

**REIDAR
MÜLLER**

**TŰZ
ÉS
JÉG**

TÜZ

REIDAR
MÜLLER

ÉS

A FÖLDI ÉGHAJLAT
TÖRTÉNETE

JÉG

FORDÍTOTTA PATAT BENCE


TYPOTEX

This translation has been published with the financial support of NORLA.



A könyv megjelenését a Nemzeti Kulturális Alap
a kiadói program keretében támogatta.



Nemzeti
Kulturális
Alap

Ild og is

© Reidar Müller

First published by H. Aschehoug & Co. (W. Nygaard) AS, 2022

Published in agreement with Oslo Literary Agency

Hungarian translation © Patat Bence, 2024

Hungarian edition © Typotex, Budapest, 2024

Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

Lektorálta: Dulai Alfréd

ISBN 978 963 493 316 8

TARTALOM

AZ ÉGHAJLAT SZÍNPADA	11
ÉGHAJLATI REJTÉLYEK A DÉLI-SARKON	17
Erdő az Antarktiszon	19
A földrészek klímátánca	22
A „hógolyó Föld”	25
Amikor az éghajlat elszabadul	28
A világ legrégebbi erdeje	33
A halvány fiatal Nap paradoxonja	37
SZÉNREJTÉLYEK	40
Aligátorok az Északi-sarkvidéken	42
Szénrejtélyek	44
Egy ősrégi szénrejtély	48
A metánszörnyeteg	55
Egy jövőbeli éghajlati bomba?	58
Egy hidegebb világ felé	61
Tevék az Északi-sarkon	65

A NAGY FAGY	71
A klagenfurti sárkány	73
Rejtélyek a norvég hegyek között	75
Vízilovak Londonban	79
Ad undas – összeomlanak a jégsapkák	82
Az ítéletnap gleccsere	86
A gondnok, aki megoldotta a jégkorszakok rejtélyét	88
Utazás az univerzumba	92
A Föld pulzusa	95
Az éghajlat mint az ember evolúciójának hajtóereje?	98
Exit Afrika	102
Mikor lesz a következő jégkorszak?	105
AZ ÉGHAJLAT A BILLENŐPONTON	110
Ezer évszázadnyi éghajlatváltozás	113
A természet egy seggfej	115
A jégkorszak hirtelen vége	119
A billenőponton	121
A nagy szállítószalag	125
Elérkezett az ítélet napja	129
AZ UTOLSÓ PARADICSOM	133
Erdő a kopár hegyen	135
A gleccserek összeomlása	141
A zöld Szahara	143
Áradások	146
Halál a gleccseren	150
Az ember, aki kivágatta a világ legöregebb fáját	153
Világtörténelem a tenger fenekéről nézve	156

ÉGHAJLATI VÁLSÁGOK	161
A holtak tava	162
A világ legrosszabb éve	166
A Valhalla felé	169
Az összeomlás	173
Nedvesség és hideg mindenütt	178
Vulkánok, napfoltok és rút kiskacsák	182
Egy rettentően magas jéghegy	187
Kis jégkorszak – csak hőmérsékletek?	192
A jég és a hideg vége	195
AZ EMBER KORA	200
A pszichozoikum felé	202
Vissza az eocénba	204
Lakhatatlanná válik a bolygó?	211
Az éghajlat jelentette fenyegetés	214
UTÓSZÓ	219
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	222
AJÁNLOTT IRODALOM	223
JEGYZETEK	226

„Kezdetben, fény és sötétség, tűz és jég között volt a Ginnungagap, a nagy, feneketlen üresség. A Ginnungagap két világot választott el: Niflheimet, a köd, fagy és hideg világát, és Muspelheimet, a lángok, a tűz és a melegség világát. Ebben a hatalmas ürességben – fény és sötétség között – kezdődött aztán minden élet.”

Az óészaki teremtéstörténetből

AZ ÉGHAJLAT SZÍNPADA

Soha, sem azelőtt, sem azóta nem jártam annyira kihalt vidéken. Három társammal vettem részt terepmunkán a Spitzbergákon, az Agardh-öbölben, Longyearbyentől 50 kilométerre. A pusztaság közepén lapos, lecsapott tetejű hegyek, zubogó folyók, amelyek többfelé ágaznak a tenger és a kékesszürke Storfjord felé, ahol kis jéghegyek lebegnek a vízen. Zord szépség jellemzi a kopár és fátlan sarkvidéki tájat. Napközben helikopterrel szállítottak oda minket Longyearbyenből, este pedig az éjféλι nap átható fényében haladtunk a terepen. Csipkézett sziklák és kavicsos tengerpartok mentén gyalogoltunk, meredek kőhalmokon másztunk át, és zúgó patakokon gázoltunk keresztül.

Egy geológust az efféle túrák mindig izgatott várakozással töltik el: vajon ezúttal mi kerül elő? Mit mesélnek nekünk a kőzetrétegek a hajdani tájról, az egykori életről és az éghajlatról? A terepen töltött napok gyakran összefolynak, korán kelünk és későn fekszünk le, és végül mintha ébren és álmunkban is csak kőzeteket látnánk. Ezen az úton a legmeghatározóbb emlékem – amellet, hogy jegesmedve nyomaira is bukkantunk – az volt, amikor egy 180 millió éves homokkőrétegből hatalmas, egymás hegyén-hátán heverő, elszenesedett fatörzsek kerültek elő. Mintha előző este vágták volna ki őket – a farönkök arról tanúskodtak, hogy a szigetcsoporton hajdan egészen más éghajlat uralkodott.

Sokszor jártam a Spitzbergákon. Egyetemistaként két hetet töltöttem ott terepmunkán. Akkor a Reindalen-völgy fölötti csipkés sziklával foglalkoztunk, és a homokkőből 50 millió éves kőris-, szil- és bükkfák kövületei kerültek elő. A hegyoldalban vékony szénrétegek futottak körbe, jelezve, hogy valaha mocsár és áthatolhatatlan bozót terült el ott. A szigetcsoport nem mindig volt kopár és fátlan, egykor termékeny és meleg volt. A kietlen tundra egyhangúságát ma egyetlen fa sem töri meg, de a kőzetrétegek elemzése után el tudtuk képzelni, hogy hajdan hatalmas lombos erdő borította a szigetet.

Egy biztos: az éghajlat és a táj idővel változik. Semmi sem állandó. Nap mint nap szembesülünk a globális felmelegedéssel, ám sokszor nem érzékeljük a változásokat. Talán észrevesszük, hogy a telek egyre rövidülnek, a virágok korábban nyílnak, és már márciusban vége a síszezonnak, de ehhez hamar hozzászokunk. Az új, megváltozott éghajlat lesz az új normalitás. A változásokat ugyanis egyik napról a másikra nem észleljük. Nálunk, geológusoknál viszont, akik a földtörténeti idő mélységeibe szállunk alá, ez másként van: mi látjuk, ahogy világok tűnnek el, és újak jönnek létre. A nagy változások foglalkoztatnak bennünket, ezek mutatkoznak meg a kőzetrétegekben, mint például az, hogy a Spitzbergák fagyott talajú, kopár tájait valaha dús erdők borították.

Gyakran tesznek fel nekem ilyen kérdéseket: mikor volt utoljára olyan meleg, mint most? Emelkedett valaha a hőmérséklet olyan gyorsan, mint most? A szén-dioxid-szint korábban is volt olyan magas, mint ma? Ahhoz, hogy erre válaszolni tudjunk, néhány évezrednél jóval messzebbre kell visszamennünk az időben: a jelenlegi szén-dioxid-kibocsátások több millió éves rekordokat döntenek meg. A talajban évmilliók alatt felhalmozódott sok milliárd tonna szén most rendkívül gyorsan kerül a légkörbe.

Naponta 95 millió hordó kőolajat égetünk el – ha sorba állítanánk őket, körbeérnék az Egyenlítőt. Emellett naponta 2,5 millió teherautónyi szenet is felhasználunk, az ezekből álló sor is körbeérne az Egyenlítőn. És mindennap csaknem 10 milliárd köbméter földgázt is elégetünk.¹ Ezt a sok szenet növények és algák vonták ki egykor a lég-

körből, a természet legfontosabb találmányának, a fotoszintézisnek a segítségével. A növények és algák lassan eltemetődtek – kikerültek a szénkörforgásból –, és ezek alkotják ma a bolygó hatalmas szénkészletét. A Földön található szén szinte teljes mennyisége: 99,99 százaléka, mintegy 100 millió gigatonna van elraktározva szén, földgáz és kőolaj formájában – de mészkőként is. Jelenleg ezt a készletet éljük fel gátlástalanul. A szén – geológiai mércével nézve – rekordsebességgel áramlik ki a levegőbe. Korunk egyik legnagyobb kérdése, hogy ez hogyan hat a légkörre, az életre és a Föld éghajlatára.

A Föld története a távoli múltba nyúlik vissza, és a múlt meghatározza a jelent is. Az általunk ismert élet, táj és éghajlat sok-sok ezer, sőt millió év során alakult ki. Ahhoz, hogy megértsük ezt az ősrégi, bonyolult, folyamatosan változó bolygót, el kell kezdenünk úgy gondolkodni, mint a hegyek – írja *Timefulness* („Időtudatosság”) című könyvében Marcia Bjornerud geológus. Magunkévá kell tennünk a bolygó hosszú történetét – az idő mélységét. Ez hozzásegíthet bennünket ahhoz, hogy jobban vigyázzunk rá, és egyúttal utat mutasson a jövőbe. A Föld éghajlatának története olyan, mint egy végtelen zenemű, amelynek ritmusa és tempója állandóan változik. Az éghajlat ütemváltásainak értelmezése segíthet annak megértésében, mi történik bolygónkkal a jelenben és a jövőben. Mi, emberek kietlen földrészeket fedeztünk fel, űrszondákat küldtünk más bolygókra, és zászlót tűztünk ki a Holdra. De emellett a Föld hosszú történetét is meghódítottuk. Az elmúlt kétszáz évben feltártuk a Föld távoli múltját, és a prekambriumtól a negyedidőszakig eonokra, időkre, időszakokra és korokra osztottuk azt. Időutazást tettünk ezekbe az idegen korszakokba, rekonstruáltuk a tájakat, kontinenseket mozgattunk és népesítettünk be, a kambrium időszak trilobitáitól a triász időszak dinoszauruszain át a paleocén korszakig, amikor az emlősök meghódították a bolygót. E hosszú-hosszú történet során az éghajlat folyamatosan változott: hűtőházról üvegházba vagy elviselhető hőségéből extrém hidegbe fordult. Bár ismereteink továbbra is hiányosak, távoli múltunkat a tavak és a tengerek aljzatáról, mocsarakból, barlangokból, gleccserekből és a kőzetrétegekből nyert, egyre bővülő éghajlati archívumnak köszön-

hetően életre tudjuk kelteni. Így alkotjuk meg az éghajlat történetét, amelyből különösen egy, a földtörténeti középkorban bekövetkezett éghajlati optimum, egy jégkorszak és egy 50 millió évvel ezelőtti meleg időszak emelkedik ki.

A földtörténetet gyakran hiányos adatok alapján kényszerülünk rekonstruálni, áthidalva a szédítő időszakadékokat, és elfogadva, hogy a „bizonyítékok” többsége már rég megsemmisült. Sokszor csak jelekre vagy közvetett bizonyítékokra hagyatkozhatunk. Az idő mélyének térképén továbbra is sok a fehér folt, de archívumunk egyre bővül, és gyorsan dolgozunk ki új vizsgálati módszereket is. Ezáltal egyre több színt tudunk vinni a történetbe. Még messze nem járunk az út végén, mivel ismereteink – az éghajlathoz hasonlóan – állandóan változnak. Elgondolkodtató, hogy a földi éghajlat történeti értelmezését ma meghatározó két legfőbb elmélet – a lemeztektonika és a Milankovič-ciklusok elmélete – hatvan évvel ezelőtt még nem volt általánosan ismert. Ennek tudatában ez a könyv azt is vizsgálja majd, hogyan változtak az éghajlattal kapcsolatos ismereteink.

„Az éghajlat az a színpad, ahol az ember élete – az emberiség története – játszódik, és amely rögzíti annak a kereteit, hogy mi történhet a Földön” – írta Wilhelm Lauer német geográfus.² Az, hogy a Föld lakható, hogy ezen a bolygón létrejött és évmilliókon át fennmaradt az élet, éppen az éghajlatnak köszönhető. Ha a bolygót egy kicsit messzebb löknénk a Naptól, jéghideg lenne, mint a Mars. Ha közelebb keringene hozzá, forró és élhetetlen lenne, mint a Vénusz. Egy kozmikus kötél tánc biztosítja az alapját fajunk történetének és a Földön létező élet egészének: míg bolygók trilliói éghajlati szempontból élhetetlen sötétségben maradnak, néhány a Stephen Hawking fizikus által Goldilocks-zónának elnevezett lakható övezetben helyezkedik el.* Ez az a keskeny öv egy csillag körül, amely éppen megfelelő a fejlett élet számára. Itt lehetetlenül egyensúly áll

* A Goldilocks, „Aranyfürtöcske” elnevezés a klasszikus angol mesére utal, melynek hőse a medvék házában talált három tál kása közül az elsőt túl melegnek, a másodikat túl hidegnek, a harmadikat éppen megfelelőnek találja – *a szerk.*

fenn tűz és jég, az élettelen sötétség és az égető pokol között. A mi kék bolygónk is egy ilyen övezetben lebeg.

Az ember évmilliók alatt fejlődött ki a legegyszerűbb organizmusokból. Történelmünk során egymást követő civilizációk születtek, virágoztak fel és hanyatlottak le. Háborúkat vívtunk, piramisokat, katedrálisokat és felhőkarcolókat építettünk. És éltük az egyszerű hétköznapi kis életünket. Az éghajlat úgy volt jelen benne, mint valami láthatatlan kéz, amely megadta a kereteket elődeink élete számára. Ahogy Hubert Lamb éghajlatkutató írja, az ember az éghajlatot mindig is megbízhatatlannak és változónak élte meg. Néha „váratlan lehetőségeket teremtett, máskor viszont katasztrófákat, például éhínségeket, áradásokat, aszályokat és járványokat okozott”. Ez teremtette meg az elemi igényt arra, hogy megpróbáljuk értelmezni és megérteni a történeteket, és ennek nyomait megtaláljuk a világvallásokban. Ugyanez a törekvés a modern éghajlattudomány hajtóereje is. A látómezőnket azonban ennél tovább is tágíthatjuk: az éghajlat sok tekintetben meghatározó volt az evolúció szempontjából is. Nemcsak társadalmunk, hanem testünk, sőt, tudatunk működése is a változó éghajlathoz való evolúciós alkalmazkodás eredménye.

Ez a könyv időutazásra hív az éghajlat történetének utolsó 600 millió évén át. Ebben az időszakban az éghajlat a két véglet között csapongott. A változások néha lassan, évmilliók alatt mentek végbe a kontinensek lassú vándorlása következtében, máskor viszont gyorsan, hatalmas vulkánkitörések, aszteroidabecsapódások vagy hirtelen lelassuló tengeri áramlások hatására következtek be.

A Spitzbergák szürke kősvatagában meglevenedett előttem sötét történelmünk néhány ellenpólusa. 55 millió éve erdők hajladoztak itt. Akkoriban a bolygó a mainál 14 fokkal melegebb volt. Ha viszont csak 20 ezer évet megyek vissza az időben, egész más helyzetet találok. Akkor az északi félteke jelentős részét jég borította. Ott, ahol álltam, a jég vastagsága elérte az ezer métert, a globális átlaghőmérséklet pedig a mostaninál hat fokkal alacsonyabb volt.

Amikor először jártam a szigetcsoporton, nem sokat gondolkodtam ezen. Inkább a részletek nyugtáztak le: az, hogy a folyócsatornák

évmilliókkal korábban hogyan kanyarogtak egy nagy deltasíkságon át. Bár már akkor is amellettt érteltünk, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátását mérsékelni kell, még egészen új dolognak számított, hogy az emberiség szédítő tempóban megváltoztatja a Föld éghajlatát. És azóta is csak robogunk tovább az ismeretlen éghajlatú jövő felé.

Ugyanakkor az éghajlat története hullámokat ver az éghajlatváltozásról folyó vitában, amelynek szemben álló résztvevői folyamatosan hivatkoznak rá. Egyesek azt emelik ki, hogy a Föld korábban a mai-nál melegebb volt, és úgy vélik, hogy a jelenlegi felmelegedés teljesen normális és problémamentes. Mások – ezzel szöges ellentétben – azt állítják, hogy a bolygó éghajlati rendszere mindaddig stabil és paradicsomi volt, amíg mi, emberek ki nem billentettük az egyensúlyából. Ez a könyv azt kívánja bemutatni, hogy a Föld éghajlatának története bonyolult és összetett. Voltak benne óriási hóhullámok, szárazságok és pusztító jégkorszakok is. És a mindenkori éghajlat törékenynek bizonyulhat: hirtelen változások is bekövetkezhetnek, amelyek drámai hatást gyakorolhatnak a bolygó élővilágára.

Ez a könyv arról szól, hogy miként változott a Föld éghajlata a bolygó hosszú története során. De a fő kérdés, ami mindvégig foglalkoztat, az, hogy mit taníthat nekünk a földtörténeti múlt éghajlata a jövő globális felmelegedéséről. Ebben én is az „időtudatosság” szemléletmódját követem: a múlt mélységeit feltárva a jövőbe keresek betekintést. A múlt bizonyos értelemben a jövő megértésének a kulcsa.

ÉGHAJLATI REJTÉLYEK A DÉLI-SARKON

Egy professzor mondta nekem egyszer, hogy ha geológiából akarok doktorálni, akkor buta és okos is vagyok egyszerre. Buta, mert sokkal kevesebbet keresek, mint azok, akik a jövedelmező kőolajágazatban helyezkednek el, és okos, mert egy disszertáció megírásához ész kell. Amikor végeztem a mesterszakon, mégis vállaltam a kockázatot, és beiratkoztam a doktori képzésre. Az éghajlatot akartam kutatni – nem a legutóbbi jégkorszak alatt vagy a mi interglaciális korszakunk idején bekövetkező, rövid távú változásokat, hanem az évmilliók alatt lejátszódókat.

Részletesen, méterről méterre tanulmányoztam az Északi-tengerből felhozott fúrési magmintákat. Különösen a megkövült őstalajok, az úgynevezett paleoszolok érdekeltek. Ezek egy régen letűnt táj ősi tanúi. A paleoszolok nemcsak azt mutatják, hogy az Északi-tenger valaha szárazföld volt, amelynek széles síkságán folyók kanyarogtak a tenger felé, hanem az éghajlat alakulásáról is számos titkot felfednek.

Életemből három évet töltöttem a régi talajszelvényekkel. Bár nagy munka volt – több ezer méternyi mintát vizsgáltam meg, izotópokat elemezve –, az adatoknak végül csak egy töredékét használtam fel. Az ősi talajprofilok arra utaltak, hogy az itteni éghajlat a triászból a jura időszakba érkezve, azaz mintegy 200 millió évvel ezelőttre döntően megváltozott. A triászban a talaj sivatagszerű, vörösesbarna volt: Skandinávia éghajlata a mai India egyes területeiére

emlékeztetett, száraz és forró volt, időnként erőteljes esőzésekkel. A jurában az éghajlat megváltozott: nedvesebb lett. Fekete szénrétegek tanúskodnak arról, hogy a széles folyódeltákat és az öblökkel szabdalt partokat erdők és mocsarak borították. A vörösös helyett a zöldes árnyalat jelent meg a területen. A teljes folyamat több tíz millió évet vett igénybe.

A vörösösbarna, ősi talajszelvényekben egy fehér, csőszerű lelet is felbukkant. Kiderült, hogy a *Plateosaurus* nevű dinoszaurusz egyik csontjának darabja. Nemcsak hogy ez lett Norvégia egyetlen dinoszauruszlelete, de a *legmélyebben* talált dinoszauruszmaradvány is a világon, mivel a csontdarabot 2256 méterrel a tenger aljzata alatt találták. A csont azt bizonyította, hogy bár az éghajlat időnként barátságatlan volt, a mai Északi-tenger területén is éltek állatok.

Engem az éghajlat mélyebb történetében ezek a nagy felfordulások nyűgöznek le igazán – az, hogy a hideg és viharos Északi-tenger egykor forró síkság volt, hogy a Szaharában jégkorszakok 455 millió éves nyomaira bukkanhatunk, Európa északi részén és Észak-Amerikában pedig trópusi erdők 310 millió éves maradványaira. Ám amikor rámutatok az ilyen kontrasztokra, vannak, akik hitetlenkedve néznek rám, és azt kérdezik: akkor mi a helyzet a mostani éghajlatváltozással? Hisz ez csak egy jelentéktelen kilengés a földtörténet hatalmas éghajlatváltozásaihoz képest, nem?

Az éghajlatváltozás különböző időtávlatokban mehet végbe. Bekövetkezhet gyorsan, mint a jelenlegi globális felmelegedés esetében, de akár nagyon lassan, évmilliók alatt is. Ezért nincs sok értelme a jelenlegi éghajlatváltozás kapcsán arról beszélni, hogy a kréta időszakban 10 fokkal melegebb volt, mint most, vagy hogy a triász időszak alatt a hűvös Északi-tenger helyén száraz és forró táj terült el. A „lassú” éghajlatváltozásokat kiváltó folyamatok általában alapvetően különböznek azoktól, amelyek a „rövid távúakat” irányítják. De vajon a geológiai múltban mi okozta a nagy és lassú éghajlatváltozásokat?

Erdő az Antarktiszon

„A Déli-sark! Igen, a Sark, de mennyivel másképp képzeljük el ezt a pillanatot!... Nagy ég! Borzalmas hely ez”* – írta naplójában Robert F. Scott 1912. január 17-én. A Déli-sark korábban szűz és felfedezetlen volt, de Roald Amundsen expedíciója, ha mindössze öt héttel is, megelőzte a britekét. A visszaúton pedig egy mártír mítosza született meg: szinte mindenki hallotta már a Scott és társai tragikus sorsáról szóló történetet.

Az Antarktisz sokáig csak mint *Terra Australis Incognita*, a „déli ismeretlen kontinens” élt az emberiség képzeletében. Elsőként 1820-ban, egy Fabian von Bellingshausen és Mihail Lazarev által vezetett orosz expedíció pillantotta ténylegesen meg a földrészt, és az antarktisi szárazföldre csak 1853-ban tették először a lábukat vadászok és felfedezők.¹ Az Északi-sarkvidéket sokkal alaposabban felkutatták már, az Antarktisz viszont még kétszáz éve is ember nem járta jégsivatag volt. Aztán elkövetkezett a „hőskorszak”, amikor a térkép fehér foltjából a dicsőségért, a hírnévért és a hatalomért folytatott küzdelem színterévé vált: szűz kontinenssé, amelynek felfedezése és meghódítása nemzetek és birodalmak identitásépítéséhez járult hozzá. Egyre újabb expedíciók vágtak neki a jeges déli pusztaságnak.

Robert Scott és a Terra Nova 1911-ben horgonyzott le a McMurdo-szorosban. Az expedíció 65 résztvevője között számos tudós is volt, hiszen szemben Roald Amundsennel, aki a Déli-sark meghódítására vonatkozó tervében azt írta, hogy „a tudomány foglalkozzon csak saját magával”, a briteknek a sark elérése mellett az egész földrész felkutatása is célja volt. Scott hároméves expedíciója során az akkori leghosszabb egybefüggő időjárási adatsort gyűjtötték. 2109 állatot, növényt és kővetet szállítottak Angliába, ezek közül 401 faj újdonságot jelentett a tudomány számára.² Egy lelet különösen kiemelkedett: az, amely sokak szerint megpecsételte a Scott-expedíció sorsát.

* Halász Gyula fordítása.

Február 8-án, három héttel az után, hogy Scott és társai elérték a Déli-sarkot, a Beardmore-gleccserhez értek. Több hideg és szeles nap után a hőmérséklet végre fagyponthoz emelkedett. A visszaútnak még csak a felénél jártak, és még mintegy 600 kilométert kellett megtenniük a parton lévő bázisig. Alultápláltak és fáradtak voltak. Fagyási sérülések gyötörték őket.

Ez a leginkább Edgar Evanst érintette. Az összes ujjáról levált a köröm. Ennek ellenére nem siettek vissza a következő depópont-ra, hanem hosszabb időre megálltak a gleccsernél. A tudomány hívta őket: „geologizálni” akartak, ahogy Scott a naplójában írta. A Scott-tal szemben rendkívül kritikus szerző, Roland Huntford szerint ennek a megállónak a beiktatása „groteszk tévedés” volt.

A csapat csaknem egy egész napon át gyűjtötte a geológiai mintákat. „Rövid idő alatt néhány remek dolgot szereztem” – olvashatjuk dr. Edward Wilson örömben amúgy nem bővelkedő naplójában. A geologizálás tehát hasznosnak bizonyult, de időbe telt, és feltartotta az expedíció továbbhaladását – Huntford kemény bírálata ennek a végzetesnek bizonyuló késlekedésnek szólt.

Scott 15 kilónyi kőzetmintát gyűjtött társaival. Némelyik egyedülálló kőüveget tartalmazott, de Scott és az emberei ezt már nem tudhatták meg. A visszaúton egymás után érte őket a halál. Evans, aki egy esés következtében súlyosan megsérült, összeesett és a Beardmore-gleccsernél tett kirándulás után egy héttel a sátorban vesztette életét. „Borzalmas gyásznap” – jegyezte be Scott lakonikusan a naplójába Evans halálának napján.

Négy héttel később a fagyási sérülések Lawrence Oatest is szinte mozgásképtelenné tették. Hogy a többieket ne hátráltassa, a 32. születésnapján kísértelt a sátrából. Híres szavai örökre megmaradnak: „Kimegyek egy kicsit, és lehet, hogy egy ideig odamaradok.” A holtteste nem került elő.

A kimerültség és a sok megpróbáltatás ellenére az életben maradtak tovább húzták magukkal a kőzetmintákat a szánon. Március 21-én hóviharba kerültek, és a sátorban kerestek menedéket. Az időjárás miatt ott ragadtak, és egy héttel később a végkimerülés és a hideg

végzett velük. 18 kilométerre voltak a legközelebbi depóponttól, és mindössze 280 kilométerre az expedíció tengerparti bázisától. A szó szoros értelmében ez lett a britek végállomása.

Scott és társai fagyott holttestét csak 1912 novemberében találták meg. A sarkkutatók mellett ott heverték a naplók és búcsúleveleik. Scott ezt írta feleségének, Kathleennek: „Keltsd föl az érdeklődést funkban a természettudományok iránt, ha lehetséges: az jobb, mint a játékok.” Utolsó szavai így hangzottak: „Gyöngék vagyunk, az írás nehéz... Ezek az egyszerű följegyzések és halott testeink mondják el a mesét... A mi hatalmas és gazdag hazánk nem hagyhatja cserben szeretteinket.” Később az elhunytak emlékére keresztet állítottak a McMurdo-szorosnál: „Küzdöttek, kerestek, találtak és nem arattak” – vésték bele a fába.³

Megszületett hát a brit hősiesség és bátorság egyik mítosza. Scott expedíciója alulmaradt a Déli-sark meghódításáért folytatott versenyfutásban, de a résztvevők cserébe feláldozták magukat a tudományért. A sátor előtt álló szánon ott hevert az a 15 kilónyi kőzetminta, amelyet a britek az utolsó, végzetes hónap során végig magukkal vonszoltak. Milyen különleges leletekre tettek hát szert, és miben állt azok jelentősége?

Többek között ősnövénykövületeket találtak. Scott leletei később egészen egyedülállónak bizonyultak, noha az antarktisi szárazföldön már korábban is találtak növénymaradványokat. Amikor Carl Anton Larsen norvég bálnavadász 1892 decemberében partra szállt az Antarktisz északi csúcsánál, a Seymour-félszigeten, majd kitézte a norvég zászlót, döbbenetes módon tűlevelű fák 50 millió éves kövületeire bukkant.⁴

Miután a kőzetmintákat Angliába szállították, és alaposan elemezték, a szakértők megállapították, hogy Scott expedíciója során *Glossopteris*-kövületek kerültek elő. Ez egy kihalt fanemzetség, pontosabban egy több mint 280 millió éve élt magvaspáfrány. Nevét a nyelv alakú leveleiről kapta: az ógörög *glóssza* szó nyelvet jelent. Ez a fa egy sor különleges tulajdonsággal rendelkezett: gyökerei és levelei a gyors tavaszi növekedés és a fotoszintézis által irányított életciklus-

hoz alkalmazkodtak, és valószínűleg kivételesen jól ellenálltak a téli fagykároknak.

A növényi kövületek nemcsak megerősítették, hogy a Föld éghajlata a geológiai múltban melegebb volt, hanem azt is bizonyították, hogy az antarktiszi jégtakaró helyén valaha erdőségek húzódtak. Ám az akkori tudósok még nem értették, hogy ez miként lehetséges, és még jó időbe telt, mire elkezdtük jobban átlátni, mi irányítja a Föld éghajlatát. A német Alfred Wegener volt az a tudós, aki forradalmasította nemcsak az éghajlat, hanem a Föld működésére vonatkozó elképzeléseinket is. A Scott által talált megkövült levelek is azoknak a bizonyítékoknak a sorába illeszkednek, amelyek az ő hipotézisét támasztották alá.

A földrészek klímátánca

Alfred Wegener Berlinben született 1880-ban. Mindössze huszonöt évesen doktorált csillagászatból, később pedig meteorológiával kezdett foglalkozni. Életének nagy „heuréka!”-pillanata 1911-ben érkezett el, miközben Scott és társai az életükért küzdöttek a jégsivatagban. Az egyik kollégája egy világtaszt kapott ajándékba karácsonyra, a legelsőt, amely a kontinensek elhelyezkedését és a tengermélységeket is mutatta. A két férfi órakon át tanulmányozta az atlaszt, majd Wegener a szerelmének, Else Köppennek írt levelében megállapította, hogy Afrika és Dél-Amerika partjai összeillenek. Ezt Wegener előtt már többen észrevették. A németet különösen az döbbsentette meg, hogy a tengermélységek az Atlanti-óceán mindkét oldalán megegyeznek. Ez nem lehetett véletlen.⁵ A kontinenseknek egykor össze kellett érniük. „Ezt alaposabban meg akarom vizsgálni” – írta.

Wegener 1912-ben, csupán harminckét évesen ismertette elméletét a frankfurti geológuskongresszuson, de akkoriban nem került a lapok címlapjára. Munkáját félbeszakította az első világháború, amely során a belgiumi lövészárkokban harcolt. Kétszer is megsérült, másodszor a nyakát súrolta egy lövés. Lábadozása alatt, 1915-ben fejezte be

finoman szólva ambiciózus munkáját *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (A kontinensek és óceánok kialakulása) címmel. Wegener megfigyeléseit ahhoz hasonlította, mint amikor valaki egy széttépett újságot illeszt össze, hogy aztán megállapíthassa: az így helyreállított mondatok értelmeseek. A mai földrészekből a földtörténeti múlt szuperkontinensét rakta ki, amelyet Pangeának, azaz „egész Földnek” nevezett el. Teljesen helytálló módon elmagyarázta azt is, hogy ez a szuperkontinens később hogyan hullott darabokra azáltal, hogy Dél-Amerika és Afrika között repedés alakult ki, és megnyílt az Atlanti-óceán.

Az elmélet legfontosabb bizonyítékai közé tartozott, hogy a karbon és perm időszakokból származó növényi és állati kővületek a két kontinensen szinte teljesen megegyeznek.⁶ Művében kiemelte, hogy a karbon időszakban kialakult kőszén-sáv végighúzódik Észak-Amerikától Kínán át Európáig. A kőszén az Egyenlítő körül kialakult hatalmas erdőövből képződött, egy olyan földterületen, amely később északra sodródott. A *Glossopteris*-kővületek nyomós bizonyítékot jelentettek Wegener elméletében. Ilyeneket korábban Afrikában és Dél-Amerikában is találtak, ami egybevágott azzal, hogy ezek a földrészek valaha egyetlen kontinenst alkottak. Indiában, Ausztráliában és Új-Zélandon is felfedezték őket, ami pedig megerősítette Wegenernek azt az ekkor még újszerűnek számító és hevesen vitatott elgondolását, hogy a kontinentális lemezek nagy hajókként mozognak az izzó belsejű Föld felszínén. A *Glossopteris*-kővületek arra utaltak, hogy az eredeti szuperkontinensen hatalmas összefüggő erdőség terült el.⁷ Amikor pedig Wegener megtudta, hogy az Antarktiszon is megtalálták ezeket, elmélete újabb megerősítést nyert: egykor az Antarktisz is a Pangeához tartozott!⁸

Korábban több más kreatív ötlet is született annak magyarázatára, hogy bizonyos növényfajok kővületei miért fordulnak elő több kontinensen is, amelyeket ma óceánok választanak el egymástól. Franz Unger paleobotanikus 1861-ben fogalmazta meg elméletét, amely szerint az Atlanti-óceánban elsüllyedt kontinens – az Atlantisz – szárazföldi hidat alkotott a növények és állatok számára. A 19. század végén egy

osztrák geológus, Eduard Suess úgy vélte, hogy Dél-Amerika, India és Afrika egyetlen nagy kontinenst alkotott a déli féltekén. Ezt éppen a *Glossopteris*-leletekre alapozta. Suess szerint a földrészek a tengerszint emelkedése miatt váltak szét. Ezeket az elméleteket Wegener elvetette: a kontinensek szerinte elsodródtak egymástól.

Wegener elméletének fényében már nem tűnt annyira rejtélyesnek, hogy korábban erdők nőttek az Antarktiszon, vagy hogy Európát hajdan sivatag borította. Az összefüggéseket Wegener később a *Die Klimate der geologischen Vorzeit* (A geológiai őskor éghajlatai) című klasszikus művében foglalta össze, amelyet honfitársával és apósával, Wolfgang Köppennel írt. A földtörténet és az éghajlat krónikájában felszámolták a leleteket övező misztikumot: minden megmagyarázható azzal, hogy a kontinensek elmozdultak, és ezáltal a Föld arculata megváltozott.

Scottéhoz hasonlóan Wegener élete is a jégsivatagban ért tragikus véget. 1930-ban Grönlandra indult terepmunkát végezni. Három mérőállomást állítottak fel, hogy meteorológiai adatokat gyűjtsenek, és hogy megmérjék a jégtakaró vastagságát. Miután készleteket szállított a szárazföldi jégen lévő egyik állomásra, a visszafelé úton életét vesztette. „Senki sem ért el nagy dolgokat az életében anélkül, hogy azt gondolta volna: vagy sikerül, vagy meghalok” – írta naplójában.⁹

Wegener elméletét a kontinentális lemezek vándorlásáról kinevették, „képtelen hipotézisnek” és „mesének” nevezték. Az elmélet csak jóval a halála után, az 1960-as években vált elismertté – igaz, erőteljesen módosított formában és lemeztectonika néven – a fogalom az ógörög *tektón* szóból származik, amely építőmestert jelent. A lemeztectonika gyökeresen megváltoztatta az elképzeléseinket arról, hogy hosszú távon miért változott az éghajlat. A kontinensek különböző éghajlati övezeteken keresztül vezető útja mintegy bevésődött a geológiai rétegekbe. Ezáltal magyarázatot lehetett adni arra, hogy a sarkok közelében trópusi erdőkből származó vastag szénrétegek találhatóak, és hogy a Szaharában jégkorszakok nyomai fedezhetők fel. A disszertációmban leírt éghajlati változás is a lemeztectonika következménye volt: az Európa egy részét magában foglaló lemez, az úgynevezett

Balti-pajzs az Egyenlítőtől délre helyezkedett el, majd néhány száz millió év alatt jelentősen északra csúszott. Útközben a triász időszak során Skandinávia száraz vidékeken haladt át, a mai Franciaországé-
nak megfelelő szélességeken, a jurában pedig északra, jóval nedvesebb területre sodródott.¹⁰

A kontinensvándorlás többféleképpen érinti az éghajlatot. Befolyásolja a vulkanizmust is, amely a levegőben található üvegházhatású gázok mennyisége szempontjából fontos. A lemeztectonika irányítja a kontinensek elhelyezkedését, ami pedig meghatározza a tengeri és a légköri áramlásokat. A földrészek összeütközésekor hegységek gyűrődnek fel, így jött létre a Himalája is. Ez hatással van az erózióra, amely korlátozza a légköri szén-dioxid mennyiségét. A lemeztectonika a Föld éghajlati változásai mögött meghúzódó legfőbb hajtóerő – nem évszázadokban, hanem évmilliókban mérve.

Nagyjából 600 millió évvel ezelőtt a kontinentális lemezek lassú tánca egyfajta „hullámvasút-éghajlatot” teremtett a bolygón. E drámai történések magyarázatát kutatva pedig ismét útba kell ejtenünk az Antarktiszt.

A „hógolyó Föld”

George Bernard Shaw, a neves drámaíró 1922-ben azt tanácsolta szomszédjának, az arisztokrata Apsley Cherry-Garrardnak, hogy írjon könyvet. Garrard, aki súlyos depresszióban szenvedett, korábban részt vett Scott antarktisi expedícióján, a Déli-sarkra vezető végzetes útról azonban lemaradt. Elindult, hogy megkeresse honfitársait, és egy héten át várakozott az Egytonnás depónak keresztelt raktárnál, mindössze 18 kilométernyire attól a helytől, ahol Scott és társai megfagytak. Garrard utólag sokat ostorozta magát, hogy miért nem ment mélyebbre a kontinens belsejébe. Vajon megmenthette volna a társait?

Shaw úgy vélte, hogy Garrard megszabadulhatna a démonaitól, ha megírja a történetet. Garrardot büntudat gyötörte, és megírta *A világ legrosszabb utazása* című könyvet. Ez nemcsak Scotték kereséséről

szól, hanem Garrardnak a Crozier-fokra tett rémisztő kirándulásáról is. Wilsonnal és Bowersszel, akik később Scott-tal együtt fagytak meg, célul tűzte ki maga elé, hogy szerez egy császárpingvintojást, amit a pingvineken kívül még soha nem látott senki. A jéghideg antarktiszi télben 750 kilónyi felszerelést vontattak magukkal 100 kilométerre, oda és vissza. A néha mínusz 76 fokos hidegben úgy vacogtak a fogaik, hogy összetöredeztek. Garrardék sikerrel jártak, de három császárpingvintojás megszerzése harmincöt napjukba telt, „egy embernek az egészsége ment rá, háromnak pedig kis híján az élete”.¹¹

Egy ismert Monty Python-jelenetben négy férfi egymásra licitálva ecseteli, mennyire borzalmas gyermekkorra volt. Egy kicsit a sarkkutatás irodalma is erre a jelenetre emlékeztet, hiszen Garrard könyvének említéskor gyakran szóba kerül egy másik utazás is, amelyet még rettenetesebbnek tartanak.

Douglas Mawson huszonhat éves ausztrál geológus 1912 januárjában érkezett meg a Commonwealth-öbölbe. Ő vezette az ausztrál Antarktisz-expedíció tudományos munkáját. Itt élőben tanulmányozhatta, hogyan formálja a jég a tájat, és a gleccserek hogyan hagynak maguk után morénaüledékeket. Később az így szerzett ismeretei is hozzájárultak, hogy a távoli múltban felfedezzen egy óriási jelentőségű éghajlati eseményt. 1912 novemberében, amikor Scott sorsáról még nem lehetett tudni, Mawson legendás kutyszán-expedícióra indult Xavier Mertzcel és Belgrave Ninnisszel. Ők is „geologizáltak”, és ősmaradványokra bukkantak, de útjuk nem a tudományos leleteknek köszönhetően vált széles körben ismertté, hanem a dráma miatt, amit átéltek. Amikor egy hónap elteltével át akartak kelni egy gleccseren, Ninnis az egyik kutyszánnal belezuhant egy gleccserhasadékba. Az élelmük nagy részét, a sátrat és a legjobb kutyákat is elnyelte a sötét mélység. Ninnis sosem került elő a gleccserből, amely ma sajátos módon az ő nevét viseli.

Ninnis elvesztése után a másik két férfi megfordult, és visszaindult a bázisra. Az éhség arra kényszerítette őket, hogy sorban megegyék a szánhúzó kutyáikat. Mawson *The Home of the Blizzards* (A hóviharok hazája) című könyvében leírja, hogyan főzték meg Ginger, az utolsó