üvegházgázok légköri tartózkodási ideje hosszú, egyes gázok esetében akár több száz év is lehet, és ezért a melegedés akkor is folytatódna, ha a légköri koncentráció a 2000. évi szinten stabilizálódna (4. ábra).

Az éghajlatváltozás okozta problémák megoldásához mind az alkalmazkodásra, mind a mérséklésre szükség van. Az éghajlati politika tehát nem arról szól, hogy mérséklés vagy alkalmazkodás, inkább arról, hogy milyen legyen a kettő közötti arány helyes megválasztása. A mérséklés előnyei globálisak, míg a költségei és járulékos előnyei helyileg merülnek fel. Az alkalmazkodás költségei és hasznai viszont mindig helyiek. Ebből következően, a mérséklést elsődlegesen nemzetközi megállapodások, és az általános nemzeti politikák irányítják, míg az alkalmazkodást többnyire az érintett személyek, közösségek, intézmények, jogi személyek, vállalkozások. Mivel a kibocsátás éghajlat módosító hatása az egész világot átfogja, ezért az alkalmazkodás mindenki feladata, az alkalmazkodás kényszere viszont sokszor azokat sújtja a leginkább, akik a kibocsátásért a legkevésbé felelősek. A kibocsátások mérséklésének a hatása globális léptékben, de időben késleltetve jelentkezik, ezzel szemben az alkalmazkodás azonnali intézkedést és választ jelent.

Az alkalmazkodás és a megelőzés között kölcsönös kapcsolatok lehetnek a döntéshozás minden szintjén. Az alkalmazkodás, gyakran alig felismerhetően és véletlen jelleggel, hatással lehet a megelőzésre. A hőség elleni védekezésre használt légkondicionálás energiafogyasztást eredményez, ami negatívan hat a megelőzésre, a fokozódó erózió ellen védekezésül ültetett erdők viszont pozitív hatással vannak a szénelnyelés, végső soron a megelőzés számára. A megelőzés, az ezt szolgáló mérséklési intézkedés is kihatással lehet az alkalmazkodásra.

A megelőzés és az alkalmazkodás társadalmi, a közvélemény általi megítélése eltérő. A megelőzés, a mérséklés kérdése, – ami jórészt a különféle fogyasztások visszafogását, így pl. a ma már mindennaposá váló személygépkocsi csökkenő használatát jelentené – mindenkit érint és érdekel, ezért a társadalom jó része erre érzékeny. A megelőzés kérdései nagyobb társadalmi visszhangot kapnak, a téma és képviselői nagyobb teret kapnak a különféle médiákban, a közvélemény az éghajlatváltozás kérdését ezért sokszor hajlamos leegyszerűsíteni a megelőzésre. Az alkalmazkodás sokkal inkább szektor- és helyspecifikus, kérdései ezért ritkábban is kerülnek a szélesebb nyilvánosság elé. Ez viszont azzal a veszéllyel jár, hogy aránytalanul kevesebb érdeklődés mutatkozik iránta minden vonatkozásban, a tudományos kutatások lehetőségének biztosításától a média által elősegíthető közvéleményi támogatásokig.

Az éghajlatváltozás és a fenntartható fejlődés

Az éghajlatváltozás, közvetlen és az alkalmazkodási képesség csökkenéséből adódó közvetett negatív következményei miatt, önmagában lassíthatja a fenntartható fejlődést. A fenntartható fejlődés ugyanakkor az alkalmazkodás elősegítésével, az alkalmazkodóképesség fokozásával csökkentheti az éghajlati sérülékenységet. A fenntartható fejlődést megcélzó tervek között ma még kevés olyan van, amelyik magába foglalja az

éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást, és tartalmazza az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás képességének fejlesztését. Másfelől nem kétséges, hogy az éghajlatváltozás lehetőségének felismerése, egyfajta klímatudatosság, ösztönözheti az országokat a fenntartható fejlődés útjának választásában.

A fenntartható fejlődés költségigényes. Az éghajlatváltozás figyelembe vétele a fenntartható fejlesztésekben a költségeket növelik, és ezek a költségek – mai költségszintre diszkontálva – a globális hőmérséklet emelkedésével növekednek. Különösen nagy költségek merülnek fel az alacsonyabb földrajzi szélességeken, a sarkvidéki területeken, ahol a hőmérséklet már kisebb emelkedése is az alkalmazkodás növekvő költségeivel jár együtt. Nagyon valószínű, hogy az olyan térségekben is, ahol az éghajlatváltozás kezdetben többféle előnnyel is jár, magasabb hőmérsékleti növekedésnél ezek az előnyök csökkennek, sőt az alkalmazkodás költségei növekednek. A Harmadik Értékelő Jelentés véleményét megváltoztatva a Negyedik Értékelő Jelentés azt állapítja meg, hogy a globális hőmérséklet 4 °C-os emelkedése a globális GDP 1–5%-os csökkenésével járhat együtt, a csökkenés különösen nagy lehet a fejlődő országokban.

Legfontosabb feladatok a jövőben

Az IPCC Negyedik Értékelő Jelentése megállapítja, hogy jóllehet a Harmadik Értékelő Jelentést követően igen jelentős kutatási lépések történtek az éghajlatváltozás, a várható hatások felismerése, az éghajlatváltozás különböző szektorokra és térségekre gyakorolt hatásainak vizsgálata területén, és az alkalmazkodás és az alkalmazkodó képesség kérdéseit a korábbiaknál mélyebben is tárgyalták, sok kérdésben további lépésekre lesz szükség (IPCC 2007d). Ezek között a legfontosabbak:

- az észlelések növelése különösen a fejlődő országokban, mivel a mai észlelések változatlanul egyenetlenül oszlanak meg a Föld egészén,
- a szélsőséges éghajlati eseményekben (aszály, trópusi ciklonok, extrém hőmérséklet, nagycsapadékok) beálló változások kimutatására alkalmas eljárások fejlesztése,
- az éghajlatváltozás hatásának kimutatása természetes és humán rendszerekben, figyelembe véve a nem éghajlati hatásokat és a meghozott alkalmazkodási intézkedéseket,
- a földhasználati váltásból eredő szén-dioxid kibocsátások, és egyes individuális források metánkibocsátásainak vizsgálata,
- a szén-dioxid stabilizáció szintje és a globális melegedés fokozata közötti kapcsolatok jobb megértése,
- egyes visszacsatolások (felhőzet, az óceánok hőelnyelése, a szénkörforgás) szerepének jobb tisztázása, majd a modellekbe építése,
- a kisebb térségek és rövidebb időszakok éghajlati jellemzőiben, mindenekelőtt a csapadékban várható változások megbízhatóbb előrejelzése,
- az aeroszolok hőmérsékleti válasza, a felhőzetre és csapadéokra gyakorolt hatása,
- a grönlandi és antarktisi jégtömegek olvadása és a tengerszint emelkedése közötti kapcsolat alaposabb vizsgálata,
- a 2050 utáni éghajlati forgatókönyvek erősen kibocsátás- és éghajlati modellfüggők, ezért szükséges az éghajlati forgatókönyvek pontosítása, az éghajlatváltozási

foratókönyvek bizonyos mértékű szabványosítása, segítve a különböző szektorokra és térségekre készített hatástanulmányok összehasonlíthatóságát,

- az éghajlati hatásvizsgálatokban valamennyi hatótényezőt szimultán figyelembevevő modellek fejlesztése, és elterjedtebb használata.
- hatásvizsgálati tanulmányok számának növelése, különösen Afrika és Latin-Amerika térségére
- növelni kell annak ismeretét, hogy a tervezők, fejlesztők, miként építsék be az éghajlat változékonyság és változás ismereteit a döntéseikbe,
- az alkalmazkodási és megelőzési lehetőségek feltárása a gazdasági-társadalmi fejlődési utak függvényében,
- az alkalmazkodás korlátainak, akadályainak és költségeinek alaposabb ismerete szükséges,
- a megelőzés költségeinek becslése,
- a nem éghajlatbarát politika hatása kibocsátásokra.

Irodalom

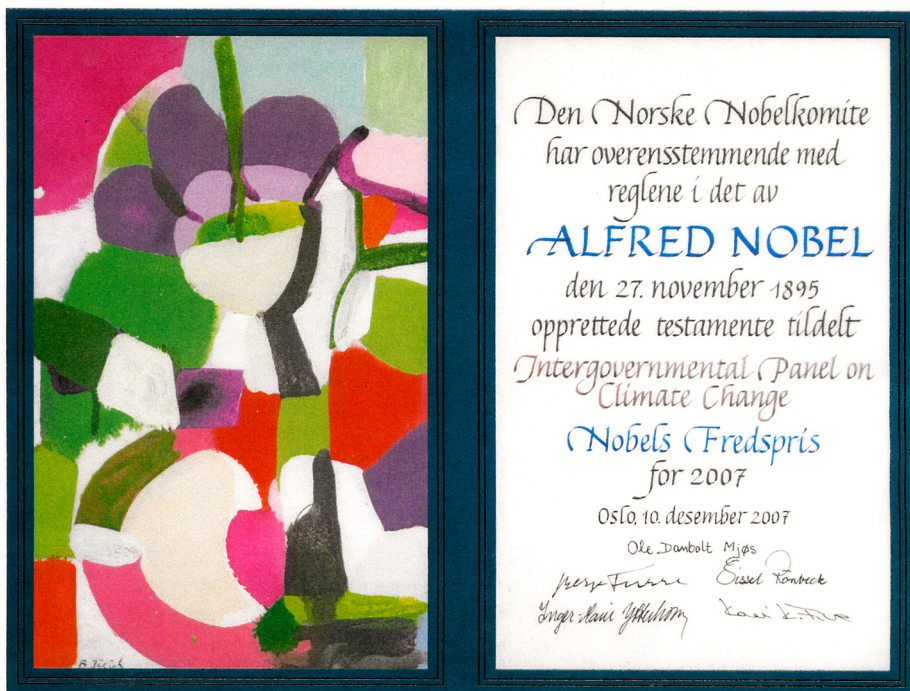
- ALCAMO, J., MORENO, J. M., NOVÁKY, B., BINDI, M., COROBOV, R., DEVOY, P. J. N., GIANNOKOPOULOS, C., MARTIN, E., OLESEN, J. E., SHVIDENKO, A. 2007: Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptations and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change, PARRY, M. L., CANZIONE, O. E. PALUTIKOFF, J. P., VAN DEN LINDEN, P. J. AND HANSON, C. E. Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 541–580
- BURKE, E. J., BROWN, S. J., CHRISTIDIS, N. 2006: Modelling the recent evolution of global drought and projections for the 21st century with the Hadley Centre climate model. *J. Hydrometeorol.*, 7, 1113–1125.
- FARAGÓ T. 2007: Az IPCC és Magyarország. Éghajlatváltozás, nemzetközi együttműködés és a Nobel-díj” Konferencia, Budapest
- FRY, C. 2008: The Impact of Climate Change – the world’s greatest challenge in the twenty-first century. New Holland Publisher (UK) Ltd.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). HOUGHTON, J. Z., DING, Y., GRIGGS, D. J., NOGUER, M., VAN LINDEN, P. J., XIAOSU, D. (eds.). Cambridge University Press, UK. Pp. 944
- IPCC, 2007a: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change [SOLOMON, S. D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIES, H. B. AVERYT, M. TIGNOR, MILLER, H. L. (eds.) Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 pp.
- IPCC, 2007b, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. PARRY, M. L., CANZIANI, O. F., PALUTIKOFF, J. P., VAN DEN LINDEN, P., HANSON, C. E. Eds. Cambridge University Press. Cambridge, 976 pp
- IPCC, 2007c: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007d: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds). IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- KROCKENBERGER, A. K., KITCHING, R. L., TURTON, S. M. 2003: Environmental Crisis: Climate Change and Terrestrial Biodiversity in Queensland, Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and management. Rainforest CRC, Cairns. 30 pp.
- ZIERL, B., BUGMANN, H. 2005: Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. *Water Resources Research*, 41(2): art. no. W02028

CLIMATE CHANGE, ITS EFFECTS AND ACTIONS IN THE LIGHT
OF THE FOURTH ASSESSMENT REPORT OF THE IPCC

B. NOVÁKY

Szent István University, Institute of Environmental and Landscape Management, Department of Nature
Conservation and Landscape Ecology
2103 Gödöllő, Páter K. 1. e-mail: novaky.bela@kti.szie.hu

The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), published in 2007 stated that the climate of the Earth had been warming since the industrial revolution. A highly probable cause for this warming is the increasing amount of greenhouse gases, notably carbon dioxide as a consequence of various human activities. If this emission keeps its current measure or even increases, the extent of global warming may exceed 2,5–5,5 °C until the end of the 21st century. Global warming will have effects on regional climate, natural physical and biological systems and human systems. Several signals indicate that these changes have already started. As a consequence of warming, polar ice is melting, area of glaciers and permafrost is decreasing, sea level is rising, usable water stock is decreasing in areas with dry climate, extremities in weather (drought, floods) become more frequent. Climate change, together with non-climatic effects (land use changes, pollutions, mass exploitation of natural resources), threatens several ecosystems, especially in case of warming by more than 2–3 °C. Biogeographical zones are shifting; e. g. forests expand onto tundra areas and subtropical areas onto tropics. Climate change threatens biodiversity as well; 20–30% of known species may disappear. As a consequence of warming seas, a sharp rate of coral crawls may disappear, territory of some species may decrease due to polar ice melting, mangrove ecosystems are endangered by rising sea level. Considering human sphere, number of people living in areas with water shortage is increasing, safety of food supply is declining at a longer period, and risk of infectious diseases is growing. Sea level rise threatens the safety of several million shore inhabitants. There are two ways to avoid or reduce harmful effects of climate change: one is mitigation of climate change, the other is adaptation to new climatic conditions.



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE



PRESENTED TO

BELÁ NOVÁKY

FOR CONTRIBUTING TO THE AWARD OF THE

NOBEL PEACE PRIZE

FOR 2007 TO THE IPCC

R. K. Pachauri
IPCC Chairman

R. Christ
IPCC Secretary