

**GHEYSELINCK R.**  
**A NYUGHATATLAN FÖLD**

Fordította  
**BOGSCH LÁSZLÓ**

A fordítást átnézte  
**ZSIVNY VIKTOR**

64 TÁBLÁVAL ÉS  
**BECKER GERDA**  
59 SZÖVEGKÉPÉVEL

BUDAPEST, 1941

KIADJA A KIRÁLYI MAGYAR TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT  
*A KIRÁLYI TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT 100. ÉVÉBEN*

# TARTALOM

## ELŐSZÓ.

### I. A REJTÉLYES KEZDET.

A Naprendszer és kialakulásának elméletei.  
Föld és Hold.

### II. A FÖLD ARCA.

A sarkok vándorlása.  
A Föld belseje.  
Sima és sial.  
A burokszerkezet és a meteoritok.  
Az óceán.  
A földtörténeti sebesség.

### III. MEGKÖVESÜLT ÉLET.

A kövület.  
Az özönvíz.  
Még egyszer a kövületről.  
A sziklák története.  
Az élet története.  
A földtörténet vezérfonala.  
Éghajlatváltozások.  
Földrajzi változások.  
Milyen idős a Föld?

### IV. A NAGY RITMUS.

Minden összefügg egymással.  
Hogyan keletkeznek a kőzetek?  
A konglomerát és ami vele összefügg.  
A kőzetek pusztulása.  
Mi mozgatja a köveket?  
1. Az áramló víz.  
A tökéletlen síkság.  
Harc a völgyért.  
2. Hó és jég.  
A völgyjégár.  
A belföldi jég és a jégkorszakok.  
3. A szél.

### V. A HEGYEK KELETKEZÉSE

Látszólagos nyugalom.  
Zavargások.  
Latet in majestate naturae.  
A plutonisták.  
Zsugorodik-e a Föld?  
Egyensúly.  
A tektonikai óra.

### VI. AZ INGATAG KÉREG.

Bazalt, gránit és magma.  
Tűzhányó-hegyek.  
Haldokló vulkánosság.  
A tűzöv.  
Megremeg a Föld.  
Úsznak a világrészek!

## ELŐSZÓ.

A Királyi Magyar Természettudományi Társulat könyvkiadó-vállalatában eddig már több földtani vonatkozású munka jelent meg, mint pl. *Cotta*: A jelen geológiája (1873), *Reclus*: A hegyek története (1891), *Szabó József*: Előadások a geológia köréből (1893), *Walther*: A Föld és az élet története (1911) és *Schaffer*: Általános geológia (1919). Ezek azonban mind elfogytak. A Természet Világa című sorozatban legutóbb kiadott két földtani vonatkozású kötet rendszeres és részletes tárgyalásával magasabb igények és követelmények kielégítését célozza.

Így a korszerű földtannak népszerű, mindenki számára könnyen érthető és élvezetes formában való tárgyalása újra időszerűvé vált. Ezért esett a Természettudományi Társulat választmányának választása *Gheyselinck*: A nyughatatlan Föld c. munkájára. Ez a könyv már szerencsés kézzel összeválogatott és pompásan kiállított képanyaga miatt is szélesebb érdeklődésre tarthat számot. Kevés népszerű földtani mű van a világirodalomban, melynek képanyaga ennyire gazdag és változatos lenne, mint *Gheyselinck* könyvéé. A munka tárgyalási módja: egyszerűsége, világossága, meggyőző okfejtése és lebilincselő nyelvezete pedig nemcsak komolyan tanító, hanem mindenki számára élvezetes olvasmánnyá teszi ezt a művet.

Ezért látszott *Gheyselinck* munkája különösen alkalmasnak arra, hogy a földtan alapkérdéseit szélesebb rétegekkel ismertesse meg s így a természettudományok ezen, a nagyközönség előtt oly kevéssé népszerű ágának is híveket toborozzon.

A természettudományoknak alig van olyan ága, mint a földtan, amely iránt a nagyközönség olyan kevés érdeklődést tanúsítana. Pedig ez a tudomány korántsem a poros kövek, a szürke kövületek és a száraz adatok halmaza. A Föld nem mozdulatlan, változatlan és élettelen égitest. Ellenkezőleg! Rengeteg mozgalmasság, örökös változás, fejlődés jellemzi a Föld, illetőleg a rajta levő élet történetét. Bolygónk tehát teljes joggal viseli a könyv címében szereplő nyughatatlan Föld elnevezést. Csakhogy ez a nyughatatlan Föld mozgalmasság történetét, változatos eseményeinek sok-sok csodáját, az élet fejlődésének sokezer lebilincselő mozzanatát nem a hétköznapiok nyelvén meséli el. Minden kötetdarab, minden ércdarabka, minden megkövült szerves maradvány e mozgalmasság események valamelyikéről, a nyughatatlan Földről beszél. Csak értenünk kell ennek a beszédnek a nyelvén. Erre a nyelvre tanít meg bennünket *Gheyselinck* munkája. A fárasztó részletek elkerülésével rávilágít a földtani jelenségek nagy összefüggéseire, nagy szakaszaira. Meglátjuk belőle, hogyan ismerhetjük fel a Föld történetének hatalmas eseményeit, fejlődésének törvényeit. Segítségével megértjük, hogyan kelthető életre a megfigyelt földtani jelenségekből és tárgyakkal Földünk mozgalmasság története. Reméljük, hogy a magyar fordításnak is sikerülnie fog ezt a nyelvet megértetni és megszerettetni mindazokkal, akik nyitott szemmel akarnak a szabadban járni.

Sok nehézséggel kellett fordítás közben megküzdeni. Sok olyan műszó van a földtanban, amelyre eddig még nincs jó és általánosan használt magyar kifejezésünk. A Természettudományi Társulat hagyományaihoz híven azonban igyekeztünk minden fogalomra megtalálni a megfelelő magyar kifejezést. Igyekeztünk *Gheyselinck* élvezetes és szórakoztatva tanító írásmódját megtartani, de ugyanakkor az idegen műszavakat a könyvből a lehetőséghez képest száműzni.

Minden séta, amelyet a szabad természetben teszünk, egész sereg földtani megfigyelésre nyújt alkalmat. Minden kőbánya, minden agyaggödör előtt elgondolkodhatunk ama erők működésén, melyek az illető kőzetet létrehozták. Minden kavicsdarab emlékeztethet bennünket a földtörténeti események óriási távlatára. Sok földtani tárgy vagy természeti kép felidézheti bennünk azokat az irtóztos erőket, amelyek hirtelen katasztrófák, tűzhányók kitörései, földrengések alakjában rázták meg Földünk testét, vagy ama lassan ható folyamatokat, melyek észrevehetetlenül, fokozatosan alakították, formálták bolygónk arculatát s felébresztheti bennünk azt a tudatot, hogy nemcsak a teremtés koronája, hanem egyszersmind a Föld évmilliárdos történetében csak jelentéktelen kis porszem vagyunk. Megtanuljuk a földtanból, hogy az élet sok megnyilvánulása kapcsolatban áll a földtörténeti eseményekkel. Új, szélesebb látókörű világ tárul elénk, amelyben sok emberi kicsinyesség, amelyet a hétköznapiok szürke világában oly fontosnak tartunk, jelentéktelen semmiséggé törpül!

Budapest, 1940. karácsony napján.

*Dr. Zsivny Viktor,  
Dr. Bogsch László.*

## I. A rejtélyes kezdet.

*Eppur si muove!*  
Galilei.

És mégis mozog a Föld! A monda szerint ezzel a felkiáltással zárult le a szellemi forradalmak egyik legnagyobbika, ha egyáltalában nem a legnagyobbika. Azóta is gyakran idézik ezt a mondatot - sokszor talán túl igaztalanul is - mint azon tévedések állítólagos bizonyítékát, amelyekhez a makacsság és illetéktelenség vezetett.

E tévedések története közismert. A régiek szemében a Föld volt a világmindenség közepe. Felfogásuk szerint minden égitest a Föld körül mozog közös központú pályákon. Azok a kísérletek, melyek a Napot akarták a világmindenség központjába helyezni, csak a későbbi korok tudományos meggondolásainak voltak fenntartva. Tévedésnek számított, ha valaki a Földet a Nap körül való forgásában a többi bolygóhoz akarta hasonlítani: hiszen a Földet múlandó égitestnek tekintették, melyet a Teremtő csak rövid időre helyezett a mindenségbe. A középkorban azután más felfogás lett úrrá. Lassacskán megszűnt az az elképzelés, hogy a Nap és a csillagok örökkévalók. Lassanként elfogadták az arab AL-BITROGI felfogását, mely szerint a világmindenség kilenc szilárd, áttetsző szférából áll. A paradicsom helye a legkülső, kilencedik szférán kívül volt. Ahhoz, hogy valaki idejuthasson, égi vezetőre volt szüksége. A legjobbnak Mihály arkangyalt tartották, mint aki legjobban ismeri a Földről a paradicsomba vezető útnak a szilárd szférákon át vivő kapuit és nyílásait.

A középkori gondolkodók sem erőltették meg túlságosan magukat, hogy az égitestek mozgását tudományosan megmagyarázzák. Még maga AQUINÓI SZENT TAMÁS is nagyon szabadon kezeli ezt a kérdést: hite ahhoz a sziklaszilárd meggyőződéshez vezette, hogy az égitestek mozgása nagyon bonyolult módon jött létre, véges emberi elménkkel sohasem fogjuk felfogni. A reformáció sem hozott sok újítást ezen a téren. Akkoriban KOPERNIKUS felfogásában még csak tudományos elképzelést láttak, s azt vélték, hogy helytelenségét végtelenül egyszerű számítással lehet bebizonyítani. E felfogás forradalmi előtörését csak GALILEI fellépése hozta meg. A távcső felfedezése után GALILEI ugyanis arra a meggyőződésre jutott, hogy Földünk nem lehet a Naprendszer szilárd központja. Hosszú habozás után, jóakarató támogatói unszolására végül is nyilvánosságra hozta e meggyőződését. Ennek az lett a következménye, hogy tanításával, mely az akkori tudományos nézettel ellenkezett, a pápai törvényszék elé idézték, ahol visszavonta. De a legenda szerint, melyről megállapítható, hogy későbbi merő koholmány, makacs meggyőződésének mégis kifejezést adott azzal, hogy végül így kiáltott fel: *Eppur si muove!* És mégis mozog a Föld!

Az a nyughatatlanság, amely ennek a könyvnek a címében szerepel, nem az, amely GALILEI hírnevét örökre megalapozta. De mégis meg kellett emlékeznünk GALILEI-ről, mielőtt a földtörténet további tárgyalásait megkezdenők. Hiszen mégis csak ő volt az a kutató, aki a tudományt - így a Földről szóló tant is - bizonyos biblikus elképzelésektől megszabadította. Ő nyitotta meg az utat számos utána következő kutató számára, akik azután száz meg száz fáradságos megfigyelés árán mégis csak közelebb vittek bennünket származásunk örök rejtélyének megoldásához. A kinyilatkoztatás isteni eredetét azonban a tudósok közül egyetlen egy sem tagadja meg, még akkor sem, ha régi felfogások hamis voltát a mai már nagyon tökéletes eszközökkel ki is mutathatjuk. Hiszen a tudós jól tudja, hogy minden új felfedezés csak újabb rejtélyek elé állítja a kutató elmét, minden felelet újabb kérdéseket foglal magában, s mindezek a Teremtő Hatalom megismeréséhez vezetnek. Ha így nézzük a dolgokat, akkor

ezeknek a kutatóknak az élete nem egyéb, mint örökös hitvallás. A hit ott kezdődik, ahol a tudomány végetér!

Dicséretes szokássá lett tudásunk egyes fejlődési szakaszait azon tudósok nevéhez kapcsolni, akik az emberi gondolkodás és ezzel karöltve a tudományos kutatás számára új utakat jelöltek meg. Így tehát a mi tudományunk fejlődésének hosszú útját úgy jellemezhetem, hogy ez az út GALILEI-től WEGENER-ig vezet. Az első a fáradságosan tapogatózó kezdet képviselője, a másik pedig merész és zseniális elmélet megalkotója, aki Földünk felületének minden mozgalmát egy elmélettel akarja összefoglalni. Mindketten ugyanazt a tudomásszomjat érezték magukban, mindketten a teremtést s ezzel a Föld keletkezésének nagy titkát akarták megfejteni. Monda és hitrege, hit, tudásszomj és tudomány, mindegyik a maga módján, a maga módszerével igyekezett a nagy kérdést megoldani. És ma mégis égetőbben, mint valaha, áll előttünk a nagy kérdés: honnan jöttünk, hol vagyunk, hova tartunk? Nyugtalanság fogta el „az igazság megismerésére törekvő, kételkedő nemünket” is.

Valamennyi tudomány között éppen a földtan számára a legerősebb és legnagyobb annak a logikai szüksége, hogy választ adjon arra a kérdésre, hol vagyunk? A ma éppen a földtan számára a legfontosabb, hiszen éppen a földtannak egyik alaptörvénye, hogy mindannak, ami ma és itt, a Földön és Földben lejátszódik, más időben és más helyen hasonló módon kellett végbemennie. A földtan tulajdonképpen történelem, annak a bolygónak történelme, amelyen az emberiség született és tovább fejlődött. A Föld mai állapota a földtan számára időbeli forma, ama sok változásnak és mozgásnak az eredménye, melyeknek törvényszerűségeit éppen ez a tudomány igyekszik megállapítani, forma, mely a természet örök ritmusa szerint megint csak tovább fog változni. A földtan a föld éneke, melyet gyöngye emberi hang utána dalol. Mint minden történelmi tudomány, a földtan is forrásokat keres, tényeket, melyekből adatait meríti. Ezek a források azonban nem szép ábrákkal díszített írott pergamentek, nem is szerszámok, melyekkel a kezdetleges ember első ügyetlen próbálkozásainak nyomát hagyta hátra, hanem kis kődarabok, melyek a mikroszkóp alatt vizsgálva egész hegységek fejlődését tárják elénk. Vagy a földtani gondolkozásmód még merészebb és nagyszerűbb kifejezésével élve: kővületek, hajdan élt lények megkövesedett maradványai. Az emberi természetnek ez a merészsége, mellyel a holt formából minden történés élő és mozgalmas alaptörvényét vezette le, teszi némileg érthetővé annak a földbúvárnak dölyfös felfogását, aki kijelentette, hogy az emberiség „befejezheti majd egyszer a természet megkezdett munkáját!”

A valóság azonban szerényebb belátásra int. Eddig még csak azt tapasztaltuk, hogy mindenben folytonos fejlődés van, vagyis mozgás. Nemcsak abban a sokat hangoztatott fejlődésben, amely a majomtól az emberhez vezetett volna, hanem az egész élő, anyagi, szerves világban is, növények, állatok körében éppúgy, mint magában a Földben. Az egész anyagra érvényes a fejlődés alaptörvénye. Keletkezés és elmúlás törvényszerű kapcsolatban állanak egymással. Ezt a gondolatot juttatta kifejezésre a földtan egyik kiváló művelője, amikor azt mondta: A geológus jól tudja, hogy a Földön semmi sem örök!

Annak a felismerésnek a következtében, hogy a Földön minden élet fejlődés útján jött létre, némely biblikus nézetnek el kellett tűnnie, hogy helyet adjon a tudományos megállapításoknak. A földtan kiszabadította magát a teremtés és özönvíz története szószserinti szövegének béklyóiból. A teremtés hat napját először hat tetszőleges, leginkább s különösen a vallástanításban 1000 esztendőre átfogó időszakra hosszabbították meg. Később azután amikor a hit és tudomány közti vitát ez sem szüntette meg, a teremtés hat napja sokkal szélesebbkörű értelmezést nyert.

### *A Naprendszer és kialakulásának elméletei.*

A Földnek megvan a maga saját helye a Naprendszerben s egész létét az ott uralkodó törvények szabják meg. Habár csak az a célunk, hogy a Földdel foglalkozzunk, mégis a kérdés, hogyan keletkezett a Föld, hogyan jött létre, arra kényszerít, hogy a Naprendszer keletkezésének kérdését is megvizsgáljuk. Ez a kérdés azután megint újabb kérdésekhez vezet, - végül is eljutunk az első tyúk és az első tojás régi, közismert történetéhez! A csillagászok, akik a Naprendszer keletkezésére vonatkozólag illetékes választ adhatnak, az évek folyamán különböző elméleteket állítottak fel. Ezek részben annyira gyerekesek voltak, hogy sokszor az avatatlan is, bár gyakran igaztalanul, nevet rajtuk, részben pedig annyira bonyolultak, hogy komplikált számításai csak a csillagvizsgáló intézetek rejtélyes világába valók. Amidőn a csillagász a Hold keletkezésének kérdésével foglalkozik, olyan okok miatt, melyekről később még szó lesz, „nyilvánvaló kényszerből a Földhöz tér vissza s a kérdés további kibogozását átadja a földbúvárnak”. A két tudomány ezen határterületéről azután sokat beszélnek és írnak mindaddig, míg egy újabb elmélet nem születik. Egy ideig ez az új elmélet is megállja helyét, szellemes védelmezői lesznek, mígnem aztán elavul s helyet ad újabb elméletnek, amely pontosabb megfigyeléseken alapszik. Néha egy ideig több elméletnek is vannak hívei egyszerre, míg csak el nem söpri őket egy rendkívüli egyéniség nagyszerű szellemi műve, amelynek megalkotóját a történelem azután lángésznek nevezi el. Akkor azután ez az új felfogás lesz az új elmélet s a régieket már csak néhány szorgalmas gyűjtő kartotékja őrzi meg. Egyes részleteik pár ember agyában esetleg még tovább élnek, olyanokéban, akik ragaszkodnak a régihez és nem szívesen veszik az újat.

Tény azonban, hogyha az ember a napokat és a csillagokat akarja közös tulajdonságaik alapján osztályozni, akkor előbb az elméleteket kell rendszereznie. Vannak monisztikus és dualisztikus elméletek, más szóval mindezen elgondolások, melyek Naprendszerünk kialakulásával és felépítésével foglalkoznak, két nagy csoportra oszthatók. KANT és LAPLACE elméletei, melyek egymástól csak kevésbé különböznek, az első, a monisztikus csoportba tartoznak. Mindkét tudós egymástól függetlenül és kissé eltérő alakban állította fel alapvető elméletét, melyet éppen ezért általánosan Kant-Laplace-féle elméletnek neveznek. Ez az elmélet a kezdet kezdetén alaktalan ősködöt tételez fel. Ebből az ősködből (I. tábla) alakult ki azután fokozatosan Naprendszerünk, amelyen belül meghatározott és általános érvényű törvények uralkodnak. Ilyen fejlődést gyakran figyelhetünk meg a természetben. A kezdet legtöbbször egyszerű, forma nélküli és szabálytalan; a végeredmény összetett és sokféle részlet bonyolult összességéből áll, amely azonban minden bonyolódottsága ellenére is egyszerű törvényekkel vagy képletekkel magyarázható meg. E tények szemléleténél az ember alig tudja magát kivonni annak a lenyűgöző benyomásnak a hatása alól, hogy a természet a meglévő anyaggal takarékosan gazdálkodva, az eredetileg nyers és laza tömegből végül is harmonikus, mesteri egészet alakított ki. Ugyanez érvényes egyébként - talán még nagyobb mértékben - a szerves világra, az élők világára is.

A Kant-Laplace-féle elmélet szerint a Naprendszer kialakulása az alaktalan ősködből a következőképpen ment végbe. Az ősköd sűrűsödésével kiterjedt gáztömegből álló Nap alakult ki. Ez a Nap lehülés és összehúzódás következtében gázgömbbé sűrűsödött. Az egyenlítője mentén ezután egyre kisebbedő közös központú gyűrűk váltak le, mint amilyeneket még ma is látunk a Saturnus körül. A gyűrűkben levő sűrűbb magok körül végbement sűrűsödés folytán a különálló testeknek egész sora keletkezett, egész bolygóraj, mely azután a Nap körül keringett. Létük kezdetén ezek a bolygók gáznemű állapotúak voltak, tehát belőlük is leválhattak gyűrűk, melyek összesűrűsödés folytán maguk is holdakká alakultak. Ezen elmélet szerint tehát a Föld a Nap egy gyűrűjéből alakult ki, kísérője, a Hold pedig az akkor még gáznemű

Föld egy gyűrűjéből jött létre. Ily módon nyerte el helyét a Föld-Hold-rendszer a Naprendszer keretén belül, anélkül, hogy a Naprendszeren kívüli erők ebben közrejátszottak volna.



**1. kép. BUFFON így képzelte el egy üstökös összeütközését a nappal.**

Nagy vonásokban ez a monisták elmélete. Ezzel ellentétben a dualisták a Naprendszeren kívüli alakító erőt tételeznek fel (1. kép). Foglalkozunk ezek között CHAMBERLIN korszerű elméletével, mely a csillagászok szerint „kiváló kiinduló pontot” jelent. CHAMBERLIN szerint Napunkhoz valamikor egy csillag olyan közel haladt, hogy a Nap egyensúlyi és nyugalmi viszonyait rendkívül nagy mértékben megzavarta. Ennek a veszélyes találkozásnak és közelségnek következtében a Napról gázcsoportok váltak le, melyek azután rendkívül gyorsan lehűltek. A gáztömegek pirinyó bolygócskáként viselkedő nagyon parányi szilárd testecskékké sűrűsödtek, melyeket tudományos néven planetezimáloknak nevezünk. Az ily módon kialakult spirális ködben (II. és III. tábla) itt-ott sűrűbb részek létesültek, melyek mind több és több planetezimált vonzottak magukhoz, mígnem azután bolygókká alakultak, mint a minő a Föld is. A Kant-Laplace-féle elmélettel szemben itt van az egyik főkülönbség. CHAMBERLIN szerint ugyanis a Földnek már születése pillanatában is volt szilárd magva, mely később a planetezimálok folytonos hozzátapadásával egyre nagyobbodott. CHAMBERLIN egyébként a holdak keletkezését is megmagyarázza. Szerinte ezek olyan kisebb terjedelmű égitestek, melyek a nagyobb bolygók vonzáskörébe jutva, abból többé nem tudnak szabadulni.

### ***Föld és Hold.***

Mindkét fönnebb vázolt elméletből most már világossá válik minden további nélkül, hogy Földünk s a Hold ugyanúgy keletkezett, mint a többi bolygó és holdjaik. Az is elképzelhető, hogy a Föld és a Hold sajátságos létük kezdetén gáznemű halmazállapotúak voltak s csak később, a lehűlés következtében lettek folyóssá, míg végül is aztán szilárd burok alakult ki rajtuk. Keserűen kell csalódnia annak, aki azt hiszi, hogy a „teremtés koronájának” hazája valamilyen különleges helyzetet foglal el a világegyetem bolygói között. Néhány jóakarató csillagász kutatása alapján azonban mégis megkímélhetjük magunkat attól a szomorú

feltevéstől, hogy Földünk egészen közönséges bolygó s a Hold amolyan átlagos kísérő. Ravasz számításokkal sikerült ugyanis kimutatniok, hogy a Föld-Hold-pár mégis bizonyos egyéni sajátosságokat tüntet fel. Földanyánk és hű kísérője, a Hold között az összefüggés sokkal szorosabb volt, mint valamely átlagos bolygó és holdja között. Ugyanis e két égitest mozgása között sok a kölcsönös kapcsolat, minélfogva végül is arra a következtetésre kényszerülünk, hogy a két égitestnek kezdetben egységes egészet kellett alkotnia, s csak a földtörténet további folyamán váltak szét. Ha meggondoljuk, hogy a Föld nem sokáig lehetett gázállapotban (sőt CHAMBERLIN szerint egyáltalában nem is volt), hanem rövidesen folyékony halmazállapotot vett fel, amint azt a tudósok egybehangzóan állítják, akkor könnyen érthetővé válik számunkra, hogy a Hold leválása a Föld tömegéből nem ment végbe olyan nyomtalanul, mintha még a gáznemű halmazállapot idejében történt volna. E drámai folyamatról ugyan már többször írtak, de ennek ellenére sem olyan közismert szélesebb körökben, mint például a származástan. Elvégre a majmoknak mégis csak „több köze” van az emberhez, mint esetleges holdlakóknak.

Térjünk hát még egyszer vissza a Hold keletkezésére, ami annál inkább érdekel bennünket, mert megbarátkoztat azzal a gondolattal, hogy a Holdra való rakétautazás nem jelentene semmi egyebet, mint régi területek visszahódítását. Olyan területekét, melyeket réges régi időkben rosszindulatú erők raboltak el Földünktől. S talán az „utazás a Holdba”, amely VERNE JULES óta állandóan izgatja a mérnökök képzeletét, éppen abban leli ősoát, hogy az ember lelkében mindig ott szunnyad a regényes vágy az után, ami egyszer volt és elmúlt. Dehát hagyjuk most ezeket az érzelgős gondolatokat s tegyük fel inkább, hogy a Föld valaha tényleg gáznemű halmazállapotban volt. Ez a gáznemű égitest rendkívül gyorsan lehűlt, összehúzódott, cseppfolyóssá lett. Eljutottunk tehát addig az állapotig, míg a Föld izzón folyó gömbbé nem alakult, mely a saját tengelye körül forog s a Nap körül kering. Ezeknek a mozgásoknak időtartamát és sebességét pontosan ki tudjuk számítani. A lehülés azonban tovább folytatódik: A Föld hőmérséklete egyre süllyedt s mindinkább közeledett ahhoz a ponthoz, ahol már szilárd közetek képződhetnek. Új állapot kezdetét jelentette ez a Föld történetében: a folyékony Föld körül kialakul az első, még rendkívül gyenge, de mégis már szilárd kéreg! Természetesen nem szabad a vízre vagy más közismert folyadékra gondolnunk, ha a „folyékony” Földről beszélünk. Inkább valamilyen szirupszerű tömeget kell elképzelnünk, amely sokkal sűrűn-folyóbb, mint a víz s amelynek a belső surlódása is sokkal nagyobb. Hogy milyen veszélyes állapot volt ez, kitűnik akkor, ha a Földnek a Naptól való függésére gondolunk. A Föld tömegének folyékony részére a Nap éppen úgy hatott, mint ma a Hold Földünk vízburkára, amelyben az árapály jelenségét hozza létre. A Napnak ez az árapályhatása, amely akkor még sokkal jobban érvényesült, valamint a Föld forgása saját tengelye körül, - amely a sarki lapultséghez is vezetett - a Föld alakjának állandó ingadozását okozta, a Föld alakja „a citrom és a narancs alakja között váltakozott”. E két szélsőséges alak közötti ingadozás mind erősebbé vált, míg végül is az első szilárd kéreg kialakulásával a különböző erők annyira megnövekedtek, hogy a lehetséges alakváltozás határát túllépték. Bolygónk, a kezdetleges Föld ekkor kihúzódott és körtealakot öltött, míg végre egy tekintélyes része leszakadt: így keletkezett a Hold!

Ha már most égi kísérőnk valóban az előbb említett módon keletkezett, akkor leválásának nyomait meg kell találnunk a Föld szilárd kérgében. Kell valahol Földünk testén olyan sebhelynek lennie, mely a Hold születése óta eltelt - földtani értelemben mindenesetre rövid - 1200 millió év alatt még nem hegedhetett be teljesen. És így a csillagászoknak mégis csak igazuk van: a Hold keletkezése mégis a Föld történetével áll szoros kapcsolatban és születésének felderítése a földtan körébe tartozik. A Hold keletkezésének fennebb vázolt módja meglehetősen könnyen elképzelhető és elhithető. A belőle levonható következtetésekhez azonban még sok olyan feltevés fűződik, melyek tudományunk mai állása és eszközei szerint

talán még a szellem túlmerész szüleményeinek látszanak. Mindenesetre óvatosnak kell lennünk az ilyen elképzelésekkel! Másrészt azonban már többször tapasztaltuk, hogy ami nagyapáink számára még a mesék világába tartozó értelmetlenség volt, apáink előtt, néma csodálatuktól kísérve valósággá lett, s mi meg ma már magától értetődő dolgot látunk benne. Gúnyos mosolygás, csodálat és mindent megértő közöny egyébként már gyakran váltotta fel egymást ugyanazon nemzedék életén belül is. Ne nevéssük ki és ne tartsuk bolondnak, aki a Földön ama helyet keresi, ahonnan a Hold levált. Ez az ember legalább megpróbálkozik ezzel a feladattal. Látszólag fantasztikus törekvése észszerű okokon alapszik, melyek közül a legfontosabbakat szeretném most röviden vázolni.

Abból, amit eddig égi kísérőnk keletkezéséről mondtunk, kiviláglik, hogy a Hold a földgolyó legkülsőbb részéből származik. Másrészt meg tudjuk, hogy a Föld sűrűsége a középpont felé növekszik, vagyis más szóval, a Föld külső kérgét felépítő kőzetek fajsúlya a legkisebb, minél közelebb kerülünk a Föld középpontjához, annál nagyobb fajsúlyú anyagokat találunk. Okfejtésünk első alátámasztását most már az a tény adja, hogy a Hold fajsúlya olyan, mint a Föld legkülső részéé. Számunkra ez már persze nem csodálatos megállapítás, hiszen jól tudjuk, hogy a Holdnak éppen a Föld legkülső részéből kellett leválnia. Még nagyobb jelentőséget nyer azonban ez a tény akkor, ha azt halljuk, hogy a Föld felületének jelentékeny részén olyan kőzetek jelennek meg, melyek fajsúlya nagyobb, tehát tulajdonképpen nagyobb mélységben lenne a helyük. Ez más szóval azt jelenti, hogy a kisebb fajsúlyú köpeny tekintélyes része hiányzik a Földünk felületén. S ha valaki ezt a véletlennek akarja tulajdonítani, annak a figyelmét fel kell hívnunk arra, hogy a véletlennek itt ugyancsak különös éleselméjűséggel kellett volna dolgoznia. A földkéreg hiányzó része ugyanis megfelel a Hold térfogatának. Azokat a hatalmas krátereket pedig, amelyek a Hold felületét oly rejtélyessé teszik, BERLAGE véleménye szerint kapcsolatba hozhatjuk azokkal a hatalmas kitörésekkel, melyek akkor játszódtak le, amikor a Hold még csak alakatlan, a Földből kiszakadt tömeg volt, nem pedig olyan szép gömb, mint ma. Persze mindezen jelenségeket más módon is értelmezhetjük, más elméletekkel is magyarázhatjuk, melyek az itt vázolttól lényegesen eltérnek, de ugyanannyira elfogadható alapokon nyugszanak... Dehát könyvemben mégis csak azokat a felfogásokat szeretném ismertetni, amelyekből Földünk meghatározott egyensúlyra való törekvéssel kapcsolatos, állandó nyughatatlansága a legjobban kiviláglik. Éppen ezért nem fordítjuk most már figyelmünket a Hold vagy valamilyen más égitest további fejlődésére, mert hiszen első-sorban a Földdel akarunk foglalkozni. Nyughatatlan tudásszomjunk talán még egyszer elvezet bennünket a Földről, akkor, amikor az étellel és annak a Holdon és más égitesteken lehetséges fejlődésével fogunk foglalkozni. De a Hold esetében megelégedhetünk a földi viszonyok ismeretével is, hiszen a Föld az élet szempontjából is sokkal többet árul el.

A Föld további fejlődése egészen más volt, mint a Holdé, mert a Holdnak nincs légköre, sem felhője, sem esője, sem óceánja, mely sívárságát és kopárságát enyhítené, egyhangúságát élénkítené. A Holdon nemcsak az élet hiányzik, hanem az az alakgazdaság is, mely Földünket jellemzi és annyira széppé teszi! A Holdon nem alakulhatnak ki völgyek, nem rakódhatnak le üledékek és arculatának ridegségét nem enyhítheti a letaroló erők munkája (IV. tábla). Hiány-zanak azok a hosszan húzódó lánchegységek is, melyeknek a Föld érdekes, változatos és örökifjú arculatát köszönheti. Mert, amit a csillagászok a Holdon Apennineknek vagy Kaukázusnak neveznek, csak otromba, kiemelkedő tömegek, rajtuk teljesen hiányzanak a finom, szabályszerű redők, amelyek földi névrokonaikat jellemzik.

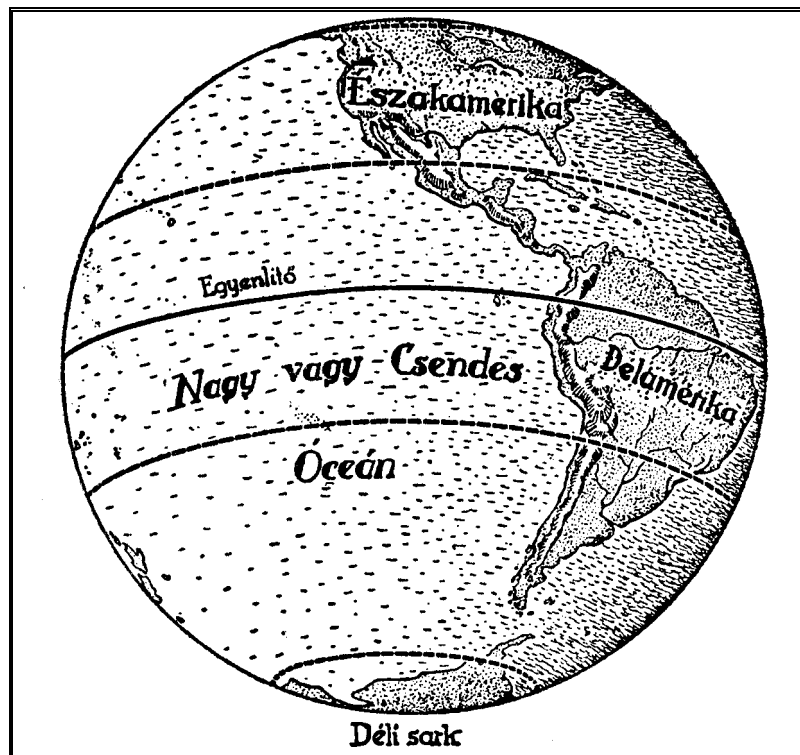
A Föld tudósa számára sem jelent tehát a Hold egyebet, mint csak oly égitestet, mely ezüstös fénnel sugározza be a langyos éjtszakát.

## II. A Föld arca.

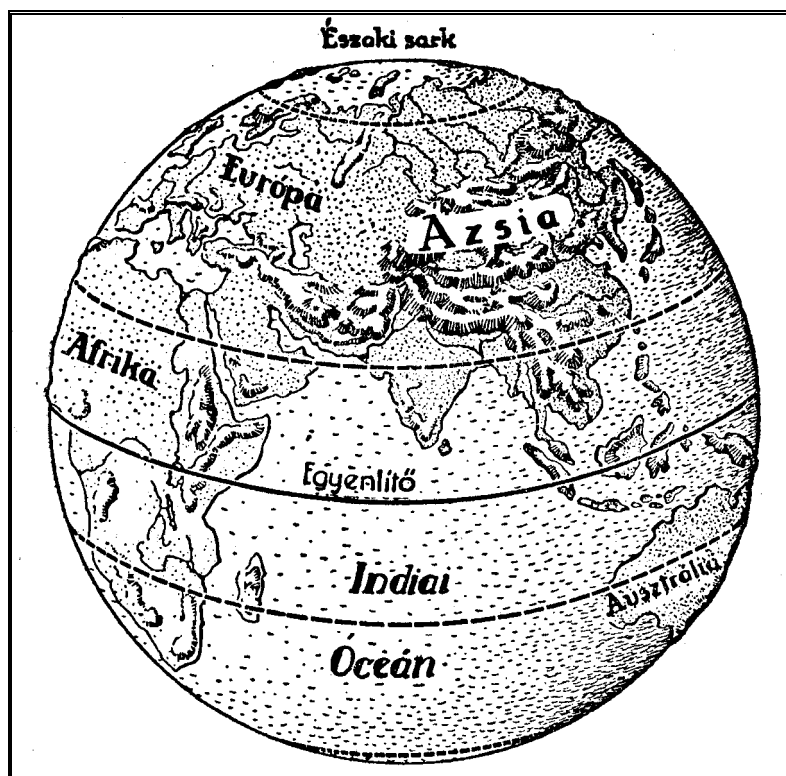
### *A sarkok vándorlása.*

Földünk története legrégebbi szakaszának uralkodó mozzanata a fokozatos lehülés. Ez tette lehetővé a szilárd földkéreg kialakulását és szabta meg ezáltal azokat a körülményeket, melyek a Föld mai arculatának (2. és 3. kép) változatait okozták. A szilárd kéreg kialakulása után a legfontosabb pillanat a Föld történetében, mert itt kell keresnünk valahol az élet keletkezését is, annak a titokzatos eseménynek a küszöbét, mely az emberi elmét talán mindig a legjobban gyötörte. Idők folyamán a lehülés annyira haladt, hogy a légburokból lecsapódhatott a Föld felszínére a víz s az első folyók utat kereshettek ama nagy medencék felé, melyekből később a nagy óceánok alakultak ki. Az építés és rombolás egymással váltakozó nagy időszakaszai megteremtik azt a csodálatos ritmust, mely a születést és elmúlást harmonikus egésszé foglalja össze. Az élet most már meghódíthatja lakóhelyét, a Földet!

A Föld mai alakját már mint adottságot kell tekintenünk. Rajta kell megállapítanunk mindama változásokat, melyek a Földet multjában érték. Csak annak a legaprólékosabb megfigyelése, ami ma van, teszi lehetővé számunkra a multnak a visszaidézését. A Föld alakváltozásainak tökéletes képét csak akkor ismerhetjük fel, ha égitestünket, mint egészet tekintjük, úgy, amint a jelenlegi oszthatatlan pillanatban előttünk van. Így tehát teljes joggal beszélhetünk a Föld arcáról.



2. kép. A nyugati félgömb mai képe.



3. kép. A keleti félgömb mai képe.

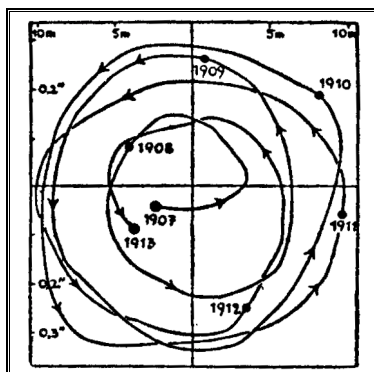
Mihelyt az iskolásgyermek először kerül kapcsolatba a tudománnyal, világossá lesz előtte, hogy a Föld gömbölyű. Később azután, tanulmányai folyamán mélyebben hatol a természet titkaiba. Szép és látványos kísérletek - forgó olajsöppek vízzel telt pohárban - a tudományos kritikával ismertetik meg: kiderül, hogy a Föld mégsem teljesen gömbölyű. A tengelye körül való forgás következtében mindkét sarkán lapultság keletkezett: a sarki átmérő rövidebb, mint az egyenlítői. Így képzelem el bolygónkat akkor, amikor kikerülve az iskolából, elfoglalja helyét a társadalomban. Ettől kezdve vajmi keveset törődik azokkal az elméletekkel, melyek tudását kétségessé akarják tenni. Maradjunk meg tehát mi is emellett az elképzelés mellett, mellyel már régen megbarátkoztunk. Ez segít bennünket a sarkok és egyenlítő fogalmának értelmezésében és egyúttal Földünk éghajlati viszonyait is érzékelteti, azt ugyanis, hogy a sarkokat hatalmas jégsapka borítja, míg az egyenlítő nagy körét, mely Afrikán, Szumatrán és Délamerikán keresztül az egész földgolyót körülfogja, buja, forróégyői növényzet és gazdag élővilág jellemzi.

Északi jéghegyek - afrikai őserdők! Ez a szembeszökő különbség csak a sarkok mai helyzetét mutatja, vagy általánosságban kifejezve: a Föld tengelyének jelenlegi irányát. Mert ha ennek a tengelynek az a szörnyű ötlete támadna, hogy elmozduljon, más irányt vegyen fel, akkor a sarkok is engedelmesen és alázatosan átköltöznének és az afrikai őserdők is híven követnék az egyenlítő vándorlását. Hogy milyen katasztrofális eredménye lenne a sarkok vándorlásának, még szembetűnőbbé válik, ha a Föld tengelyének mai helyzetét oly egyensúlyi állapotnak tekintjük, mely a Földre ma teljesen jellemző. Mihelyt a Föld felületének tömegeloszlásában változás következne be, megzavartatnék a fennálló egyensúly is. Ennek szükségszerű következménye pedig az lenne, hogy a Földnek alkalmazkodnia kellene az új viszonyokhoz és a földtengely más irányt venne fel.

De fordított ok és okozati viszony is lehetséges. Ha ugyanis külső befolyások, mint pl. hatalmas légáramlások hatására a Föld tengelye elmozdulna és a sarkok a Föld felületén vándorolni kezdenének, akkor a Föld felületi tömegeinek is másképen kellene elhelyezkedniük, hogy a

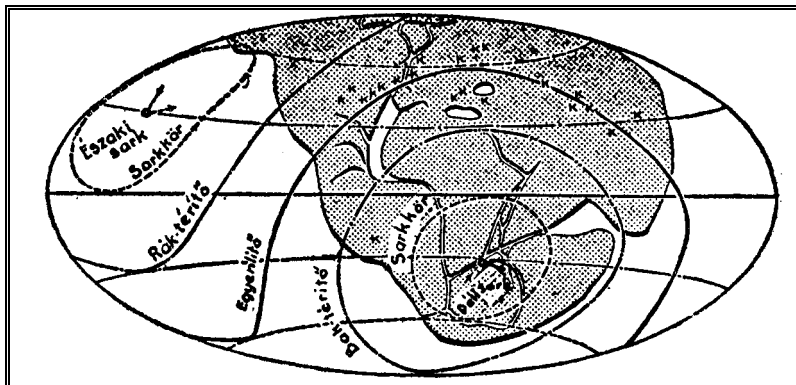
megzavart egyensúly megint helyreálljon. Elméleti úton kiszámították, hogyha a Földközi-tenger tükre csak egy méterrel emelkednék, akkor már ez a helyi tömeg felhalmozódás is olyan mélyreható változásokat idézne elő az egyensúlyi állapotban, hogy a sarkok is - pusztán idegességből - ugyancsak egy méterrel elmozdulnának.

Valóban a sarkok most is mozognak meghatározott egyensúlyi pont körül (4. kép). Eközben - aránylag rövid idő alatt - csigavonalszerű utat tesznek meg s így a kiindulási pontba sohasem térnek vissza. Ezek a lemérhető sarki ingadozások meglehetősen kicsinyek. Azonban nagyobb hatású okokat is elképzelhetünk, mint a Földközi-tenger víztükrének emelkedését, vagy olyan okot, melyek hosszú földtani időszakon keresztül hatottak. Ezek tekintetbevételével már nem lesz érthetetlen számunkra, hogy a sarkok nagyobb területeken is vándoroljanak. A Spitzbergák és Grönland szételepei érdekesen arra utalnak, hogy területükön, melyet ma jégpáncél borít, régmúlt időkben forróövi növényzet tenyészett.



4. kép. Az Északi-sark helyzetváltozásai 1907. és 1913 között.

Elképzelhetünk-e különösebbet, mint azt, hogy az egyenlítő a mai sarkok tájékán volt, az akkori északi sark pedig a Csendes-óceán valamely pontján (5. kép). Azoknak a formaváltozásoknak a felismerése, amelyeken Földünk arculata azóta átment, az egyik legcsábítóbb elmélethez vezet, amelyet az emberi elme valaha is kitermelt. Mielőtt azonban ilyen nagyvonalú összefoglalást megkísérelnénk, meg kell ismerkednünk közelebbről bolygónk azon sajátágaival, melyek a Földön és a Földben végbemenő eseményeket megszabják. E tekintetben az okozza a legnagyobb nehézséget, hogy számunkra a Föld csak viszonylagos kis mélységig hozzáférhető, s így sok esetben csak okoskodásra vagyunk utalva. Függőleges irányban felfelé - hála a műszaki tudományok mai fejlettségének, - már nagy távolságokra eljutottunk. Messze a magaslégkörbe 30 km-nél nagyobb magasságig is felemelkednek már a kutató léggömbök, míg a Föld ezidőszerinti legmélyebb fúrása csak körülbelül 5000 méter mélységet ért el.



5. kép. A Wegener-elmélet szerint a karbon idején a szárazulatok még összefüggő egészet alkottak. Az Északi-sark a Csendes-óceánban volt. Az akkori egyenlítői övben alakultak ki a nagy kőszételepek (k).

A hegységek keletkezésével minden bizonnyal felszínre kerültek a földkéreg mélyebb részei is. Így azután a legfelső 15 km felépítéséről és szerkezetéről meglehetősen tiszta képünk van. Ezenkívül a természettudományok olyan módszerek és tények birtokába juttattak, amelyek lehetővé teszik, hogy nagyobb mélységekre is biztossággal következtethessünk. Az a régi közmondás, amely szerint a titokzatosság ott kezdődik, ahová a Föld bűvárának kalapácsa már nem ér el, az utóbbi időkben ugyancsak sokat veszített értékéből.

### *A Föld belseje.*

Az ember sokféleképpen képzelte el magának a Föld felépítését. Ezek között voltak nagyon emberi elképzelések is, melyek a Földben is élő szervezetet akartak látni, szívvel, veséssel és a tűzhányókkal, mint tüdőkkel. Voltak azután bölcsekedő, vallási, sőt okkult elképzelések is. Ezek szerint Földünk több - legtöbbször - hét egyközepű héjből áll. Mindegyiknek más-más neve volt s mindegyiket egyéni sajátságokkal ruházták fel. Ha az ember szabad akar lenni, akkor lelkének a negyedik héjig, a szabadság szférájáig kellett eljutnia. Ha pedig valaki a ragyogó, földöntúli szerelem fenséges érzését akarta megismerni, akkor szellemének meg kellett tennie azt az egész fáradságos utat, mely a Föld szívéig vezet. Ezen felfogásoktól nagyon eltérnek azok, amelyek a Föld belsejéről tudományos alapon adnak képet. Senki sem veheti rossz néven, ha itt most csak ez utóbbiakkal foglalkozunk.

A naprendszer keletkezését magyarázó Kant-Laplace-féle elmélet hatása alatt a Földet, mint valami hatalmas izzón-folyó gömböt képzelték el, melyet csak vékony szilárd kéreg borít. Az avatatlanok legnagyobb része ma is így képzei el a Földet. S talán - látszólag - nem is alaptalanul. Hiszen azt a felfogást, hogy ennek a folyékony gömbnek fokozatos lehűlésekor először a külső burok merevedett meg, míg a belső folyékony maradt, az a tapasztalat is támogatja, hogy a mélység felé a hőmérséklet növekszik. A bányákban és mélyfúrásokban ugyanis több-kevesebb pontossággal megállapították, hogy a hőmérséklet egy Celsius-fokkal emelkedik, ha kb. 33 méterrel mélyebbre haladunk.

Ez a megfigyelés a földtani kutatások egyik legfontosabb eredménye. Még pedig nem azon gyakorlati haszon szempontjából, amelyet ez a tény a bányászat szempontjából jelent, hanem a belőle levonható rendkívül fontos következtetések miatt. Mindenekelőtt bizonyítékot szolgáltatott arra, hogy a Földnek saját hőforrással kell bírnia, hiszen a Nap melege csak nagyon kis mélységig hatol be a talajba. Még fontosabb az az egyszerű számítási eredmény, hogy ha 33 méterenként a hőmérséklet egy fokkal emelkedik, akkor 100 km mélységben már 3000 fokon felüli hőmérsékletnek kell uralkodnia.

Ilyen magas hőfokon már egyetlen egy közet sem maradhat meg szilárd halmazállapotban, tehát arra a következtetésre kell jutnunk, hogy a szilárd földkéreg sehol sem lehet 100 km-nél vastagabb. S minthogy a Föld sugara körülbelül 6370 km, valóban a nagyon vékony héjú alma képe jut eszünkbe.

Ebben a számításban, amely csak arra a bizonytalan feltevésre támaszkodik, hogy a Föld belseje felé mindig egyenletesen melegebb lesz, egy fontos tényezőt figyelmen kívül hagynak. Nevezetesen a nyomást. A nyomás ugyanis, amint azt a laboratóriumi vizsgálatok bizonyítják, rendkívül érdekes szerepet játszhatik. Nagy nyomás valamennyi anyag sajátságait megváltoztatja. Nagyobbodásával emelkedik az anyagok olvadáspontja, ami más szóval annyit jelent, hogy nagyobb nyomás alatt magasabb hőfokon lesz folyóssá az anyag. Felmerül most már az a kérdés, hogy azon óriási nyomás alatt, ami a Föld belsejében uralkodik, nem érvényesül-e még jobban ez az összefüggés. Nem lehet-e ilyen alapon arra gondolni, hogy a Föld maga szilárd halmazállapotú?

Az érvek és ellenérvek felsorakoztatása a folyékony vagy szilárd vitát nagyon érdekessé tette. Amidőn azután ZÖPPRITZ és RITTER a gáznemű földmag elméleti lehetőségét felvetette, a vita már három irányban folyt tovább. A gázt azonban csakhamar kikapcsolták. De mindkét másik felfogás pillanatnyilag még erősen tartja magát. Hogy tulajdonképpen hogyan folyik le ez a szellemi párbaj, azt a következő sorokban mondjuk el.

A LAPLACE által feltételezett folyékony földmag nehezen egyeztethető össze a Föld belsejében uralkodó nagy nyomással. A folyékony párt hívei között ez az elgondolás nagy megdöbbenést váltott ki. A szilárd pártiak annak a hangoztatásával akarták az ellenvélemény létjogosultságát teljesen megdönteni, hogy a Föld szilárd kérge nem állhatna ellen azoknak a nagy árapályszerű mozgásoknak, amelyeket a Hold befolyásának kellene okoznia a folyékony halmazállapotú földmagban. Ez az érv azonban eltévesztette hatását, mert a folyékony pártiak meglepő gyorsasággal hasonló számításokat végeztek, s ezek alapján a következő megállapodásra jutottak: ha a Föld teljesen merev volna, akkor az árapály jelenségeinek Földünk felületén nagyon sajátságos módon kellene végbe menniük. Különösen kéthetenként és fél-évenként volnának érdekes eltérések megfigyelhetők a dagályban és az apályban. Minthogy azonban az ily időszakos változások nem mutathatók ki, az egész Földnek egységesen kell reagálnia a Hold vonzására. Ez pedig csak abban az esetben lehetséges, ha a földmag folyékony. Így azután mind a folyékony, mind pedig a szilárd párt továbbra is - szilárd maradt nézetében.

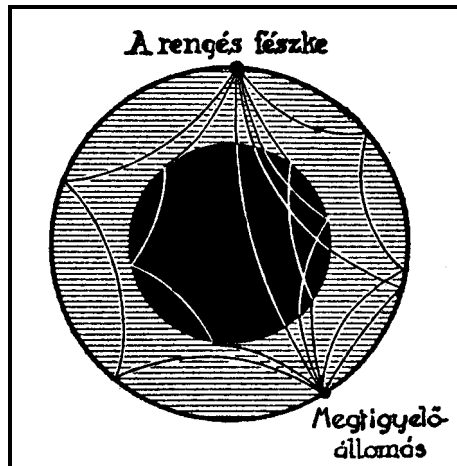
Annyi mindenesetre valószínűnek látszik, hogy 60-100 km mélységben folyékony halmazállapot még lehetséges. A vulkánok is kétségtelen bizonyítékát szolgáltatják annak, hogy a szilárd földkéreg alatt még folyékony állapotban levő kőzeteknek kell előfordulniuk, hacsak azt nem akarjuk feltételezni, hogy a szilárd földkéreg folyékony zárványai hatolnak fölfelé a vulkánokban. Ezt az utóbbi álláspontot az a tény támogatja, hogy két, egymással szomszédos vulkán különböző időben törhet ki, és különböző kőzetanyagot vethet felszínre. Ez az elmélet azonban, amely tehát a szilárd földkéregben még folyékony kőzetszármazék jelenlétét tételezi fel, mégis csak nehezen tartható fenn. Hiszen a tűzhányó-hegyek száma oly nagy, hogy közvetlenül a szilárd kéreg alatt folyékony réteg sokkal valószínűbb, mint ugyanannyi folyékony zsák a szilárd kéregben, mint ahány tűzhányó működik.

Eddig tehát KANT és LAPLACE híveinek van igaza. A földkéreg alatt folyékony a halmazállapot. Fölmerül azonban most már az a kérdés, vajon a Föld egész belseje folyékony-e? Más szóval, hogy az a folyékony réteg, amelynek a létezését feltesszük, vajon egészen a Föld középpontjáig terjed-e?

A különböző természetű megfontolások ahhoz a feltevéshez vezetnek, hogy a folyékony réteg, a piroszféra, a mélység felé olyan központi magba megy át, amelynek a tulajdonságai már nagyon eltérők. Ezt a központi magot nevezzük bariszférának. A Föld sűrűségének eloszlása is ezt a feltevést támogatja. A Föld kérgében előforduló összes kőzetek közepes fajsúlya ugyanis csak 2.7, ami más szóval azt jelenti, hogy a kőzetek átlagban 2.7-szer olyan nehezek, mint a víz. Az egész Föld sűrűségét azonban 5.57-nek számították ki. Ebből az következik, hogy Föld belsejében sokkal nagyobb sűrűségű, vagyis sokkal súlyosabb anyagoknak kellett felhalmozódniuk, mint a felületén. A magas, 5.5-ös fajsúlyt ugyanis csak úgy magyarázhatjuk meg, ha feltesszük, hogy az előbb említett bariszférának nagyobb a fajsúlya, mint a vasé.

A földrengések tanulmányozása ezt a feltevést meglepő módon támogatja. Ha valahol, pl. Japánban, megremeg a föld, akkor Budapesten és még sok más megfigyelő állomáson is rendkívül érzékeny műszerek nagy pontossággal jegyzik fel a talaj megrázkódtatásait. Ezeknek

a feljegyzéseknek, a szeizmogrammoknak összehasonlítása fontos sajátosságokat derített ki a földrengési hullámok terjedési módjára és sebességére vonatkozólag.



6. kép. A földrengési hullámok tovaterjedésének vázlata.

Először is megállapították, hogy a felületen haladó hullámok terjedési sebessége egymással egyenlő, ellenben azok a hullámok, melyek útjukat a Föld belsejébe teszik meg, változó sebességgel haladnak tovább. 2900 km mélységig a sebesség egyenletesen nő, nagyobb mélységben azonban nem változik. Ez annyit jelent, hogy 2900 km mélység körül két, egymástól eltérő tulajdonságú réteg határának kell lennie (6. kép). Ezek közül az egyiknek, nevezetesen a felsőnek változó sajátosságai vannak, míg a másik, az alsó, homogén, vagyis egynemű, legalábbis a földrengési hullámok tovaterjedése szempontjából. Ez a körülmény megint arra kényszerít bennünket, hogy a földmagot nagyon sűrűnek és szilárdnak tételezzük fel. Igaz ugyan, hogy ez már az előbbieken alapján várható volt, de most már megvan az első adatunk is a földmagnak, bariszférának méreteire vonatkozólag: felső határának mintegy 2900 km mélységben kell lennie.

További meggyőző támpontokat nyújtanak a rengéshullámoknak a bariszférában való terjedési sebességére vonatkozó legújabb vizsgálatok. A különböző hullámok ugyanazon eredményhez vezetnek: a földmagnak legalább is acélkeménységűnek kell lennie.

Ezen újabb adatok birtokában tehát a Föld szerkezetére vonatkozó elképzeléseinket alapos helyesbítésnek kell alávetnünk. LAPLACE folyékony halmazállapotú földmagma, mely irtózatosan magas hőmérsékletével - 100.000 C fokra is becsülték és központi tűz néven szerepelt az irodalomban - nem létezik.

Bolygónk szerkezetében tehát véglegesen a központi súlyos magot, a bariszférát és az arra következő folyékony halmazállapotú burkot, a piroshférát tételezzük ma fel, amelyet kívülről közetburok, lithoszféra, vagyis a szilárd földkéreg vesz körül.

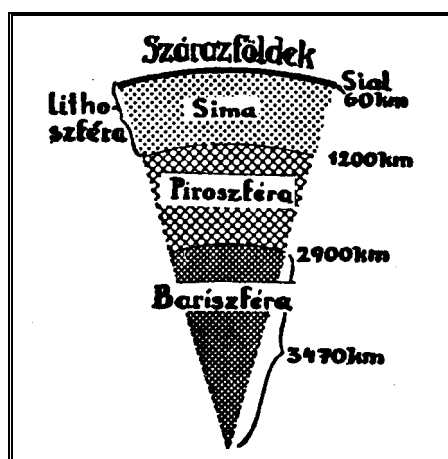
Ebben a háromosztatú gömbhéjas, illetve gömbös szerkezetben, melyben a folyékony és szilárd meghittén váltakozik, végül is mindkét álláspont hívei megnyugodtak. Ennek a kiegyezésnek tartóssága persze meglehetősen kérdéses, hiszen az egész felfogás tulajdonképpen olyan körülményekre támaszkodik, melyekről alapjában véve vajmi keveset tudunk biztosan. Mindíg nyílt maradt ugyanis a kérdés, hogyan viselkednek az anyagok azon az óriási nyomáson és hőmérsékleten, amelynek a Föld belsejében uralkodnia kell. Azok a természeti törvények, melyek a szilárd, folyékony és gáznemű halmazállapot összefüggéseinek törvényeit megszabják, ugyanis csak a laboratóriumban megvalósítható viszonyokra vonatkoznak. De ki tudja, mi van a laboratórium falain kívül, a Föld középpontjában, mely oly messze van tőlünk!

Ez a bizonytalanság kétségtelenül veszélyezteti következtetéseinket, anélkül azonban, hogy a megfigyelések jelentőségét csökkentené. A legújabb elképzelések szerint, melyek egyre nagyobb teret hódítanak, a földmag képlékeny, nehezen-folyós halmazállapotú, rendkívül sűrű tömeg, mely a ráható erőkkel szemben szilárd anyagként viselkedik.

### ***Sima és sial.***

A Föld burkainak ez az egyszerű elképzelése nagyon emlékeztet olyasvalamire, amit a kohászatból mindnyájan jól ismerünk. A kohókban a megolvasztott érc termékei három rétegben helyezkednek el egymás fölött: alul látjuk a fémvasat, fölötte olvadt salakot, amelyen - mint legfelső réteg - megszilárdult salak könnyebb darabjai úsznak. Ennek a példának az alapján a Föld óriási méretű kohónak fogható fel. A Föld szerkezetére vonatkozó legújabb elképzeléseink azonban jóval bonyolultabbak. De ennek ellenére is valamennyi az előbb vázolt hármass burokból indul ki. Egy elmélet különböző átmeneti öveket tételez fel, mivel a természetben sehol sem találkozunk éles határokkal s az egyes állapotok fokozatosan mennek át a másikba. Más elméletek viszont kissé eltérő elnevezéseket használnak azon tulajdonságok szerint, amelyeket az egyes burkokon megfigyelni vélnek. Végül is Földünk szerkezetéről alkotott képünket még azzal is kiegészíthetjük, ha az óceánokat és tengereket a Föld felületén összefüggő víztömegnek tekintjük és hidroszféra névvel jelöljük ki helyét a Föld kérgén, a lithoszférán. Az ötödik buroknak tekinthetjük már most a légkört, az atmoszférát. Hatodiknak pedig... de nem, ilyen messzire még se menjünk, mert hiszen a sztratoszférában még vajmi kevésbé vagyunk otthon és a túl sok burok feltételezése csak zavarokra adhatna alkalmat.

Elégedjünk meg egyelőre hárommal és vizsgáljuk meg ezeknek gyanítható összetételét! Itt van mindenekelőtt a Föld magja, a bariszféra, mely mintegy 3500 km-es sugarával valamennyi közt a legnagyobb. SUESS szerint gyakorlatilag tekintve tisztán vasból és nikkeltől áll, amelyekhez csak kis mennyiségben járulnak még más nehéz fémek. Ezért szokás a Föld magját a tudományos irodalomban a nife névvel jelölni, a nikkelt és ferrum (vas) első két betűje nyomán. Hasonló módon különböztetünk meg a Föld többi részében egy sima és egy sial-burkot. Közülük az első nehezebb, kovasavban szegényebb kőzetekből áll, melyek felépítésében főleg silícium és magnézium játszik szerepet. A második, a sial-burok, vagyis a tulajdonképeni földkéreg, könnyebb, kovasavban gazdagabb kőzetekből áll, melyekben főleg a silícium és az alumínium szerepel (7. kép).



7. kép. A Föld belső szerkezete.

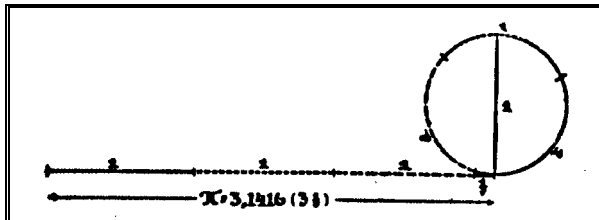
A burokelméletnek nem abban van a jelentősége, hogy divatosnak látszik, hanem abban, hogy ez szolgált a Wegener-féle elmélet alapjául, amellyel könyvünk végén még bővebben fogunk

foglalkozni. WEGENER szerint a sial és sima között éles határ van s mindkét buroknak különleges a fontossága a Föld felépítésében. Felfogása szerint a sialból alakulnak ki a nagy világrészek, ellenben a sima az óceánok fenekét alkotja s folytatódik a kontinensek alatt is. A szilárd sialrögök eredetileg összefüggtek egymással, de a földtörténeti idők hosszú tartama alatt egymástól elszakadtak s azóta mindegyik rög külön úszik a képlékeny simán.

### *A burokszerkezet és a meteoritok.*

Nem hiszek a magasabb számtan ábráinak varázserejében. A háromszög titokzatos jelentősége, akár derékszögű, akár ferdeszögű, akár egyenlőoldalú, akár egyenlőtlenoldalú háromszögről van szó, számomra egyáltalában nem érthetőbb, mint a négyszögé vagy a rombuszé. Azonban a kör és a vele rokonságban levő gömb megközelíthetetlenek számomra. Mindenütt jelenvalók! FRÖBEL szerint a gömb képviseli számunkra minden test és minden alak alapformáját és egységét. Pedig akkor még szó sem volt atomrombolásról és arról, hogy közös középpontú pályákon elektronok keringenek gömbalakú mag körül. Még csak azt sem sejthette, hogy valaki valaha majd a világmindenség végességére gondolván a gömböt és a görbületet az anyagsűrűséggel fogja kapcsolatba hozni.

A gömb csodálatos mivolta nemcsak PASCAL homályos kijelentéseiből világlik ki, aki MONTAIGNE és RABELAIS felfogásával egyezően még a végtelenséget, illetve Isten mivoltát is a következő szavai szerint körrel akarta érzékíteni: „Dieu est un cercle, dont le centre se trouve à l'infini et la circonférence nulle part”, vagyis, hogy Isten olyan kör, amelynek központja mindenütt van, kerülete azonban sehol sincs. A csodaszerűség benne van a titokzatos  $\pi$  jelben, melyet ma már 700 tizedesnyi pontossággal ismerünk ugyan, de így sem sokkal megközelíthetőbb, mintha egyszerűen 3.1416-nak írjuk (8. kép)!



**8. kép. A  $\pi$  szám megmondja, hogy a kör átmérője hányszor foglaltatik kerületében.**

Most pedig még a Földnek is egyközpontos felépítésű szerkezetet tulajdonítunk, a Föld belsejéből kifelé csökkenő fajsúly szerint különböző gömbhéjak, burkok következnek egymásután. A meteoritoknak tanulmányozása pedig valószínűvé teszi, hogy az anyagnak ez az elrendeződése bolygónkon kívül is megvan. A meteoritoknak minden időben különleges híre volt, hiszen ezek hoznak egyedül hírt a világmindenségből. Jelentőségükről az idők folyamán a babonástól a tudományosig a legkülönbözőbb magyarázatokat adták.

Az ókorban különös tisztelettel övezték az égből hullott köveket. Minden egyes meteorit-hullásban természetfölötti tüneményt láttak, mellyel az istenség a földi dolgokba szólt bele. A meteorithullásokat követő szokatlan hang- és fénytüneményekben az istenek haragjának vagy jóindulatának kétségtelen jeleit látták. Még ma is milliók és milliók zárandokolnak a mekkai fekete kőhöz, a Kaabahoz, hogy ott térdreborulva, alázatosan könyörögjenek Allah kegyeiért.

Más időkben és más tájakon az égből esett kövek tiszteletének sokkal emberibb színezete volt. Így például a középkor lovagját nem lehetett legyőzni, ha kardját abból a vasból kovácsolták, amelyet maga az istenség küldött számára. A meteorvas csodálatos erejébe vetett hitet még az

a körülmény is fokozta, hogy a meteorvasat nem mindig lehetett olyan könnyen kovácsolni, mint a Földről származó fémeket.

A meteoritekről való tudományos felfogás fejlődése nagyon csodálatos volt. Eleinte nem hittek földöntúli eredetükben, mert kizártnak tartották, hogy az égből kövek hullhassanak. Mikor azonban később ennek lehetősége beigazolódott, a másik végletbe estek az emberek s olyan fontos jelentőséget tulajdonítottak a meteoritoknak, amilyenekkel azok egyáltalában nem bírtak. Joggal hitték, hogy a meteorithullások csak számos körülmény különösen szerencsés összetalálkozása esetén és csak lakott területen észlelhetők. Ha meggondoljuk, hogy a meteoritok legnagyobb része a tengerbe vagy a nagy sivatagokba esik s nappal csak úgy, mint éjjel is hullanak, akkor igazán feltehetjük, hogy nem múlik el nap anélkül, hogy egy vagy két ilyen földi vándor Földünkre ne érkezzék.

A meteorithullások ritkaságában teljes joggal kételkedtek; az erre vonatkozó számítások valóban meglepő eredményre vezettek. BERWERTH szerint évenként mintegy 900 meteorit éri el a Földet. Átlagos súlyukat BREZINA 500 kg-ra becsüli. Hogy ez a - szerény véleményem szerint - túlmerész becslés mennyire felel meg a valóságnak, bajosan dönthető el. A legtöbb meteorit súlya nem több 5 kg-nál. Vannak azonban óriások is köztük. Legnagyobb a dél nyugatafrikai Hoba-West mellett földrehullt vasmeteorit, vagy meteorvas, amelynek jelenlegi súlyát 60.000 kg-ra becsülik. Hatalmas meteorkráter van Arizonában is (V. tábla). Ebből a két föltevésből végül is az következtethető, hogy a Föld súlya az idők folyamán a meteorithullások révén meggyarapodott, aminek következtében a tengelye körüli forgás sebessége s így a napok hosszúsága is megváltozott!

Számunkra azonban a meteoritok alakja és összetétele sokkal fontosabb, mint valószínű súlyuk és valószínű számuk. Éles, szögletes alakjuk azt bizonyítja, hogy nagy erők által szétfeszített s a Föld vonzókörébe került nagyobb testek töredékdarabjai. Még érdekesebb ezeknek a köveknek az összetétele. Mindenekelőtt meg kell jegyeznünk, hogy csak olyan elemeket sikerült bennük eddig kimutatni, amelyek a Földön is megtalálhatók, úgyhogy földi kőzetekkel hasonlíthatjuk össze őket. Említésre méltó továbbá, hogy a különböző meteoritok jellegzetes sajátosságúak.

Két nagy csoportjukat különböztethetjük meg, melyek között - mint mindenütt a természetben - átmenetek találhatók. Az első csoportba sorozhatók a könnyebb kőmeteoritok, vagy meteorkövek, melyeknek fajsúlya nagyjából 3.4-3.9 között változik. Ez a sűrűség körülbelül a földkéreg fajsúlyának felel meg. A második csoportba az úgynevezett vasmeteoritok vagy meteorvasak tartoznak, amelyek fajsúlya 7.3-7.9 közé esik. Ezek csaknem kizárólag kevés nikkelt tartalmazó vasból állanak, tehát összetételükkel a Föld magjára emlékeztetnek. Ennélfogva egyelőre megállja helyét az a feltevés, hogy a meteoritok olyan égitestekről kerültek hozzánk, amelyek különböző sűrűségű koncentrikus burkokból épültek fel, mint Földünk is. A vasmeteoritok a súlyos magból, ellenben a meteorkövek a szétrobbant égitestek külső könnyű kérgéből származának.

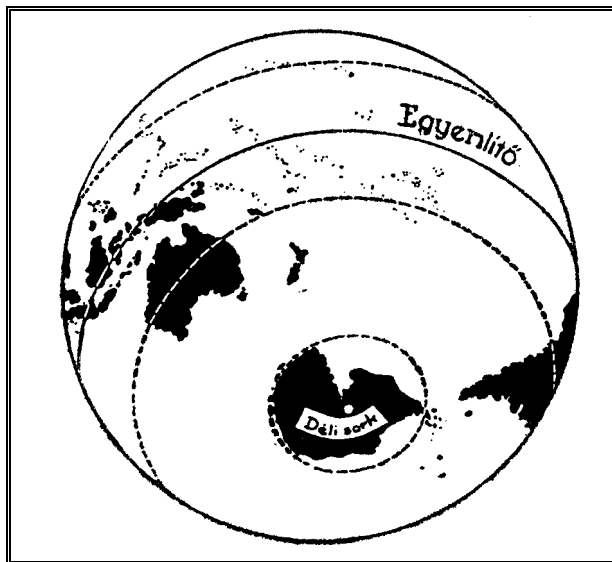
Az első támpontot ehhez az elképzeléshez az a tény szolgáltatja, hogy az eddig ismert vasmeteorok tömege sokkal nagyobb, mint az összes többié együttvéve. Ebből tehát azt következtethetjük, hogy ezekben a szétrobbant égitestekben a súlyos vasmag tömege épenúgy felülmúlta a vékony, könnyű részekét, mint Földünkben felülmúlja. Így a meteorok új bizonyítékot szolgáltatnak Földünk felépítéséről alkotott elképzelésünkhöz.

### *Az óceán.*

A Föld arcáról alkotott képünknek alapja az a térkép, melyet ifjúságunkban kényszerből, később pedig rendszerint véletlen folytán nézegetünk. Néhanapján ma is elővesszük az atlaszt, ha keresztretjvényünk utolsó szavát másként nem találjuk, vagy pedig egy hajót vagy repülőgépet követünk gyors útján. Ilyenkor többnyire feltűnik, hogy akárhány távolságot másképen képzelünk el, vagy pedig, hogy egyik-másik partvonalnak a lefutása másként él emlékeztünkben, mint ahogy azt most a térképen látjuk, noha a politikai határok minden változtatása ellenére is még mindig ugyanolyan maradt, mint amilyen ifjúságunk idején volt. Ilyenkor rendesen hosszabb ideig nézegetjük atlaszunkat, mint ahogyan eredetileg szándékunkban volt.

Az ilyen élmények a Föld teljes nyugalmanak benyomását keltették bennünk. A Föld arca világosan, mint megmásíthatatlan egész áll előttünk. A világrészek meglehetősen szeszélyesen és takarékosan szétszórva látszanak a sokkal nagyobb vízfelületen, mely a Föld egész felületének több mint kétharmadát foglalja el. Ezt a nyugalmat semmi nem zavarja meg, még az Atlantisz-mondának legendás drámája sem, noha ez oly szigetet emleget, mely nagyobb volt, mint Ázsia s mégis a dühöngő tenger martalékává lett egyetlen egy viharos éjszakán. A monda fenyegető intése, hogy a tenger azóta hajózhatatlan ott, ma már legfeljebb csak az álmodozó költőt bilincseli le - számunkra azonban csak annyit bizonyít, hogy a régi hitregéknek még korunkban is sajátos vonzereje van.

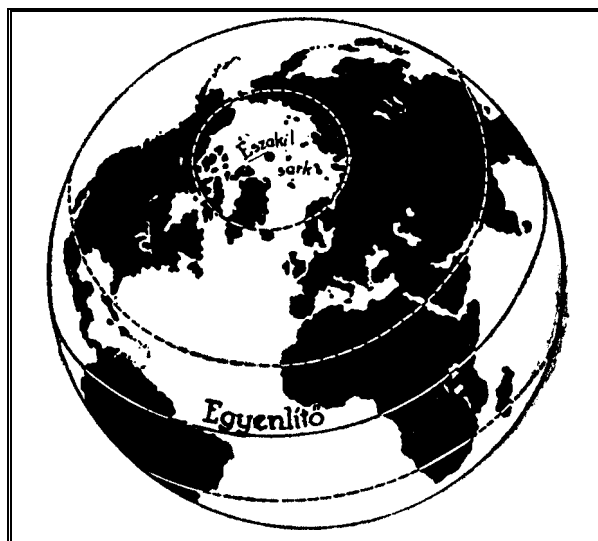
És mégis! A Föld történetéből a földbúvár oly sok valóságosan elsüllyedt Atlantiszt ismer, hogy előtte ennek a legendának nagymértékű a tudományos valószínűsége, különösen akkor, ha eltekintünk azoktól a költői szabadságoktól, melyeket PLATO megengedett magának ez esemény leírásában. Nagyon valószínű, hogy a költő képzeletében ott éltek az emlékezők különböző geológiai eseményekről, földrengésekről, nagy áradásokról, s hogy ezeket valamely élő valósághoz akarta kapcsolni, ennél fogva a történeti időkbe helyezte az eseményt, és görögöket, egyiptomiakat tesz meg az Atlantisz pusztulásának szemtanúivá, amikor a legjobb harcosok közül 9000 pusztult el.



**9. kép. A nagy vízfelületek félgömbje.**

Akárhogy álljon is a dolog, itt van most előttünk a térkép, a szárazulatok és tengerek eloszlásával, s ebből a térképből sok mindent olvashatunk ki, ami nyugalunkat jogossá teszi. Először is magunk előtt látjuk az északi sark körül a nagy szárazulatok tömegét, a déli sark vidékén pedig a leghatalmasabb vízfelszínt. A szárazföldnek és a tengernek ez az ellenlábás

elhelyezése még külön is kihangsúlyozódik azáltal, hogy közvetlenül az északi sark körül fekszik az Északi Jeges-tenger, ellenben a déli sark körül az Antarktisz szárazulata. A földfelszín felépítésének szabályos mivoltát még jobban kidomborítja a szárazulatok háromszögű alakja: valamennyi kontinens alapjával az északi sark, csúcsával meg a déli sark felé mutat (9. és 10. kép).



10. kép. A nagy szárazulatok félgömbje.

Ebből a törvényszerűségből minden időben arra következtettek, hogy a nagy óceáni medencék helyzete a földtörténet folyamán mindvégig változatlan maradt, s hogy a szárazföld mai alakja és helyzete olyan egyensúlyi állapotra utal, amelyhez a Föld már a régmúlt időkben alkalmazkodott. Más szóval feltették, hogy amikor a Föld keletkezett, mindjárt elváltak a könnyű és nehéz tömegek. A nehezebb tömegek lesüllyedtek és az óceáni medencéket alkották, ellenben a könnyebbekből a szárazulatok oly alakban létesültek, ahogyan nagy vonásokban ma is látjuk. Ez a felfogás nagyon emlékeztet arra a már említett új feltevésre, hogy az óceánok feneke a nehéz simából, a szárazulatok pedig a könnyű sialból épültek fel.

Az óceánok állandóságának ez a törvénye eredeti szigorú fogalmazásában csak kevés követőre talált. Hiszen a Föld története számos példát szolgáltatott arra vonatkozólag, hogy a tenger és a szárazulat eloszlása az idők folyamán sok lényeges változáson ment már át. Kétségtelen tény például, hogy a régebbi időkben volt olyan tenger, mely az Atlanti-óceánt a Csendes-óceánnal összekötötte s amely Spanyolországtól kezdődőleg az Alpok mai területén keresztül egészen a Molukki-szigetekig terjedt. Sok más jel meg arról tanuskodik, hogy valaha szárazföldi összeköttetés állott fenn Nyugat-Európa és Észak-Amerika között. Bizony a Föld arculata az idők folyamán nagy változásokon ment keresztül s a régi elméletet nem fogadhatjuk el minden további nélkül. Másrészt azonban annyi jelenség szól az óceánok bizonyosfokú állandósága mellett, hogy mégsem ejthetjük el teljesen.

A szárazulatokon úgyszólván alig találunk olyan üledékeket, melyek mélytengerben képződtek. Ebből arra kellene következtetnünk, hogy éppen azok a képződmények, melyek valaha mélytengerből jöttek létre, ma megint a víztől borított területeken vannak. Ez a véletlen sokkal valószínűtlenebb, mint az az egyszerű feltevés, hogy a mélytenger mindig mélytenger maradt.

Ezért az eredeti elméletet olyan irányban bővítették ki, hogy egyes eltéréseket simán meg lehessen magyarázni. Főleg az amerikai földbúvárok képviselik azt az újabb álláspontot, hogy az óceánok a legrégebbi idők óta állandóak. Az Indiai-, Atlanti- és Csendes-óceán olyan mély-

tengeri medencék, melyek mindenkor megvoltak s melyekből a földtörténet különböző időszakai folyamán sekélyebb, nem nagy mélységű tengerágak indultak ki, hogy bizonyos szárazföldi területeket elöntsének.

A tengernek ezek az előnyomulásai, mint a tudomány nyelvén mondjuk, transzgressziói alkották a beltengereket, melyek a tenger visszahúzódásával, a regresszióval megint szárazra kerültek.

Az óceánok változatlansága tehát helyet adott a néhány mély medence állandóságának. Ezen a még mindig merev állandósági elméleten kívül vannak más felfogások is, amelyek nagyobb mozgásszabadságot engednek meg. Ezek a földkéreg csak néhány gyöngye zónájának állandóságát fogadják el. E gyöngye zónák ma lehetnek óceánok, de a következő földtörténeti idők folyamán már olyan területek, melyeken hegységek keletkeznek. Meg kell még emlékeznünk a szárazföldi hidak elméletéről is, amelynek valaha számos követője volt, ma azonban már csak egyetlen védelmezője van s várja, hogy újra felelevenedhessék. Talán hiába várja, de hiszen éppen ez a szeszélyes sors teszi az eszmék harcát oly érdekessé és vonzóvá!

Ez az elmélet legegyszerűbb formájában tagadja az óceánok állandóságát. Felteszi ugyanis, hogy ott, ahol ma óceánok vannak, valamikor szárazföldek emelkedtek, melyek mint rögök a mélybe süllyedtek s a mai mély medencéket alkotják. Az Atlanti-óceánt és az Indiai-óceánt fiatalabbnak tartják, mint a Csendes-óceánt. Mások meg éppen a Csendes-óceán magas korában kételkednek s azt állítják, hogy ennek helyén csak a fiatalabb geológiai időkben süllyedt le a pacifikus szárazföld. Az óceánok állandóságának és a szárazföldi hidaknak elmélete között tehát a harc nem is annyira az óceánok keletkezése, mint inkább az óceánok kora körül forog. A szárazföldi hidak elméletének védelmezőit optimizmusuk, amelyet más tudományágakból származó néhány szellemes következtetés még támogatott, oly messze vezetett, hogy az egész óceán-problémának a fejlődését nagyon kényes irányba fordították. A geológusok „elsüllyesztettek” kontinenseket, számszerint négyet, csak azért, hogy a mély medencék létrejöhessenek. Más oldalról viszont ezt az elsüllyesztést célszerű segédeszköznek vették, mellyel egészen más jelenségeket lehet megmagyarázni.

Ha valamely állatfaj két egymástól messze fekvő területen fordul elő, akkor egyik pontról a másikra való vándorlásának valamiféle szárazföldi hídon át kellett végbemennie. Ennek a szárazföldi összeköttetésnek a két különböző terület között meghatározott méretűnek kellett lennie. Fennállását csak az állatfajok vándorlása idejére teszik fel; utána akár meg is szűnhetik. Nem nagyon védekezhetünk azon benyomás ellen, hogy eddig talán túlságosan is önkényesen építették fel ezeket az összekötő hidakat. Minthogy pedig az elmúlás ősi törvénye szerint a régi helyet ad az újnak, a szárazföldi hidak letűnő elmélete helyet ad WEGENER ALFRÉD sokoldalú elméletének, amely éppen az állatok vándorlásának és elterjedésének szellemes magyarázatában találta meg egyik legerősebb pillérét. A Wegener-féle elmélet nagy vonzereje éppen abban áll, hogy sok különböző kérdést egyetlenegy alapgondolat segítségével old meg. A megoldás talán nem mindig egészen kielégítő, de nagyvonalúsága és egyszerűsége számos ellenzőjét is óvatosságra inti, s még bennük is elismerést ébreszt!

Az elméleteknek és feltevéseknek egész sorozatával ismerkedtünk meg eddig - néha talán kissé túltömör formában -, ennél fogva most már azon benyomás ellen kell védekeznünk, hogy a földtan végül is nem más, mint önkényes elképzeléseknek zavaros halmaza, amely a be nem avatottat végül is arra a nézetre vezeti, hogy a tudósok maguk sem tudnak erről semmit! S igaz, hogy minél súlyosabb valamely probléma, annál nagyobb az elméletek száma. De itt is igaz a régi közmondás: Du choc des idées jaillit la lumière. Amit szabadon talán úgy fordíthatunk le, hogy az igazság ott van, ahol az elméletek végül találkoznak.

Ha tehát valaki az óceánok keletkezése iránt érdeklődik, akkor a becsületes válasz csak így hangozhatik: egyik ezt mondja, a másik azt, mivel a történesek közvetlen megfigyelése, legalábbis jelenleg, még nem lehetséges. A megnyugtató választ csak azon a napon kaphatjuk meg, amikor végre előttünk lesz már az óceánok fenekének földtani térképe. Addig azonban a Föld bűvárának történetírása hiányos, mert a földfelület háromnegyed része a közvetlen megfigyelés szempontjából hozzáférhetetlen számára.

A felsorolt elképzelések azonban mégsem pusztán kitalálások! Valamennyinek közös alapötletei vannak, amelyek egyre inkább az előtérbe nyomulnak - miközben bizonyos helyesbítéseken kell keresztülesniük -, míg végül is olyan világos elképzelés jön létre, mely további elgondolások alapjául szolgálhat.

Így alakult ki az óceánok szigorú állandóságának törvényéből a földkéreg gyenge zónáinak többé-kevésbé állandó mivoltáról szóló tan. És ez a gondolat nemcsak azokkal a nagy változásokkal van összhangban, amelyeken a Föld a tenger és szárazulat eloszlása tekintetében az idők folyamán átment, hanem összeegyeztethető a süllyedő kontinensek elméletével is! Legalább is annyiban, amennyiben az elmélet az elsüllyedt szárazföldi hidakra szorítkozik, amelyeknek egyedüli hivatása bizonyára nem csak az volt, hogy egyes állatfajok kontinensek közötti elterjedését lehetővé tegyék. Hiszen azok a túlzások, amelyekbe a szárazföldi hidak elméletének védelmezői beleestek, végül is nem szolgálhatnak okul arra, hogy az elsüllyedés lehetőségében kételkedjünk.

Nézzük az esetet anekdotikus megvilágításban: Az a nyílás, amit NEWTON szobája ajtajába fűrészeltetett, csak azért, hogy macskájának nagyobb szabadságot engedjen, s átjutását az egyik szobából a másikba megkönnyítse, ilyen megengedhető szárazföldi hídnak tekinthető. Midőn azonban macskáik szaporodtak, NEWTON ugyanannyi apró lyukat vágatott ajtajába, ahány kis cicája volt - s ezzel olyan túlzásba esett - amely mosolyt csal arcunkra.

### *A földtörténeti sebesség.*

Ezen megfontolások világánál az eltűnt kontinensek mondája csodálatosképpen valószínűbbé lesz. S midőn a költő arról regél, hogy Atlantisz sok bátor harcosával együtt egyetlen egy éjszakán süllyedt el, akkor még jobban megrendül hitünk a földkéreg változhatatlanságában. Ez a hirtelen végbemenő esemény valóban rosszul egyeztethető össze azzal a biztos nyugalommal, amelyben hittünk. S ha már a Föld kérgének mindenképpen változásokon kell keresztül mennie, amiként ezt a geológusok bizonygatják, akkor ezt szívesebben látjuk lassan és fokozatos történés alakjában, mint meglepő megrázkódtatásokban, amiket csak kis méretben szeretünk átélni. Alkalmilag azt olvassuk a reggeli vagy esti lapokban, hogy tengeralatti vulkáni kitörés következtében új sziget emelkedett a tenger tükre fölé, vagy hogy egy sziget elsüllyedt, s ezt többé-kevésbé el kell hinnünk. Tovább azonban nem terjed türelmünk a zavartkeltő geológussal szemben. Még megmaradt bennünk valami azokból a régi iskolás elképzelésekből, amelyeket nem olyan könnyű lerázni, s ezek közé tartozik az a mondás is: a természetben nincsenek ugrások! Minden fokozatosan megy, folyik át egymásba, észrevehető változás nélkül! Ezt már a régi görögök is tudták s önelégült nyugalmutat ítélet napjaig általános érvényű kifejezésben szögezték le: Panta rhei! Minden folyik.

Az a bölcs, filozófikus nyugalom, ami ezeknek a megfontolásoknak minden egyes szavából kicsendül, bizonyára befolyást gyakorolt a földtani ismeretek fejlődésére is. Újabban azonban a nyugtalanok megint létjogosultságot nyertek: arra az időszakra, amikor mindenütt katasztrófákat, hirtelen változásokat tételeztek fel, olyan idő következett be ugyan, amidőn csak fokozatos átmenetekben hittek és tilos volt a katasztrófák emlegetése, de a természettudományok legújabb iránya újra utat tör a hirtelen változások lehetőségének. Egész sereg bizonyítékot

hozhatunk fel erre vonatkozólag: a „kritikus pontot” vagy az energiaquantumokat a természet-tanban, az ugrásszerű mutációkat a biológiában és az elsüllyedést a - földtanban. Amivel egyébként még korántsem akarjuk azt mondani, hogy az Atlantisz egy éjszaka alatt végbement elsüllyedése valószínűbb lett.

Mindenekelőtt azt kell a földtanban meggondolnunk, hogy az olyan fogalmak, mint lassú, vagy gyors, tulajdonképpen nagyon viszonylagosak. Olyan történéssel szemben, amely évmilliókon át zajlik le, tehát nagyon lassan megy végbe, már nagyon gyorsnak tűnik fel az a másik esemény, amely már 1000 év alatt lejátszódott, még akkor is, ha századunknak a gyorsaságról való fogalmai szerint a tökéletes nyugalom példaképeül szolgálhat.

Aki a Föld krónikájában akar lapozgatni, felejtse el eddigi fogalmait a sebességről és a tartamról. A Föld történetében rövid, nagyon is rövid idő - hogy egyszer már számot is említsünk - 10.000 esztendő. S a legnagyobb sebesség is, amellyel valamely földtörténeti esemény lezajlik, az éveken át tartó megfigyelések számára csak a nullával egyenlő.

### III. Mégkövesült élet.

#### *A kövület.*

Hogy a Földről szóló tudomány az utolsó harminc vagy ötven év alatt olyan előkelő helyet vívott ki magának a tudományok között, amelynek következtében a 20. század ipara a nyersanyagok felkutatásánál napról-napra fordul tanácsért a Föld bűvárához, mindez végeredményben egyetlen egy, látszólag egészen jelentéktelen tényre vezethető vissza. Földtani tudásunk hatalmas fejlődése alapján véve teljesen a megkövesedett tengeri kagyló beszédes leletén nyugszik, melyet valahol a hegyek magas csúcsán találunk vagy pedig a közönséges homokba vagy mészkőbe beágyazva. Az viszont igaz, hogy évszázadokig tartott, míg végül ennek a leletnek a beszédét az ember megértette. Elkecsereedett viták folytak a leletek körül, de végül is e hosszú vitákból született meg a mai földtan.

A kövületek sokszor sajátos formái, szabályos díszítései az ember figyelmét minden korban megragadták és ráirányították a növényeknek vagy állatoknak megkövült maradványaira (VI-VIII. tábla). Már a kőkor kezdetleges embere is valami különösét látott ezekben a maradványokban és gyakran viselte azokat dísz vagy amulett gyanánt. Így tehát a Föld tudományának egy gőgös kutatója joggal állapíthatta meg, hogy az első kőzetgyűjtemények alapjait már 30.000 esztendővel ezelőtt megvetették.

És mégis nagyon sokáig tartott, amíg az ember a kövületek valódi jelentőségét felismerte s míg a fossziliák, vagyis kövületek, mint a földtan fontos okmányai vagy vezérfonalai, jelentős szerepüket megkezdhették.

A természet ölen élő ember számára, aki az istenekkel, az idő viszontagságaival és a szelekkel naponta küzdelmes harcot vívott és minden szokatlan jelenséget a jó vagy rossz szellemekkel hozott kapcsolatba, ezeknek a különös köveknek természetfölötti jelentőségük volt. Kihalt állatok csontmaradványait, melyek a Himalája hegyomlásai alkalmával kerültek napfényre, a bennszülöttek tisztelték és imádták. Azt tartották, hogy ezek a csontok a felhőkből estek alá s olyan éber szellemektől származnak, amelyek a földön akartak vándorolni. A keletindiai szigetvilágban még ma is gyűjtik és kifőzik a megkövesült csontokat, mert gyógyító erőt tulajdonítanak nekik.

A középkori néphit kevésbé tisztelte a kövületeket. Számára a kövületek nem jelentettek egyebet, mint a természet szeszélyes játékát, amiben annak bizonyítékát látták, hogy a természet a legkisebb kőben is meg tudja mutatni korlátlan hatalmát. Csak akkor indult meg hosszadalmas vita a kövületek jelentősége körül, midőn felismerték a kövületek természetes eredetét.

Habár az állati testrészekkel való hasonlóság nagyon feltűnő volt, az ember mégsem mert a kövület és az élőlények közötti összefüggésre gondolni. Legtöbbször csak kisebb, gyakran rossz magatartású töredékekkel volt dolga, melyek nem sokat árultak el, vagy pedig a kagylóhalnak vagy más különös lénynek a maradványait találta meg. De már akkor megindult a vita afölött, hogy vajjon a kövületek csak a természet szeszélye folytán jöttek-e létre, például földrengések vagy más hatalmas természeti jelenségek alkalmával, vagy pedig növényeknek és állatoknak valóban megkövesedett maradványai-e. Az utóbbi nézet különösen STENO-nak, a földtan prófétájának (1669) személyében lelt alapos és erős védelmezőre. STENO egy alkalommal egy cápaállcsontot és különösen annak fogait tanulmányozta.

Véleménye szerint ezek a fogak a természetben található legélesebb vágóeszközök. Midőn később egyszer cápafogakat mutattak neki, amelyeket a tengertől távol, szilárd kőzetből tucatjával lehetett kiszedni, pillanatig sem habozott annak kijelentésével, hogy ezek az éles, háromszögalakú, gonosz tárgyak hajszálra hasonlítanak az általa megvizsgált cápaállkapocs fogaihoz. STENO vélekedése szerint mégsem gondolhatjuk, hogy a természet emberi kezet alkotott volna a hozzá tartozó ember nélkül. S valószínűleg cápafogat sem a hozzátartozó cápa nélkül.

A per úgy dőlt el, hogy a kövületekben most már hajdan élt lények megkövesedett maradványait látták. A győztes felfogás hívei azonban csakhamar túllőttek a célon és a legegyszerűbb külsejű kövületek alapján a legelképesztőbb rekonstrukciókat, kiegészítéseket alkották. Egy emberi combcsontról, mely valamelyik temető felásatásánál került elő, azt állították, hogy elefánt csontja. Az ember teljes joggal kérdezte, hogy mért éppen ott építették az első keresztények templomaikat, ahol a régi pogányok elefántjaikat temették el?

Nagy fontossága volt azonban annak a megfigyelésnek is, hogy a kövületek többnyire a jól rétegzett, vízszintesen települő kőzetekben fordulnak elő. Ez a tény STENO-t nemcsak arra a meggyőződésre vezette, hogy az ilyen kőzeteknek a vízben kellett keletkezniük, hanem annak a felismerésére is, hogy minden egyes rétegnek már le kellett volt üledednie, mielőtt a felette levő kialakulhatott volna. Ez az egyszerű megfontolás mintegy másfél évszázad múlva valóban a földtan legfontosabb alaptételeinek egyike lett, amely nélkül a Föld tudományos vizsgálata elképzelhetetlen és a földtani munka lehetetlen volna.

De, miként ezt már többször említettük, minden eredmény újabb kérdéseket is vet a felszínre. A kövület és az üledékes vagy szediment kőzetek településének felfedezése a tudományt egy teljes évszázadon át azon súlyos kérdés elé állította, hogy hogyan került olyan magasan a tenger színe fölé az a réteges kőzet, amely a benne található kövületek alapján tulajdonképpen a víz alá való. Más szóval, a cápafog a cápa állkapcsába tartozik, a cápa pedig a tengerbe való és nem sziklába, fenn a magas hegyekben.

Háromféle válasz is volt ezekre a kérdésekre. Az elsőt a pesszimisták adták, akiknek semmi bizalma sem volt ehhez a még gyermekcipőben járó földtanhoz; szerintük az olyan tudomány, amely ilyen képtelenségeket állít, sosem lehet valamivé. A másik az eretnekektől származott, akiknek a szemében az egész rejtély nagyon egyszerűnek látszott. Szerintük a vízszintes települési rétegek a víz színe alatt jöttek létre, s később hatalmas földmozgások emelték őket a tenger színe fölé. Ez már olyan válasz, amelytől a mai földtan alig tér el.

A harmadik válasz a biblia felelete volt.

### *Az özönvíz.*

Az özönvíznek biblikus elképzelése látszólag valóban nagyon természetes magyarázatot adott nem csak arra a kérdésre, hogyan lehetséges, hogy a Földön annyi kihalt állatfajjal találkozunk a kőzetekbe zárva, hanem a réteges kőzeteknek létezésére is, melyek STENO szerint a vízben üledtek le. A biblia kifejezetten azt tanítja, hogy az özönvíz a legmagasabb hegycsúcsokat is elborította és valamennyi állat elpusztult, kivéve azt a néhány párat, mely NOÉ bárkájában lelt menedéket.

Az özönvíznek ez az elképzelése még akkor is sok védelmezőre akadt volna az első geológusok között, ha nem is támogatta volna a biblia teljes tekintélye. Akkoriban a vízözön világos elméletnek látszott, melynek segítségével minden nagyobb kéregmozdulás nélkül - amely akkoriban még egészen valószínűtlenül hangzott volna - érthetővé lett a titokzatos kövület megjelenése. A biblia megtámadhatatlansága arra vezetett, hogy nem látták be egy

özönvíz, gyakorlatilag tekintve, teljes lehetetlenségét és sok megmagyarázatlanul maradt jelenségről megfélemedtek s végül is minden tudományos aggály elől mereven elzárkóztak.

A kövületben nem láttak mást, mint a biblia egyik bizonyítékát s nem, mint eddig, az özönvíz történetében kísérletet a kövület értelmezésére. És éppen itt volt a tévedés. Mert a Föld kutatói körében is egyre erősödött az a meggondolás, hogyha a biblia nem tanított volna meg bennünket a világot elpusztító özönvíz ismeretére, akkor megtámadhatatlan bizonyítékok alapján a geológusnak kellett volna felállítania az özönvíz elméletét. Valamennyi kövületet, amennyiben nem a természet játékát látták bennük, a bibliai katasztrófa nyomorúságos maradványának tekintették. Egy szalamandra csontváza (IX. tábla) azt a megindító elképzelést keltette fel, hogy egy Szodomából és Gomorrhából származó bűnös ember siralmas maradványa.

Lassanként azonban megérlelődött az a belátás, hogy az egymás fölött fekvő rétegek közti nagy különbség sehogyan sem egyeztethető össze egyetlen egy negyven napon és negyven éjszakán keresztül tartott özönvízzel. S csodálkozva állapították meg, hogy egy fontos tényt teljes száz esztendőn keresztül figyelmen kívül hagytak. Ugyanis minden egyes rétegnek előbb kellett leülepednie, mint a rája települőnek, tehát különböző korúaknak kell lenniük. Ahol a rétegek vastagsága nagy méreteket mutat - gondoljunk csak a Colorado Nagy Szurdokára (Grand Canyon) (XXI. tábla) - ott nyilvánvalóan tekintélyes időnek kellett elmúlnia a legalsó és legfelső réteg leülepedése között. Feltűnt azután még az is, hogy a rétegek gyakran meggyűrve vagy meredeken álló helyzetben jelennek meg és fölfelé gyakran igen éles határral, megint vízszintes helyzetű rétegek zárják be sorozatukat.

Mindezeket eleinte azzal igyekeztek megmagyarázni, hogy a Föld történetében nem egy, hanem több özönvíz pusztított. Ezeknek a katasztrófáknak a számát egyre gyarapították, míg végül a negyvenötödik özönvíz esetében be kellett látniuk, hogy még a negyvenhatodikkal sem tudnának kielégítő eredményre jutni. S a hosszú vita végén még mindig teljes rejtelmességében állt ott a kövület, a kihalt lények megkövült maradványa.

### ***Még egyszer a kövületről.***

Valójában ennek a rejtélynek megoldásával kezdődik az újabb földtan. A Föld történetét nagyon érdekes könyvben találjuk megírva: a réteges vagyis üledékes kőzetekben, az úgynevezett szedimentekben. A hasonlat a könyv és az üledékes kőzetek között nagyon találó. Mert a történeti földtan, vagyis a Föld történetével foglalkozó tudomány tulajdonképpen nem más, mint ezeknek a kőzeteknek a története az első óceán keletkezésétől kezdve napjainkig, tehát a különböző rétegeknek a törvényszerű sorrendje valóban egy könyv teleírt lapjához hasonlít. Az üledékes kőzeteknek ez a könyve ma már meglehetősen rendezetten hat. A tudományos vízözönelmélet derengésének idején azonban még olvashatatlan volt. Minden reménytelen összevisszaságban hevert, a szöveg megfejtethetlen jelek zürzavaros kavardása volt, a titokzatos lapok számozatlanul, szanaszét heverték. Amiként a napoleoni idők tudósai az egyiptomi papiruszok hieroglifáit nagy fáradsággal fejtették meg, úgy kellett a XVIII. század geológusának az üledékes kőzetek titokzatos nyelvének kulcsát megkeresnie.

A Föld valamely helyén szabályszerűen egymásrakövetkező, zavartalanul és vízszintesen települő rétegeket találtak, melyeknek a Steno-féle alaptörvény értelmében alúlról fölfelé egyre fiatalabbnak kellett lenniök. Más helyeken ugyancsak megtalálták ezeket a kőzeteket, még pedig néha úgy, hogy egyszer fölfelé, máskor meg lefelé fiatalabb, illetőleg idősebb rétegek egész sorozatában folytatódtak.

Ha például csatornát ástak, ráakadtak egy M rétegre, közvetlen összefüggésben a fölötté települő fiatalabb N réteggel. Ha azután valahol mélyebbre ástak, előbukkant az M alatti, idősebb L réteg is, ellenben valamely dombhát átvágásában rátaláltak az N fölé települt még két vékonyabb O és P rétegre. Ha tehát az első szelvényben még csak két rétegünk volt, a domb szelvényében a rétegek száma már ötre növekedett és pedig L-től P-ig egyre fiatalabb rétegek következtek egymásra.

A különböző rétegsorokat ekkor gondosan és pontosan egymáshoz illesztették. Az egymásután következő üledékeknek sora egyre nőtt és az összekúszált lapú könyvben egyre több és több oldal sorakozott elfogadható rendben egymás után. Lassacskán világossá lett, hogy a Föld valamennyi réteges kőzete, palái, homokkövei, mészkövei határozott rendszerben foglalnak helyet. Ennek a rendszernek egyes részeit szűkebb területeken itt-ott már megállapíthatták. Hiányzott azonban még az összefüggés. Még sok hézag volt a gyanítható rétegsorozatban, amely még távolról sem volt áttekinthető. De különböző kellemetlen zavarok is felléptek. Olyan szelvényekben például, amelyekben jó feltárásban jelentek meg a rétegek, s ahol már előre örülni lehetett annak, hogy szép és megszakítás nélküli teljes szelvények lesznek megismerhetők, sokszor megtörtént, hogy a P réteg például közvetlenül rátelepült az L rétegre a közben levő másik három réteg minden nyoma nélkül.

Olyan ismertető jelet kellett tehát találni, melynek alapján az összehasonlítást az egyes képződmények között nagyobb távolságokon át is keresztül lehetett vinni, mint amilyen egy rövid csatorna volt. Ahhoz, hogy valamely földtanilag ismeretlen terület - már pedig akkoriban a legtöbb vidék ilyen volt - mészkövének helyét a rendszerben kijelölhessük, szükség volt arra, hogy más vidékeknek hasonló kőzetével összehasonlítsuk, olyanokkal, amelyeknek helyét a rendszerben már tisztázták. Egy szóval annyira pontosan kellett megismerni egy kőzetet, hogy a Föld más helyén biztosan felismerhető legyen. Eleinte azokra a bélyegekre gondoltak, melyekkel a rétegek feltűnnek s egymástól elütnek. Így aztán a vastagság, szín, összetétel, keménység és egyéb tulajdonságok mind kedvelt ismertetőjelek lettek ahhoz, hogy segítségükkel valamely réteget nagyobb távolságra követni lehessen. Mindezek a bélyegek azonban elégteleneknek bizonyultak, mivel a legtöbb rétegnek megvolt az a kellemetlen tulajdonsága, hogy többé-kevésbbé hirtelen olyan kőzetbe ment át, amely nagyon eltérő jelleget tüntet fel, vagy pedig hirtelen teljesen megszűnt és váratlanul olyan képződménybe ment át, melynek már semmi köze sincs a vízszintes rétegzettséghez.

Mindezek a kutatások, amelyeknek sok kutató szentelte egész életét, nagy mértékben előmozdították, hogy az üledékek könyve olvashatóbbá váljék. Nem juttatták a tudósokat azonban annyira, hogy megtalálták volna azt a kulcsot, amely valamennyi nehézség megoldását lehetővé tette volna s amelynek alapján a rendezetlen lapokat végre is egységes egészévé köthették volna össze. Az a jelentéktelen kis oldalszám, amely egyik lapot a másikkal összeköti, s amely nélkül egy könyvet sem üthetünk fel teljes biztonsággal, még mindig sűrű homályba volt burkolva.

A XVIII. század vége körül Angliában tört ki az - a földtan számára fölötté kedvező - „őrület”, hogy a leghihetlenebb csatornákat ássák meg, melyek lassanként kegyetlenül a napvilágra hozták a mélyebb talaj szerkezeti sajátságait is. A csodálkozó munkások lába nyomában állandóan ott járt egy csodabogár, aki az újonnan lefejtett meredek falakat lankadatlan kíváncsisággal tanulmányozta, csak azért, hogy maszatos kezeivel időről-időre titokzatos zsákmányt süllyesszen zsebébe. SMITH WILLIAM volt ez a fáradhatatlan gyűjtő, a legnagyobb titok hordozója. Ez a titok nemcsak a földtan teljes gondolkozásmódját változtatta meg, hanem sok más tudományt is új, soha nem sejtett, soha nem járt ösvényre vezetett. Ama kevesek közé tartozott, akiknek megadatott, hogy tudjanak valamit minden más földi halandó és sok ezer más kutató előtt. Ő volt az első, aki lelki szemei előtt elvonulni látta az egész

életet, mely ezerféle formában állandóan változott és gyarapodott. Természetéből folyó bátortalanságánál fogva azonban hallgatott, annál is inkább, mert tudta, hogy felfedezése sokkal nagyobb és csodálatosabb, semhogy általános elismerésre és megbecsülésre találjon. Abban a meggyőződésben, „hogymódszere a gyakorlati bölcséletnek olyan rendszerévé lehet, mely a Föld egész felületét összefoglalhatja”, kortársainak gúnyolódását és hitetlenségét azzal akarta lefegyverezni, hogy minél több megdönthetetlen bizonyítékot gyűjtson össze.

Fáradhatatlan barangolásai végül is teljes bizonyosságot szolgáltatnak. Az a mód, ahogyan ekkor felfedezését megfogalmazta, éppen olyan szerény volt, mint egész egyénisége: „A kövületeket már régen tanulmányozták, mint furcsa jelenségeket, nagy fáradsággal összegyűjtötték és megőrizték, hogy azután, mint csodát mutogathassák, de senki sem akarta meglátni azt a bámulatos rendszert és szabályszerűséget, mellyel a természet a kövületeket rendezte, s amelynek alapján minden egyes kövület-csoport bizonyos réteget határoz meg.” Ez tehát más szóval annyit jelent, hogy a különböző rétegekben különböző kövületek találhatók, vagyis minden réteget meghatároz kövülettartalma, a benne előforduló vezérkövületek.

Ennek a törvénynek messzehordó jelentőségét történelmi példa mutatja. Egy angol geológust, aki Észak-Amerikában a Niagara-vízesések környékén utazott, meglepte az a körülmény, hogy ott olyan mészkő fordul elő, mely emlékeztetett egy hazájában előforduló mészkőre. A távolság nagysága nem engedte meg azt a következtetést, hogy talán ugyanazon mészkővel van dolga. Így aztán egyszerűen csak leszögezte a meglepő hasonlóságot hazája és az idegen föld köze között; s tovább folytatta útját. Más geológus azután ugyancsak bejárta ezt a területet. Őt már erősen befolyásolták honfitársának, SMITH-nek az eszméi, s így különös figyelemmel vizsgálta azokat a hatalmas vastagságú mészrétegeket, melyekben ugyanazokat a kagylókat és korálokat találta meg, melyeket már ismert Angliából. Ennélfogva ez mégis csak ugyanaz a mészkő volt, mint az angliai, azzal egy időben s hasonló körülmények között ülepedett le.

A kövület áthidalta a nagy távolságokat. És az üledékes kőzetek nagy könyvében most már minden oldalon ott állott a helyes lapszám.

### *A sziklák története.*

Az új felfedezés nagyon meglepte a Föld kutatóit, de örömmel első fellángolásában csak arra törekedtek, hogy a különböző kőzetrétegeket minél jobban összehasonlítsák, nem szakítottak azonban maguknak időt arra, hogy Smith-féle törvény messzebbre kiható következményeivel is foglalkozzanak.

Az egymásután következő üledékes rétegeket különböző csoportokba foglalták össze, melyeket idővel mind részletesebben osztályoztak, amint a különböző rétegek ismerete előrehaladt és elhatárolásuk tökéletesebb lett. Ilyen módon a Föld történetét az élet első megjelenésétől kezdve napjainkig három időcsoportba (korokba) osztották be: paleozoikum (ókor), mezozoikum (középkor) és neozoikum vagy kainozoikum (újkor). Ez a beosztás erősen emlékeztet az emberiség történelmének hármasságára, amelyet szintén ókorra, középkorra és újkorra osztanak. Ezen időcsoportok mindegyikét tovább alcsoportokra (korszakokra) osztották. Sajnos, az egyes korszakok jelölésére használt neveket nem választották meg rendszeresen. A nevek ugyanis részben az illető korszak uralkodó kőzeteire vonatkoznak, mint pl. kréta, kőszén, részben pedig arra a vidékre, ahonnan az illető korszakot először írták le, mint pl. perm (az oroszországi Perm kormányzóság nyomán), vagy devon (az angliai Devonshire grófság neve nyomán). A földtani időbeosztást legegyszerűbb formájában a következőképpen adhatjuk meg:

<b>III. Neozoikum v. Kainozoikum</b>	2. Negyedkor (Quartér)
A Föld újkora	1. Harmadkor (Terciér)
<b>II. Mezozoikum</b>	3. Kréta
A Föld középkora	2. Júra
	1. Triász
<b>I. Paleozoikum</b>	5. Perm
A Föld ókora.	4. Karbon (Kőszén)
	3. Devon
	2. Szilúr
	1. Kambrium

Meg kell továbbá gondolnunk, hogy ez az átnézetes beosztás korántsem felel meg az egyes időszakok valóságos tartamának. Csak viszonylagos korszámítást tesz lehetővé, például csak azt állapítja meg, hogy a devon idősebb, mint a karbon, de fiatalabb, mint a szilúr. Általánosságban annyit mond, hogy alulról fölfelé haladva mindig fiatalabb rétegekkel van dolgunk. Meg kell azután még azt is gondolnunk, hogy ez az egész beosztás tulajdonképpen a hajdani élőlények megkövült maradványain alapul, tehát voltaképpen csak azt az aránylag rövid időt foglalja magában, amióta az élet a Földön megjelent.

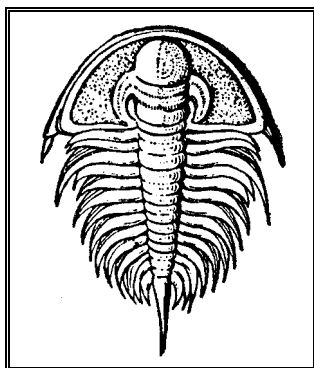
Az ókor legidősebb képződményei, vagyis a kambrium rétegei alatt még idősebb kőzetek fordulnak elő, amelyeket a Föld bűvárai két csoportba osztottak be. Ezek közül a fiatalabbat eozoikumnak, az állati élet hajnalkorának nevezték el, mert képződményeiben kétes kövületeket találtak, melyek egykori élő szervezetek maradványaira engedtek következtetni. Proterozoikumnak, algonkiumnak vagy prekambriumnak is nevezik. Az újabb kutatások az állati maradványoknak már egész sorát tárták fel ebből az időből. Ezek a maradványok már aránylag magasabb szervezetségű élőlényekre utalnak. A hajnalkori képződmények alatt következő rétegösszletet régebben azozoikumnak, azaz állat nélküli kornak nevezték el, mert benne sosem akadtak élő szervezetek nyomaira s így úgy vélték, hogy abban az időben még semmiféle szerves élet nem volt a Földön. Újabban már inkább az archaikum elnevezést használjuk erre az időre, ami őskort jelent. Észak-Amerikában ugyanis találtak már olyan archaikus kőzeteket, amelyekben szervezetek maradványait vélték felismerni. Bár ily maradványok ebből a korból még bizonytalanok, kétségtelenül megállapítható bizonyos jelek alapján, hogy ebben az időben már kialakult a Föld vízburka, eső volt és árapály.

Az óceánok kialakulása óta a Föld történetét, már amennyiben az élet fejlődésére vonatkozik, három nagy szakaszra oszthatjuk. Ezek közül a legrégebben, az azozoikumban, a régi felfogás szerint az életnek még semmiféle nyomát nem lehet felfedezni. Az élet megjelenését megelőző kor rengeteg hosszú ideig tartott, legalább is olyan sokáig, mint az utána következő időszakok együttesen. Ez rendkívül nagy jelentőségű tény. Maga a számítás ez időszak képződményeinek rétegvastagságán alapszik. A második időszakban már régebben is feltételezték az életet, bár ennek kétséges nyomait akkoriban még nem is találták meg. És azután következik a harmadik időszak, a legfiatalabb, mely a földtörténelmi értelemben vett ókor kezdetétől napjainkig tart. Ezen időszak alatt fejlődött az egész növény- és állatország lassacskán mai magas fokáig.

Minthogy az első két nagy időszakot még meglehetősen kevésbé ismerjük, a „sziklák történelmének” csak azzal a részével foglalkozunk, mely az élet terjedésének és fejlődésének tanúi alapján számunkra hozzáférhető. SMITH idejében, amiként a fentebb közölt vázlat is

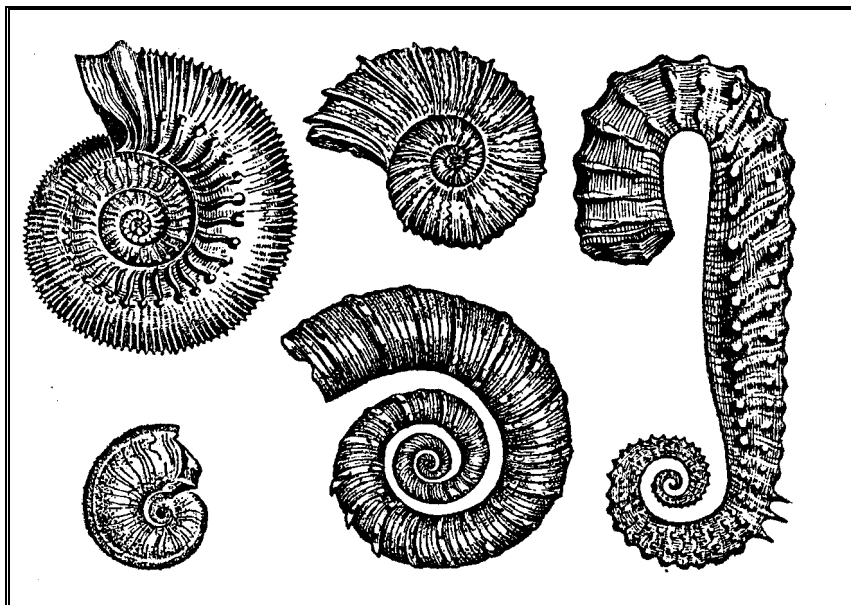
mutatja, a Föld történetének ezt a fiatalabb fejezetét a kőütleletek alapján három nagy csoportba osztották, amelyeket a bennük talált megkövesült növényi vagy állati maradványok szerint megint tovább osztályoztak.

Az új földtani korbeosztás rendszere külsőben alig különbözik SMITH kortársainak beosztásától. És mégis a kettő között ott van egy egész eszmevilág elmúlása! A XVIII. század végén a kőület nem volt egyéb, mint jól használható ismertetőjel, összehasonlító bélyeg a rendszerbe osztandó kőzetretegek számára. Magának a kőületek közti különbségnek még vajmi kevés figyelmet szenteltek. A „sziklák történelme” - habár az egyes rétegszakaszok elválasztása helyes volt - nagyon hasonlított a semmitmondó évszámok halmazához vagy olyan történetkönyvhöz, melyben egyszerűen csak a csaták s a rákövetkező békekötések olvashatók, az okok és hajtóerők ismertetése nélkül.



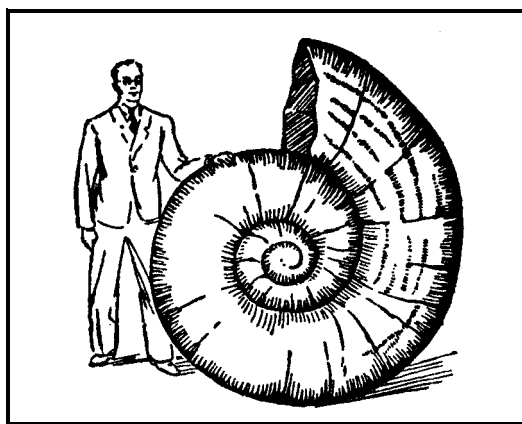
11. kép. Trilobita, az ó-korra jellemző háromkaréjú rák.

Csak a XIX. század kezdetével vonult be a földtanba a fejlődés, az evolúció forradalmi gondolata, mely az élettelen halmazból csodálatos történésnek, az élet történetének lélekzetet elállító híradásait keltette életre. A földtan nagy érdeme éppen abban van, hogy az általános fejlődés megismerésének útját egyengette. Szilárd alapot teremtett sok, az élettel foglalkozó tudomány számára. Mert az evolúció, transzformáció, mutáció, vagy akárhogy is nevezzük a különböző fejlődési elméleteket, végeredményben valamennyi a „fosszilis életformák merev rendszeréből” nőtt ki.



12. kép. Ammoniteszek.

Már korán észrevették, hogy valamely földtörténeti korszak végén egész növény- és állatsoportok eltűnnek, ellenben mások lépnek föl az új korszakok kezdetén. A háromkaréjú rákok, a trilobiták (11. kép) az ókor végén kihalnak. A spirálisan becsavarodott ammoniteszek (12. 13. és 14. kép) és az egyenes, hosszú, szivaralakú belemniteszek (15. és 16. kép), a szarvalakú, durvahéjú rudisták (17. kép), valamint a nagy óriásgyíkok a középkorban jelennek meg, s e kor végén ki is pusztulnak. Az újkorral megkezdődik az emlősök hatalmas iramú fejlődése. Ma már tudjuk, hogy ezek a jelenségek legtöbbszörre összefüggnek a szárazulatok és tengerek eloszlásának változásával is. Akkoriban azonban ezek a változások, melyek egyébként a növényvilágra is kiterjedtek, a legnagyobb mértékben lekötötték a tudományos világ érdeklődését. S habár még máig is sok rejtély maradt megfejtetlenül, mégsem nyomhatjuk el mosolyunkat, ha azt olvassuk, hogyan értelmezték száz évvel ezelőtt ezeket a megfigyeléseket. Még az előző század közepe tájáig is azt gondolták, hogy az életet időről-időre hatalmas katasztrófák pusztították el, amelyek után megint új teremtés következett. A pusztulásnak és teremtésnek ez a folytonos váltakozása azonban végül is olyan sokszor ismétlődött már, hogy még a legjobb hiszeműek is lassanként idegenkedni kezdtek. Mikor végül már a huszonkilencedik teremtés javasolásánál tartottak, maga a katasztrófa-elmélet is kimúlt.



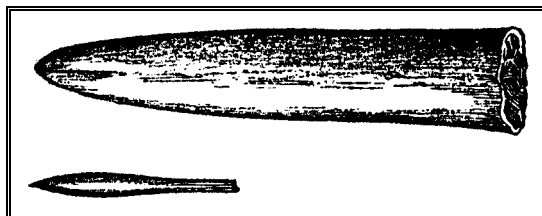
**13. Krétakori óriási ammonitesz.**

Mint hogy a huszonnyolcadik és egyúttal utolsó katasztrófa véletlenül a Noé-féle özönvízzel esett egybe, az ember nem igen tud attól az érzéstől szabadulni, hogy az egész elméletet - ha talán öntudatlanul is - a biblia befolyásolta. De a babiloniak, kaldeusok, héberek, görögök és egyiptomiak hagyományaiban is szerepet játszottak özönvizek és világkatasztrófák. Ebből arra következtettek, hogy ezeknek a sorsdöntő eseményeknek elgondolása az ember „belső” sugallatában gyökerezik, amely minden embernek lelkébe, még a legkezdetlegesebbébe is, kezdettől fogva be van oltva. E belső megismerésnek a legkülönbözőbb népeknél való megegyezésében bizonyítékot láttak a bibliai elképzelés helyessége mellett.

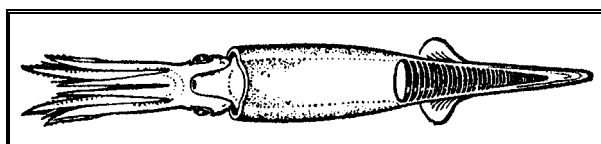


**14. kép. Rekonstruált liaszkori ammonitesz. (Fraas nyomán.)**

A valóságban ezek a katasztrófák és vízözön-mondák hirtelen fellépett természeti események élénk emlékéből alakultak ki, amelyek a költői hagyományban óriásivá, az egész Földet átfogókká nőttek meg. Mert hiszen e természeti események a kicsiny ember szemében oly óriási nagyoknak tündek fel, hogy felfogásuk szerint legalább is az egész földgolyóra kihatással kellett lenniök, amelyre magyarázatot csak valamely természetfölötti erőben, legtöbbször az istenség büntető haragjában találtak. NOÉ bizonyára átélt egyszer egy óriási, mindent elsöprő szökőárat, amilyen nemrégén Japán partjait pusztította el.

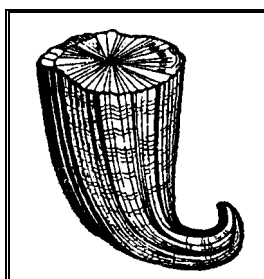


**15. kép. Belemnitesz megkövesült maradványa.**



**16. kép. Belemnitesz rekonstruált képe.**

Nagyon tanulságosak ebből a szempontból azon népek rituális szokásai, melyeknek nincsenek írott hagyományaik. Példa erre a következő eset: Mikor 1766-ban hatalmas földrengés pusztította el a venezuelai Cumana legnagyobb részét s utána óriási esőzések következtek, az indiánok rendkívül termékeny időszakban reménykedtek. Régi vallásos szokásaikat követve, nagy ünnepségekkel adtak örömüknek kifejezést afölött, hogy a régi, rossz Föld elenyészett s közeledik a megújulás órája.



**17. kép. Vastaghéjú kagyló, rudista, a krétakorszakból.**

Talán megtaláljuk az ilyen szokásokban és hagyományokban a szoros összefüggést ama bibliai és nem bibliai elképzelések közt, melyek a Föld eljövendő pusztulására és feltámadására vonatkoznak.

### *Az élet története.*

A tapasztalat lassanként megtanította az embert arra, hogyan lehet a kőzetek korát a bennük előforduló kővületek alapján meghatározni. A földtörténelemnek ez a lépésről-lépésre való fáradságos felépítése ahhoz vezetett, hogy a kővületben hovatovább a kipusztult élet nyomát látták, más szóval magának az élet történetének fontos okmányát.

Ma már közismert dolog, hogy a földi élet az idők folyamán nagyon kezdetleges állapotból fejlődött mai alakgazdagságáig és változatosságáig. Ezáltal minden egyes földtörténeti kort az

élet bizonyos meghatározott fejlettségű szervezetei jellemezték. A legrégebbi rétegekben, melyekből élő szervezetek nyomai már ismeretesek, kisebb gerinctelen állatok maradványai jelennek meg. Az ókor folyamán már az alacsonyrendű gerincesek is fellépnek, a középkorban a hüllők, az újkorban pedig rendkívüli mértékben virágzik fel az emlősök osztálya. Végül a negyedkor az első tanúja a szerves világ csodálatos jelenségének: az ember megjelenésének.

Jól tudom, hogy ez a felsorolás csak nagyon hiányos vázlata az élet nagy fejlődési vonalának. Sok szeme hiányzik még azoknak a hosszú láncoknak, melyek minden életformát egy közös eredethez akarnak hozzákapcsolni. Mert csak nagyon kevés kihalt állat maradványa őriztetett meg számunkra. A kőületek csak nagyon kis töredékét képviselik annak a sok növénynek és állatnak, mely a földtörténet hosszú idején keresztül a Földet benépesítette. S ez egyáltalában nem csodálatos, ha meggondoljuk, milyen sok kedvező körülménynek kellett közrejátszania abban, hogy valamely növény vagy állat testének egyes részei megkövülhessenek s így megmaradhassanak.

Régebben, amidőn még azt vélték, hogy az élet fokozatos fejlődése a vallási tanokkal nem egyeztethető össze, nagy hírnévre tettek szert ezek a hiányzó láncszemek, a missing links. Még az akkori idők karikatúráiban is megtaláljuk ennek a nyomát. Ma már nem sok maradt meg e hiányzó láncszemekre vonatkozó gúnyolódásokból. De bármennyire is tökéletlen az élet krónikája, mégis ez hozta meg korunk élettudományának nagy eredményét: az általános szerves fejlődés felismerését. Jól tudom, hogy ez a fogalom sok fejtörést okozott, s ma már lényegesen mást jelent, mint néhány évvel ezelőtt. Itt is fenyegetett egyszer egy Eppur si muove. Elméleti s gyakorlati vizsgálatok a fejlődéstudomány tanításait a salaktól megtisztították, eredetileg nagyon tágkörű érvényességét élesebben körülhatárolták és több új fogalmazásra vezettek.

Mindez azonban nem változtat azon a tényen, hogy az életben állandó mozgás van, az új viszonyokhoz való állandó alkalmazkodás, anélkül, hogy visszafelé való haladás valamelyest is észrevehető lenne. Ez a mozgás állandó előrehaladás, ha talán nem is olyan egyenletes ütemben, mint eleinte gondolták. Nyugalmi időszakokra a gyors fejlődés korszakai következnek. Így például a középkor a fejlődésben nyugalmi időszaknak tűnik. Ennek az időszaknak a végén azonban az életnek heves és hatalmas arányú változása következik be a Földön.

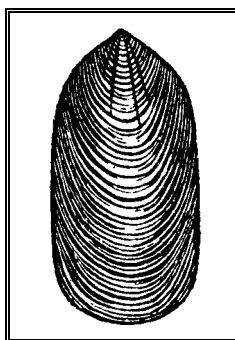
Az élet eredetéről mitsem tudunk. Csak annyit sejtünk, hogy az élet a Földön keletkezett. Ez minden! Hogy hogyan és miért, fölösleges kérdések, mert úgysem tudjuk. Nem hiszem, hogy az élet hirtelen kelt volna életre s kétlem, hogy valamely merész kémikus retortájában valaha is élet keletkezzék. Az a feltevés, hogy az élet a parton vagy az édesvízben, vagy pedig a forróvízben keletkezett, egyaránt alaptalan, az a megállapítás pedig, hogy „az apály idején szárazra került iszap rezgése által keletkezett”, teljes esztelenség.

Az élet története tehát az élet első ismeretlen kezdetének megdöbbentően nagy kérdésével kezdődik. Nincs egyetlen egy olyan megfogható tény sem, amely ennek a rejtélynek megfejtésében segítségünkre lenne, nem ismerünk semmi olyan eredményt, amelyre a tudományos kutatás támaszkodhatnék. Itt csak a hitben való megnyugvás segít.

Az első életnyom, melyet a Föld bűvárai egy az Ontario-tó partjáról származó, egyesek által az archaikumba, mások által az eozoikumba sorozott mészkőben találtak meg, már magasabb szervezetszerű lénytől származott. Ez a rejtélyes, kicsiny szivacs, melyet a tudományos irodalomba *Atiokania lawsoni* néven vezettek be, az ősförmának tekinthető, de lehetséges, hogy talán nem is az. Ennek a különös és egyedülálló szivacsnak a fellépése után a maradványok lassacskán megsokasodnak. Egyre jobban megvilágosodik előttünk az élet történetén keresztül vezető út, amelyen az élet évszázadról évszázadra vándorolt, megfoghatatlan hosszúságú időken keresztül. Nem célom itt az élet fejlődését nyomról-nyomra követni. Sőt az

élet áttekinthető családfáját sem akarom itt egy - ki tudja hányadik - kísérlettel felállítani. Ehhez most sem időnk, sem helyünk nincs. A legtöbb családfa különben is még túlsok veszélyes elágazást mutat, amelyek csak az élénk képzeletből fakadtak s amelyekkel némelyek a hirhedt hiányzó láncszemeket akartak áthidalni. Bizony még maga a természet is, bár mindenben törvényszerűnek mutatkozik, megenged magának néha szeszélyes kilengéseket, mintha ezzel is csak még jobban hangsúlyozni akarná óriási lehetőségeit. Ezek azonban néha legtökéletesebb elgondolásainkat is azzal fenyegetik, hogy tévutakra viszik.

Vannak különös, állandó életformák, melyek régi időkől származó tulajdonságaikat különböző földtani időszakokon át megőrzik, s így minden időből változatlan s látszólag változhatatlan alakban kerülnek elő. Mellettük azonban az élet történetében néha olyan explozív állatcsoportok is fellépnek, melyek rendkívül hirtelen fejlődnek ki s aránylag nagyon rövid idő múltán ismét eltűnnek, mintha a hirtelen, erőszakos fejlődésben egész erejüket felemésztették volna. Az első csoportnak egyik klasszikus képviselője a pörgekarúak (*Brachiopoda*) közé tartozó *Lingula* (18. kép), mely a kambrium óta mindmáig egyforma maradt. A második csoport képviselőül, kettős szempontból nézve is, a júra- és kréta-időszak óriási ősgyíkjai tekintendők (X. tábla), mert gigantikus méretük épp olyan érdekes, mint rövid lételük. A *Diplodocus* hossza kicsiny fejétől hosszú, izmos farkának végéig számítva 26 méter volt, s elefántszerűen idomtalan teste mintegy 20.000 kilogrammot nyomott. Kortársa, a *Brontosaurus* mintegy 30 tonnát nyomott s mintegy 20 méter hosszú volt. Mindkét állat növényekkel táplálkozott.



18. kép. *Lingula beani*, jurakorszaki pörgekaru. ( $\frac{4}{3}$  nagyság.)

Hogy egyes állatcsoportok miért pusztulnak ki olyan hirtelen, éppen annyira megoldatlan kérdés, mint fellépésüknek a ténye. Az ily csoportok kipusztulásuk előtt legtöbbször még igen nagyszámú formát hoznak létre, melyek különböző irányokba fejlődnek, végül azután a kihalt csoport utolsó képviselői elfajúlnak, elsatnyúlnak. Az ammoniteszek spirálisan csavarodott házai a triász-korszakban hallatlan formagazdagságban fordulnak elő. Később szabálytalanságok jelentkeznek rajtuk s csak nehezen érik meg a júra-korszakot. Itt azonban megint változatos fejlődésnek indulnak, míg végül a krétában rendellenes, kicsavarodott formákká satnyúlnak. Ez jelenti végüket. A fiatalabb korszakokban már teljesen ismeretlenek.

Az állatvilág valamennyi törzsében találunk olyan családokat és nemeket, melyek fejlődésük folyamán új életkörülményekhez alkalmazkodtak. Gerinces állatok a szárazföldről a tengerbe vándorolnak, mások megint a levegőben való életmódhoz alkalmazkodtak. Egy hüllőt átmeneti alakok kötnek össze valamely később fellépő halformával. A madaraknak és krokodilusoknak pedig permkorbéli hüllőkben van közös ősük.

Mindez azt a benyomást erősíti meg, hogy az élet nem egyéb, mint az anyagnak valami más, megváltozott energiaformája. Nem tudom, hogy vajjon az élet élettelen anyagból keletkezett-e. Nem tudom, s nem is állítom ezt. De nagyon lebilincselőnek tartom azt a gondolatot,

hogyan az evolúció kiterjeszkedik egyrészt az élettelen anyagra, másrészt a beszéddel és szellemmel megáldott emberre is. A folyamat kezdetén az öntudatlan s élettelen anyag áll. A természet azután tovább fejlődik a növényekkel és állatokkal benépesített világgá, hogy végül is az ember fellépésével öntudatosává váljék.

Bizonyos, hogy a nagyobb szabadsághoz és öntudathoz vezető hosszú fejlődésnek ez a láncolata a világegyetem három legnagyobb csodáját fogja körül: az anyag keletkezését, az élet kezdetét s végül a legcsodálatosabbat, a gondolkodó ember megjelenését, vagy más szóval a szellem létrejöttét. A Föld egy bölcselkedő bűvara valamikor azt mondta, hogy a természet az emberben nyert lelket, a természet az emberben kultúrává fejlődött.

Ez a gondolat is nagyon csábító, mely a kultúrában látja az anyag legmagasabb fejlődési formáját, s valóban - *avis aux penseurs* - hallatlan filozófiai lehetőségeket nyújt. Valóban lebilincselő könyv lenne, ha egy geológus megírná egyszer az emberiség korszerű történetét. Mert bármennyire fejlődünk is, bármennyire is különbözünk és eltávolodtunk már fejlődésben és műveltségben a neandervölgyi embertől vagy az *Eoanthropus*-tól, egy törvény: kötöttségünk a Földhöz változatlanul érvényes maradt.

Minden idők és népek istentiszteletében van egy elem, mely éppen ebből a kötöttségből adódik. Hasonlóképpen van ez a művészettel is. Ha a tűzkőbányák körüli első települések a 20. század nagy ipari gócpontjaivá fejlődtek is ki, s ha el is dicsekedhetünk azzal a haladással, amely a dárda- és nyílhegyek készítésére alkalmas kövek cserekereskedelmétől napjaink olajforrásainak és ércelőfordulásainak feltárásáig vezetett: - nagyon kétes értékű az a kifinomulás, amely a tűzkőért folytatott harctól a bányákért folyó légi és gázháborúhoz vezetett.

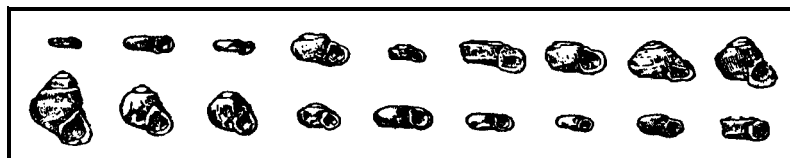
Annyit azonban tudok, hogy az emberi történelem évszázadai a földtörténetben csak egy rövidke pillanatnak felelnek meg és a menhireknek és a nagy kősíroknak jelképi jelentősége nem sokban különbözik a mi síremlékeinktől, melyek legföljebb csak kecsesebb alakúak.

### *A földtörténet vezérfonala.*

Ha igaz az a mondás, hogy a természetnek a titkok elrejtése, az embernek meg e titkok megfejtése adatott meg istentől, akkor a tudomány, és különösen a földtan, nagyon rosszul felelne meg hivatásának, ha minden új felfedezésnél dicsőhimnuszokba törne ki. A Föld bűvárának legfeljebb egy percig szabad örülnie, ha megoldott oly kérdést, mely tegnap még rejtély volt. Holnap azonban már még nagyobb kérdésekkel és rejtélyekkel kell foglalkoznia, melyek a megoldott kérdés kapcsán merültek fel. Ha már most, miután az élet fejlődését - hála a kövületnek - mint végnélküli folyót ismertük meg, mely hol lassan hömpölyög tova, hol meg mindent magával ragadó sebességgel rohan, a kövületet továbbra is csak ebben a folyóbeli összefüggésben tekintenénk, nagyon rossz szolgálatot tennénk a földtannak. Ha a kövület valóban csak olyan adat lenne, amelynek segítségével az élet fejlődésének mindenkori organizációs fejlettségét állapíthatnók meg, akkor a geológus máris kivethetné a hajójából, hogy átengedhesse azoknak, akik csak az élet fejlődésével foglalkoznak.

A kövület azonban több ennél az egyszerű adatnál! Az a vezérfonal, mely a földtörténetnek számos kérdésében mutatja meg a kivezető utat. Igaz, hogy nagyszámban vannak más lehetőségek is, melyek bennünket vezetnek és a geológust a veszélyes szirtek között átsegítik. De egyetlen egynek sincs olyan általános jelentősége, mint a kővé vált maradványoknak. Sok példát említhetnénk, ahol számos kérdésre a leglelkiismeretesebb vizsgálatok ellenére sem lehetett még mindeddig válaszolni, azért, mert még nem kerültek elő kövületek. Ott pedig, ahol már megtaláltuk a kövületeket, nem elégedhetünk meg annyival, hogy a gyakran csak tökéletlen maradványokat meghatározzuk, elnevezzük és azután a múzeumokban felhalmozzuk.

A szerves fejlődés története arra tanít bennünket, hogy a növények és állatok tökéletesedése azon változásoktól függ, melyek környezetükben végbemennek. Változások a klímában, a vízhozamban, a tengeráramlatokban, valamint egyéb tényezők is, okvetlenül kifejezésre kell, hogy jussanak azon élőlények fejlődési irányában, melyekre e változások hatottak (19. kép). A fejlődés fogalmának felfedezése tehát a geológust az új kérdések egész sokasága elé állította. Mindezek azután egyetlen feladatban sűrítethetők össze: ama változásokból, amelyeken az idők folyamán a szerves élet keresztülment, élénk varázsolni azokat a változásokat, melyek a földtörténeti múltban az életviszonyokat érintették, vagy más szóval: a megkövesült maradványok formáiból és fejlődéséből élénk kell állítani az egész környezetet, amelyben az illető állat élt.



**19. kép. A Gyrailis trochiformis csiga különböző alakjai a Steinheim környéki miocén rétegekből.**

Ebben az általános fogalmazásban megszabott feladat még meglehetősen egyszerűnek látszik. De rögtön bonyolultabbá válik, ha meggondoljuk, hogy környezetben itt tulajdonképpen annak a számos természeti hatásnak az összességét értjük, amelyektől az élet függ. Először is itt vannak a madarak, halak és szárazföldi állatok közötti nagy különbségek. Szervezetük teljesen a szárazföldi, vízi vagy levegőben való életmódhoz alkalmazkodott. De saját tapasztalatból jól ismerjük azokat a példákat is, melyek állatoknak és növényeknek környezetükhöz való különleges alkalmazkodását mutatják. Hogy valamely fa gyökerei hogyan ágaznak szét, legtöbbször a talaj tulajdonságaitól függ. Az állítólagos vakság, mely a vakondot oly szinte közmondásszerűen nevezetessé tette, a legszorosabban összefügg az állat földalatti életmódjának szokásaival. A sótartalomnak a vízben élő állatokra való hatását nagyon élénken szemléltetik azok az édesvízi vagy tengeri lények, melyek táplálkozásunkban is olyan fontos szerepet játszanak. És bizonyára senkinek sem fog eszébe jutni, hogy a jegesmedvét a forróövi őserdőkben keresse.

Elégedjünk meg ezzel a néhány egyszerű példával, melyeknek a számát még tetszés szerint növelhetnők. Mindannyian azt mutatják, hogy az életfeltételek rányomják bélyegüket az életformákra. Azonkívül képet adnak azoknak a tényezőknek csodálatraméltó sokféleségéről, melyekkel a geológusnak számolnia kell, amidőn a múltat élénk akarja idézni. Mert bármily nagy mértékben is függenek az alakok a körülményektől, a természetben mégis ott van a mozgás örök törvénye, amely szerint mindkettő egymástól függetlenül fejlődik tovább. Ez pedig már sok geológus számítását húzta keresztül.

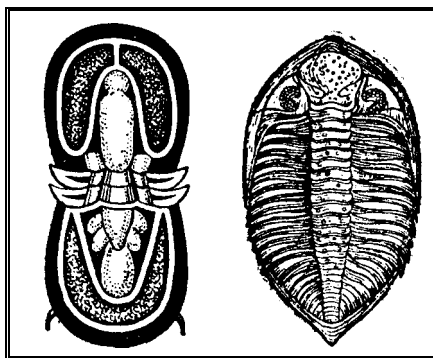
Ezzel kapcsolatban emlékeztetek azokra a nagyon jó megtartású elefánt- és orrszarvú-leletekre, amelyeket Szibéria talajába fagyva találtak. A vezérgondolat, amelyből a földtan a földtörténet vázolásánál mindig kiindul, a következő: a régebbi korokból származó megkövült maradványokat össze kell hasonlítani a jelenlegi állapottal s így közvetett úton igyekezni magyarázatot találni olyan jelenségekre is, melyek nem hagytak vissza kövült nyomokat. A mi példánkban a következőket kell meggondolnunk. Ma elefántok és orrszarvúk kizárólag a forró égöv alatt laknak. A földtan módszere most aztán arra az érdekes eredményre vezet bennünket, hogy azon a területen, ahol ma kemény hideg és fagy uralkodik, nem is olyan régen trópusi melegen kellett uralkodnia. Olyan következtetés ez, melynek valószínűségét számos más, hasonlóan meggyőző megfigyelés támasztja alá. Ennek a paradoxonnak a megfejtése sok más új szempontot is hozott a tudomány számára és sok más rejtélyes eltérést

is megmagyarázott. Ma már tényként említik, hogy az elefánt azóta átköltözött és melegebb hazához alkalmazkodott. Vagy más szóval, hogy az elefánt az új életkörülményeknek megfelelően fejlődött.

Egyébként nemcsak az elefánt és az orrszarvú tartozik azon állatok közé, melyek napsütöttebb vidékekre vándoroltak. Közismert jelenség, hogy a földtanilag idősebb állatfajok lassacskán a forróövbe húzódtak vissza. A hidegebb éghajlatú vidékeken csak azok a formák maradtak meg, melyek nagyfokú specializálódással, jelen esetben tehát a hidegre beállított fejlődéssel alkalmazkodni tudtak a kevésbé kedvező körülményekhez. Nem tudom, találtak-e már valamilyen magyarázatot erre a jelenségre. Vajjon csak a hideg előli menekülésről van-e itt szó, vagy pedig arról, hogy az enyhébb életalkony iránti vágy űzte ezeket az idősebb állatfajokat délre? Ez mindenesetre nagyon sajátságos fényt vetne a híres forró-égövi világra, mely ilyenképen, bármi rendkívül gazdag és pompás, mégis igen rozzant elemekből tevődne össze.

Sokféle jelenség játszódik le a szerves világban. Így aztán könnyen belátható, hogy a kövületnek nem csak egyféle szempontból lehet okmányyszerű jelentősége. Tehát nemcsak az élet fejlődéstörténetében, hanem Földünk alakváltozásainak egész krónikájában is. Valaki egyszer azt mondta, hogy a kövületek a földtani időtáblázat évszámai. Én azonban úgy érzem, hogy ez kissé túlzás. Inkább csak emlékművek, melyek építészeti stílusáról az építés időszakára következtethetünk. Így például azok a különböző bélyegek, amelyeket az egyes állatfajok fejlődésük folyamán megszereztek, világosan elárulják, hogy az egyes földtörténeti időszakokon milyen életviszonyok uralkodtak. Vagy még inkább, hogy bizonyos időben milyen változások következtek be az életföltételekben. És midőn a Föld nyugtalanságát vizsgáljuk, éppen ezek a változások érdekelnek bennünket közelebbről.

Még néhány példát szeretnék itt most felsorolni, hogy egyet-mást megvilágíthassak. Ha például a geológus valahol a kambriumi rétegekben rákszerű, háromkaréjú állat - valamely trilobita - maradványait találja meg, melynek látszólag egyáltalában nem volt szeme, a devonban pedig olyan rokonát, melynek rendkívül fejlett, összetett szeme volt, akkor ebből arra következtethetünk, hogy a vak *Agnostus* a homokba vagy finom iszapba ásta be magát, hogy ott élje le szerény életét, anélkül, hogy a teljes sötétségben szemekre szüksége lett volna. Utódai azonban a mélyebb tengerekbe vándoroltak, ahol újabb környezethez kellett alkalmazkodniuk, még pedig olyanhoz, melybe valami kevés fény is lehatolt. A fényre éhes és látnivágyó rákot ez a körülmény kényszerítette arra, hogy olyan szemrendszert fejlesszen ki, amely a szerény fényből annyit foghat fel, amennyi csak lehetséges. Olyan kísérlet volt ez, amely például a sokszemű *Dalmania* nevű ősráknak remekül sikerült (20. kép).



20. kép. Vak trilobita, *Agnostus pisiformis* (3-szor nagyítva) és jól fejlett, összetett szem *Dalmania caudata* (felére kisebbítve).

Jól tudjuk, hogy manapság a zátonyképző korallok (XI. tábla) csak olyan területeken élnek, ahol a tengervíznek közel állandó meghatározott hőmérséklete van, ahol a tenger sem nem túl mély, sem nem túl sekély, s ahol a követelményeknek még egész sora megvan. Ha most a szárazföldön valahol például devonkori megkövesedett korallszirtek maradványait találjuk meg, akkor ebből arra következtethetünk, hogy e területen a devon idején olyan körülményeknek kellett uralkodniuk, amelyek a korallok életét lehetővé tették. Most aztán tovább kell keresnünk ennek a jelentékeny változásnak az okát.

Az a körülmény, hogy Angliában egy teljes időszakon keresztül egyre nagyobb számban jelentek meg norvégiai kagylók, elegendő alapot szolgáltat a geológusnak arra a következtetésre, hogy az éghajlat ezen a területen az illető időszak folyamán egyre hidegebb és hidegebb lett. A pálmák és ciprusok, melyek valaha Németország területén tenyésztek s ma mint megkövesült maradványok kerültek elő, arról tanuskodnak, hogy ott akkoriban magasabb hőmérséklet volt.

Ilyen tényeket százával sorolhatnánk fel. Még csak egyet említsünk fel közülük, és pedig kettős okból. Ez a tény egyrészt azt igazolja, hogy a kövült maradványok néha a szárazulat és tenger hajdani elterjedését illetőleg is fontos adatot szolgáltatnak arra az időre vonatkozólag, amelyből a kövület származik, másrészt meg azért, mert tenger volt, mely - miként már említettük - a keletindiai szigetvilágig húzódott. Ettől az ú.n. Tethys-tengertől északra és délre egyaránt hatalmas szárazulatok feküdtek. Az északi szárazulaton jóval sekélyebb mélységű beltenger volt. Mindkét tenger sajátosaira ma már csak a kövületekből következtethetünk. A mélyebb óceánban olyan formákat kell mindig találnunk, melyek a nyílttengeri élethez alkalmazkodnak. A beltengert sajátos szerves életformák jellemzik. Na már most Felsősziléziában - ott terült el valaha ez a beltenger -, olyan ammoniteszt találtak, mely tulajdonképpen a mély óceánba tartozik s nagyon sajátos módon hatott a beltenger állatvilágában. SCHEFFEL, a költő, megénekelte ezt a magányos *Ptychites dux* nevű lényt, - így nevezik ugyanis tudományosan ezt az eltévedt állatot - s szokatlan és idegen vizekben való magányos vándorlását. A geológus azonban arra következtetett, hogy ennek a magányos formának mégis csak az óceánból kellett a beltengerbe jutnia, ennél fogva erről a korszakról olyan térképet rajzolt, amelyen a sekély beltenger a nagy, ma már eltűnt óceánnal kapcsolatban állott.

Azok a fontos következtetések, amelyeket a kövületek fellépése alapján nyertünk, igazolják azt a bizalmat, amelyet a tudomány beléjük helyez. Azokat az idöket, amelyek a megkövesült állati és növényi maradványokban a természet játékát vagy pedig az ördög gonosz művét látták, már régen elhagytuk. Az élet kutatója számára a kövületek mérőföldkövek az élet fejlődésének hosszú útján. Pusztán földtani értékük pedig abban van, hogy az életformák azon változások függvényei, amelyek a Föld arculatát is állandóan átalakítják.

### ***Éghajlatváltozások.***

Azon erők között, melyek a Földre kívülről hatnak alakváltoztatólag, főszerepet játszik az éghajlat. Hőmérséklet, légnyomás, csapadék, vagyis azok a tényezők, amelyeket az éghajlat fogalmában egyesítünk, mindegyik a saját módján gyakorol befolyást a Föld formájára és alakjára. Alakon ezúttal a földtani tényezők mellett a szerves élővilág gazdag változatosságát is értjük. Mert a geológus számára a nedves és száraz területek közötti különbség nemcsak abban nyilvánul meg, hogy az előbbieket gazdagabb növényi takaró borítja, mint az utóbbiakat, hanem sokkal inkább azokban a földtani hatóerőkben, melyek a növényzet gazdagságában ezt a különbséget okozták.

Valóban félreismerhetetlen összefüggés ismerhető fel valamely vidék éghajlata, felszíne és élete között. Éghajlatilag azonos övekben, néhány, éppen a szabályt erősítő kivételtől

eltekintve, ugyanazok az állat- és növényfajok, ugyanazon építő és pusztító folyamatok, a vidékek ugyanazon táji bélyegei fordulnak elő. Régen meghaladott már azoknak az álláspontja, akik ezeknek a különálló jelenségeknek szoros összefüggésében kételkednek. Ez a felfogás egy másik, ezidőszere szerint mindenestre még vitatott felfogásnak adta át helyét; az időszakos éghajlati változások és bizonyos földtörténeti események közötti párhuzamosság talán még nagyobb, mint eleinte gondolták s talán olyan jelenségekre is kiterjed, melyeknek az éghajlattal való kapcsolata kevésbé szembeötlő. Így például megkísérelték, hogy a hegyképződést nagy jégtömegek felhalmozódásával, vagyis a jégkorszakokkal hozzák kapcsolatba. A vizsgálatok arra mutatnak, hogy a hegyképződés valóban sokszor esik egybe a hideg éghajlatú vagy csapadékban gazdag időszakokkal, vagy pedig közvetlenül megelőzi azokat. Ez a magyarázat azonban mégsem kielégítő. A hegyképződés valószínűleg csak előfeltétele a jégkorszak kialakulásának, azonban nem végső oka, mely a jelenségeket megmagyarázza. Annyit ugyan megmutatnak már ezek a tények, hogy az éghajlati öveknek Földünk alakváltozásainak rekonstruálásában milyen nagy fontossága van. A világosság kedvéért azonban mutassunk még rá azokra a jellemző sajátosságokra, melyek az eddig ismert éghajlatok mindegyikét, mint különleges, zárt egészet határozzák meg.

A szárazföld legnagyobb részén a forróégyi őserdők, a szavannák és mérsékelt égövünk területeinek nedves éghajlata uralkodik; ezt mindenekelőtt a buján tenyésző élet és a víznek - földtani szempontból tekintve - uralkodó szerepe jellemzi. A szervezeteknek itt a mállásban nem lebecsülendő szerep jut osztályrészül. Másrészt a köszen arra tanít, hogy építőtevékenységük is rendkívüli fontosságú lehet ezeken a területeken. Különösen a víz letarolási körfolyamata az a tényező, amely a nedves éghajlatú vidékek földtani szempontból különös érdekességet kölcsönöz. Külön hangsúlyozom, hogy földtani szempontból.

Ezt a ciklust, mely lehordásból (letarolás, erózió) és felépítésből (üledékképződés, szedimentáció) áll s a kettőt harmonikusan fűzi egybe, később még bővebben fogjuk tárgyalni. Ezért itt most csak nagy vonásokban fogunk foglalkozni ezzel az érdekes visszatérő folyamattal. A szárazföld magasabb részeiben, ahol az eső, hó és jég a kőzeteket megtámadja, felaprózza, vagy mállasztja, csak a lehordás uralkodik. A mállott hegyi törmeléket a víz, patakok, folyók elszállítják, tovább aprózzák s a tengerbe viszik, ahol végül mint finomabb anyag leülepszik, hogy az idők folyamán megint kemény kőzetté szilárduljon. Ez más szóval annyit jelent, hogy az építő munka túlnyomóan a tenger színe alatt, nem pedig a szárazföldön megy végbe. Ennek a folyamatnak az elméleti végeredménye az lenne, hogy mivel a nedves területeken a letarolás az üledékképződést nagymértékben felülmúlja, a hegyek mindig alacsonyabbakká válnának, míg végül is a tenger színével lesznek egyenlőkké és a lapos, egyhangú vidéken csak enyhe dombok és lesimított formák fordulnának elő. Ha ezt a végeredményt még nem is értük el, félreismertetlen bélyegeit ott látjuk az éretlen területek arculatán.

A száraz éghajlat alatt ellenben, főként a sivatagokban, csak az oázisokban találunk szórványosan életet. Itt hiányzik az áramló víz, mert az elpárolgás sokkal erősebb a csapadék mennyiségénél. Mindazonáltal itt is lehetséges a mállás, a kőzeteknek felaprózódása, mert hiányzik a védő növénytakaró. A kőzet az időjárás minden szeszélyének ki van téve és lassacskán áldozatává lesz az éjszakai és nappali hőmérséklet közötti nagy különbségeknek. Az ilyen vidéken a földtani értelemben mozgó és uralkodó erő a szél. Minthogy rendkívül sok homokot szállít, nagy a csiszoló, lesimító és kifúvó ereje - gondoljunk csak a szfinxek kimart arcára. Mint nagyon alkalmas szállítóeszköz, a leválasztott, lehordott darabkákat idővel zárt homokmedencékbe szállítja, melyeknek egyhangú felszíne néha nagyon tekintélyes kiterjedést érhet el. A nedves éghajlatú vidékekkel szemben tehát itt abban a tényben van a nagy különbség, hogy egyrészt az erózió nem hat szükségszerűen egészen a tengerszintig,

másrészt a szárazföld nagyobb magasságban fekvő részein is végbemehet leülepedés. Ezt már a sivatagi vidék eltérő és jellemző alakja is feltételezi.

Teljesség kedvéért említsük még meg a jeges területek éghajlatát. Ezen a vidéken az élet nagyon szegényes és az igen nehéz körülményekhez alkalmazkodott. A legnagyobb földtani jelentősége itt a jég munkájának van, akár mint nagy összefüggő tömeg egész kontinenst borít be a jég, akár pedig egyes jégárakban vési, simítja a magas hegységeket, mint például az Alpokban. Később majd látni fogjuk, hogy a jég is rányomja jellemző bélyegét a vidékre. Kettős munkája, a letarolás és lerakás, szintén jellegzetes nyomot hagy hátra, melynek alapján a hó és jég munkája minden időben felismerhető.

A jelenlegi éghajlatoknak ez a nagyon átnézetes felsorolása is megtanít bennünket arra, hogy a Földet, melynek lakói vagyunk, mai alakjában rendkívül nagy mértékben jellemzik az éghajlati különbségek. A Föld éghajlata különböző övekre különül, melyek többé-kevésbé fokozatosan mennek át egymásba, a sarkok jeges szegénységéből a nedves éghajlatú forróöv buja világába, s ami emellett a leglényegesebb, ez az elkülönülés minden egyes olyan természeti jelenségben kifejezésre jut, amely az éghajlati változásokkal valami módon kapcsolatban van.

Ez a geológus számára is fontos eredmény. Minthogy pedig munkálkodása közben tekintetét mindig a multa irányítja, rögtön felmerül előtte a kérdés, vajjon ezek az éghajlati különbségek minden időben fennállottak-e? Sajátságos gondolkodásmódja, mely a fejlődést látja mindenben maga előtt, azt a gyanút ébreszti benne, hogy az éghajlati öveknek mai elterjedése, valamint kölcsönös határaik csak átmeneti jelenségek. Természetesen megkísérli itt is felkutatni azokat a változásokat, melyek a földtani fejlődés folyamán bekövetkeztek.

Munkája közben, midőn a régi éghajlati viszonyokat igyekszik elének állítani, megint csak a kihalt állatok és növények jönnek segítségére. Ezeket az állati és növényi maradványokat teljes joggal nevezhetjük a régi idők éghajlatát önműködően jelző hőmérőknek. Az a tény, hogy az ember a földtörténet valamennyi időszakának képződményeiben ősmaradványok nyomait találja, már egymagában véve is elég csodálatos. Mert hiszen meg kell gondolnunk, hogy az élet aránylag csak nagyon szűk hőmérsékleti határok között lehetséges. Ennek alapján első megállapításunk a következő lehet: bármily nagyok is voltak az éghajlati változások a földtörténet folyamán, sohasem érhetek el olyan mértéket, hogy az élet az egész Föld felületén lehetetlenné vált volna. Az életnek ez a megszakítatlan lehetősége szolgáltat bizonyítékot arra, hogy a Nap hősugárzása az élet megjelenésétől számított, földtanilag is nagyon hosszú idő óta nem változott meg lényegesen. Ez persze nem jelenti azt, hogy a Föld éghajlata azóta változatlan maradt volna, vagy hogy a mai éghajlati különbségek mindig fennállottak. Sőt azt sem akarjuk ezzel állítani, hogy az éghajlati övek a földgömbön mindig úgy húzódtak körül, mint ma.

A Trier melletti triász kori tarka homokkő színe olyan vegyi folyamatok hatásait tükrözi vissza, melyek ma semmiképpen sem mehetnének végbe ezen a területen. A Boekelo melletti só és a Stassfurt melletti gipsz csak úgy jöhetett létre, hogy a száraz éghajlat alatt egy beltenger vize elpárolgott. E területeknek mai csapadékbősége mellett sohasem képződhetek volna. S hogy egy másik szélsőséget is említsünk, az Észak-Németország és Németalföld területén található lecsiszolt és összekarcolt vándorkövek hajdani jégkorszakok kétségtelen bizonyítékai.

Szélsőséges hőmérsékleti változások magukon a kőzeteken ismerhetők fel. A kevésbé heves és kevésbé fontos éghajlati változásokat pedig a sokkal érzékenyebb kőületek segítségével határozhatjuk meg. Azok a levéllenyomatok és egyéb megkövült növénymaradványok, aminőket Franciaország, Észak-Németország, sőt még északibb vidékek harmadkori kőzeteiben találtak, arról tanuskodnak, hogy ezeken a területeken a harmadkor folyamán körülbelül olyan éghajlati viszonyok voltak, amilyeneket ma a Földközi-tenger partvidékén

találunk. Ezeknek a területeknek a későbbi időkben bekövetkezett fokozatos lehülését is pontosan jelzi annak a növényzetnek összetétele, amelyet a megkövesült maradványok alapján idézhetünk magunk elé.

Amidőn a jégkorszak folyamán a közbeeső melegebb időszakokban a jég észak felé húzódott vissza, mindenütt nyomon követte a visszahúzódó jégpáncélt a rénszarvas. Mikor azután a belföldi jég megint terjeszkedőben volt, a rénszarvas is sietve menekült melegebb, délibb vidékekre. A jégtakarónak ezt az ingadozó mozgását és egymásután következő határait szinte ennek az egy állatnak a csontmaradványai alapján is követhetjük.

Kétféle okból választottuk ezeket az itt felsorolt különböző példákat. Először is azért, hogy fogalmunk legyen azon segédeszközöknek a sokaságáról, amelyeket a földtan a Föld történelmének megírásakor, mostani esetünkben az éghajlat történetének megírásában, felhasznál. Másodszor meg azért, hogy bemutathassuk, milyen nagy változásokat szenvedhet egyetlen egy területnek az éghajlata a földtörténeti idők folyamán. Annyit még hozzátehetünk, hogy vannak más segédeszközök, más példák és másféle változások is. Most azonban elégedjünk meg ennyivel. Bizonyos az, hogy a tények ellentmondanak annak a szélteben elterjedt hiedelemnek, hogy a klímának a régebbi időkben szükségszerűleg melegebbnek kellett lennie, mint ma. Olyan hiedelem ez, mely valószínűleg a naprendszer fokozatos lehülésének rosszul értelmezett elképzelésében gyökerezik. Fejlődés - az éghajlatban is! Kevésbé biztosak és hiteltérdemlők egyes geológusoknak a különböző területek régebbi éghajlatainak a mai száraz, nedves vagy jeges éghajlatoknak megfelelő különbözőségére vonatkozó nézetei. Ilyenkor aztán rendszerint akörül támad vita, hogy a mai éghajlati különbségek mennyire követhetők visszafelé a múltba. Ilyen vitás pont például az a kérdés, hogy a júra-korszak folyamán voltak-e még különböző éghajlati övek vagy pedig akkor az egész Föld felületén egyenletesebb klíma uralkodott-e.

Annyi mindenesetre bizonyos, hogy az éghajlati különbségek már nagyon régi időkben is megvoltak, mert például archaikus és eozóikus kőzetekben megtaláljuk az akkori jégkorszakok nyomait (Észak-Amerikában), de éppen úgy sivatagi homokokat (Skóciában), valamint meleg, nedves éghajlatra mutató kőszén (Svédországban) is.

Norvégia, Kína és Ausztrália kambriumi képződményeiben hasonlóképpen megtalálták jégkorszakok nyomait, a rákövetkező szilur korszakból azonban sehonnan sem kerültek elő olyan jelek, melyek alapján nagy jégtakarókra következtethetnénk. Így tehát joggal kételkedhetünk abban, hogy ebben az időben éghajlati övek lettek volna. A szilurnak és devonnak sok mészkövében talált korallmaradványok ugyancsak arra mutatnak, hogy akkoriban a Föld egész felületén egyenletesebb meleg klíma uralkodott. Néhány hirtelen fellépő eltérést hirtelen beállott zavarokkal magyarázunk. A karbonkorszakot illetőleg nem sok kétségünk lehet aziránt, hogy a Földön nagyobb méretű hőmérsékleti különbségek nem voltak, hiszen a Spitzbergától Dél-Afrikáig és Ausztráliától Észak-Amerikáig mindenütt megtaláljuk azokat a hatalmas széntelepeket, amelyekből előkerült általánosan elterjedt növények csak kevésbé különböznek egymástól. Azt sem tételezhetjük fel, hogy a csapadékbőségben, amely a növényzetnek akkori buja tenyészetét s ezzel a kőszénképződést lehetővé tette, nagyobb arányú ingadozások voltak. Csak a karbon vége felé kezdenek az éghajlati ellentétek élesebbé lenni, majd a perm-korszak elejére már nagy területek éghajlata válik érezhetőbben hűvösebbé. Brazíliában, Dél-Afrikában, Indiában és Ausztráliában kimutatott permkorszakbeli jégtakarók a tudósok között olyan nagy érdeklődést váltottak ki, mint kevés más földtörténeti esemény.

Ez a szigorú, téli hideg azonban földtani mértékkel mérve csak nagyon rövid ideig tartott. Mert már a perm második felében Közép-Európa területén olyan kevés csapadék volt és olyan szárazság uralkodott, hogy egy egész beltenger elpárologott, és ennek következtében létrejöttek azok a hatalmas sótelepek, melyek a németországi Stassfurt és a hollandiai Boekelo hírnevét

mind földtani, mind ipari szempontból megalapozták. Valamivel enyhébb formában megmaradt ez a szárazság az egész triász folyamán, majd a júrában és krétában enyhe, egyenletes éghajlat váltotta fel. Ez nyomja rá a földtörténelmi középkorra az éghajlatilag nyugodt időszak bélyegét. A középkor három korszakának egyikéből sem ismerünk ugyanis olyan jelenségeket, amelyek alapján biztosan következtethetnénk jégkorszakokra, s bár néhány adat alapján mégis fel kell tételeznünk éghajlati különbségeket, ezek sohasem lehettek olyan élesek, mint a mai klímaövek között.

A harmadkorban érdekes nyugtalanság kezdődik, amely csúcspontját a negyedkorban éri el, amikor a földtörténet legutolsó, hatalmas eljegesedése következett be. Úgylátszik, hogy a középkor kedvező viszonyait eleinte csak valamivel hűvösebb hőmérséklet szakította meg rövid időre, és ezután a hűvösebb időszak után észrevehető felmelegedés következett be, de ezzel karöltve már élesebben váltak el az egyes éghajlati övek. Azok a szabálytalan ingadozások, amelyek hűvösebb és melegebb időszakok váltakozásában jutnak kifejezésre, élénk mozgalmat okoznak a növények és állatok világában is és a legsajátságosabb ellentéteket hozzák létre. Így például Elzász területén sivatagszerű szárazságban sótelepek képződnek, ellenben ugyanakkor a Szászország területére hulló hatalmas esőzések lápok kialakulását teszik lehetővé.

A hideg beköszöntése rendezettebb viszonyokat teremt. Az a buja növényvilág, amely már távol északi vidékekig nyomult elő abban az időben, amikor nálunk majdnem trópusi hőség uralkodott, lassacskán visszahúzódik, eltűnik Közép-Európából is, és Skandinávia területén azoknak a hatalmas jég tömegeknek a képződése indul meg, amelyek a negyedkor elején egészen Németország középső részéig lenyúlnak, ugyanakkor dél felől hatalmas jégárak keresik az Alpok csúcsairól az utat észak felé. Most pedig, miután a fiatalabb negyedkorban a hatalmas jég tömegek megint visszahúzódtak eredésük helyére és az éghajlat mai jellegét nyerte, ezren és ezren érdeklődnek az északról és délről egyaránt előnyomult jégtakaró által visszahagyott sok értékes maradvány iránt.

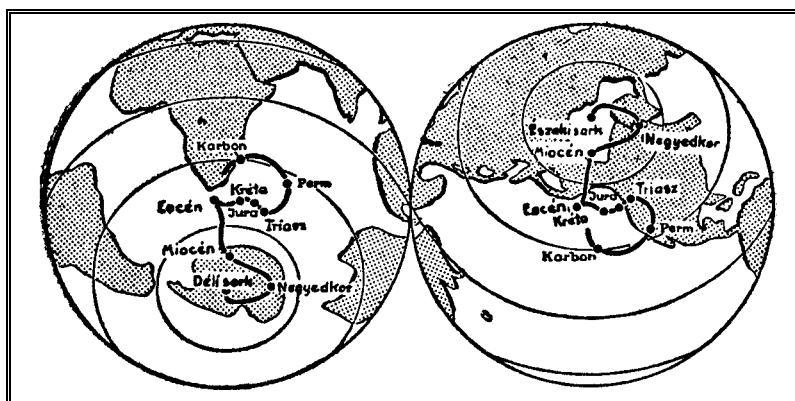
Az a tökéletlenség, amelynek bélyegét többé-kevésbbé minden általános áttekintés magán viseli, itt is könnyen azt a benyomást keltheti, mintha ezek az éghajlati változások valahogyan túlságosan rendetlenül mentek volna végbe, legalább is az egyébként annyira harmonikus, rendezett természet szempontjából. Ez azonban nagy tévedés. Ámbár igaz, hogy a földtan ezeknek a változásoknak egyikét-másikat nem, vagy csak tökéletlenül tudja ma még megmagyarázni, mégis sikerült néhány törvényszerűséget felfedeznie, melyek ezt a problémát a természettudományok egyik legérdekesebb és legvonzóbb kérdésévé avatták, mert félreismerhetetlen módon megismertetik velünk azt a céltudatosságot, mely benne rejlik a természet minden megnyilatkozásában.

Óvatos összefoglalás alakjában most már tényleg állíthatjuk, hogy a megkövült növények és állatok világosan bizonyítják, hogyan maradt az éghajlat hosszú földtörténeli időközön keresztül állandó és egyenletes meleg; s ha valóban voltak is minden időben éghajlati övek és hőmérsékletingadozások, akkor is azt mondhatjuk, hogy a sarki területeken mindig volt legalábbis olyan növényi vagy állati élet, mely a hideghez alkalmazkodni tudott.

A földtörténeli mult éghajlati változásai és a nagyobb hőmérsékleti ingadozások is bizonyos ütemet árulnak el. Nemcsak az a tény, hogy ezek az ingadozások épp az egyes nagyobb földtörténeli korok elején vagy végén következnek be legnagyobb mértékben - láttuk, hogy az ó- és középkor hűvösebb vagy egyenesen hideg éghajlatú rövidebb időszakokkal kezdődik, illetőleg végződik -, hanem az a jelenség is, hogy ezek a szabályosan ismétlődő éghajlati ingadozások a Föld alakját érintő más igen mélyreható változásokkal esnek egybe, azt a meggyőződést kell hogy megerősítse, hogy ezek az egymástól látszólag távolálló jelenségek

nagyon szoros kapcsolatban állanak s nem magyarázhatók meg külön-külön, egymástól elválasztva.

Már egymagában az is érdekes, hogy a nyugodtabb és hűvösebb éghajlat általában akkor uralkodott, amikor a szárazulatok kiterjedése a legnagyobb volt s amikor legmagasabbra emelkedtek ki a tenger színe fölé, valamint az a tény, hogy ezek a jelenségek rendszerint - mint fönnebb is láttuk -, a földtörténeti korok elejére vagy végére esnek. Mindezeket a jelenségeket nem tulajdoníthatjuk pusztán a véletlennek, annál kevésbbé, mert jól tudjuk, hogy ezeket az átmeneteket a szerves világ feltűnő megváltozásai kísérték. Ha pedig most még azt is meggondoljuk, hogy a hideg időszakok vagy éppen jégkorszakok mindig a nagy hegységek keletkezése előtti vagy utáni időkben jutottak rövid uralomra, akkor senki sem vonhatja ki magát a földtani erők rejtélyes összjátékának lenyűgöző hatása alól.



21. kép. A sarkok vándorlása a karbonkorszaktól a jelenkorig. (Wegener szerint.)

Ezért dől meg idővel minden feltevés, mely csak egy, az összefüggő egészből kiragadott jelenséget akar megmagyarázni. S ezért tökéletlen sok elmélet, mely itt megoldást keresett. Az éghajlati változásokat, köztük főleg a jégkorszakok kialakulását, megpróbálták már földi és földön kívüli okokkal magyarázni, így a levegő szénsavtartalmának változásával vagy a tűzhányóhegyek működésének időszakos hevességével, tengeráramlásokkal és légnyomással, a szárazulat és tenger eloszlásában bekövetkezett változásokkal s végül magának a földkéregnek a mozgásaival is. Ma pedig a sarkok vándorlásáról szóló elmélet igyekszik reménykedve érvényre jutni (21. kép).

Sok szellemesen kigondolt és védelmezett véleményt nyilvánítottak már. Az igazság talán valamennyi felsorolt ok közreműködésében, együttműködésében rejlik.

### *Földrajzi változások.*

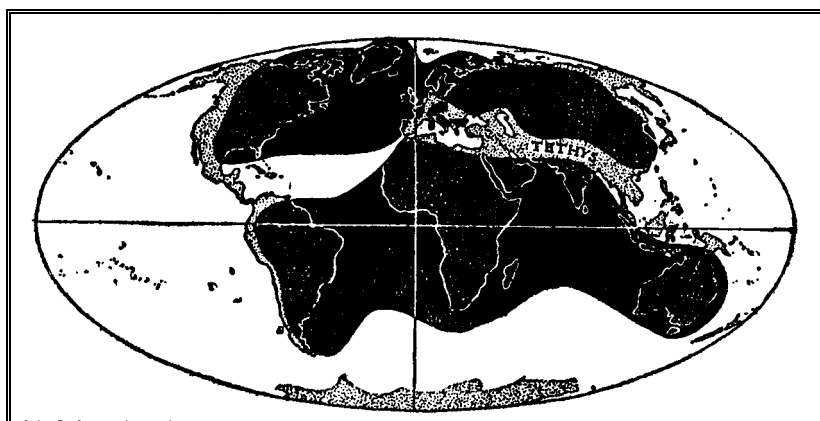
Az eddigiek folyamán úgy ismertük meg a kövületet, mint a földtani időszámítás dátumát, a Föld multjában bekövetkezett éghajlati változások hőmérőjét s mint az élet fejlődésének útján álló mérföldkövet. Most még rá kell mutatnunk a kövület ama fontosságára, amellyel a földrajzi változások kutatásában szerepel. Mert a földrajzi változások is, melyek a földtörténelem folyamán előfordultak, mint már említettük, jelentős szerepet játszottak az éghajlatok és az élet fejlődésében.

Ezeknek a változásoknak helyes megállapítása a legnehezebb feladatok közé tartozik, melyekkel a geológusnak meg kell birkóznia. Ismételten keletkeztek bizonyos időszakokban magas hegységek, melyeket azóta az idő megint elegyengetett. Minden időben előfordult, hogy egyes területek szárazulattá lettek s ismét mások eltűntek a tenger alatt, ennél fogva közvetlenül már nem figyelhetők meg itt, s így eleinte sok fehér foltnak kellett maradnia ama

térképeken, melyek a Föld régebbi állapotát tárták elénk. Ennyi tökéletlenség láttán joggal merült fel a kérdés, hogyan jön a geológus ahhoz, hogy ott, ahol ma szárazulat van, a földtani mult bizonyos időszakában a tengerek és szárazulatok eloszlását kutassa.

Ismerjük már jól a kutatási eljárást: a jelenlegi földfelület gondos megfigyelése megtanít bennünket az egyes területek megkülönböztetésére, amelyeket hasonló jellemző bélyegek alapján a multban is felismerhetünk. A tengerben a különböző övekben lerakódott kőzetek s az ezen különböző öveket benépesítő élőlények alapján meghúzhatjuk a határt a hullámverés öve, a sekély tenger és az óceáni mélység között. A szárazföldön, eltekintve jellemző lakóitól, melyeket sohasem téveszthetünk össze tengeri szervezetekkel, mindazok a különbségek kifejezésre jutnak, amelyeket az éghajlat tárgyalásával kapcsolatban már röviden említettünk, illetőleg melyek az egyes vidékek felépítésével szorosan összefüggnek. Ismerünk sivatagokat és erdős vidékeket, síkságokat és magas hegysegeket, folyókat és tengereket, melyek nem állottak kapcsolatban a nyílt tengerrel. A szárazföld és óceán közti határterületet pedig végül folyótorkolati képződmények - mint például a Nílus deltája - tengeröblök, lagúnák, homokdűnék vagy meredek sziklapartok jelzik.

Minden földtörténeti időben léteztek ily területek egymás mellett. Nos, egy ilyen régi időszaknak, mondjuk például a triász földrajzának a rekonstrukciója rendkívül fáradságos munkán alapul (22. kép). A Föld egész felületén ki kell nyomoznunk a hozzáférhető triász kori kőzeteket, a leggondosabban megállapítanunk sajátásaikat és levezetnünk kőülettartalmukból azon állatok és növények életviszonyait, melyek a triász-korszak tengereit és szárazulatait benépesítették. S ha ez az elméleti elképzelés egyszerűnek is látszik, mégse próbálja meg senki valamely geológus ismerősét megkérdezni, hogyan fest a triász-korszak térképe. Mert barátja úgysem tudja neki ezt a térképet megmutatni. Legalábbis nem olyan pontos térképet, amilyeneket már megszoktunk. Tudja ugyan a geológus, hogy Alaszkában korallok éltek és különböző óceánok borítottak olyan területeket, melyeken ma nagyon magas hegysek emelkednek az égbe vagy ahol az örök hó és jég uralkodik. El tudja mondani, hogy hatalmas tengerek húzódtak a mai sarki öveken át, a Himalája, az Alpések vagy az Andések mai területén s hogy Japánt éppen úgy tenger borította, mint Timort, Jávát, vagy Kaliforniát. De mindjárt azt is hozzá fogja fűzni, hogy a középső triász például olyan időszak volt, melyben a szárazföld aránylag nagyobb területet foglalt el, mint a tenger. Ennek a megállapításnak a bizonyítására két nagy kontinenst fog durva körvonalakkal kirajzolni, melyekben bizony nem nagyon ismerünk rá a mai világrészekre.



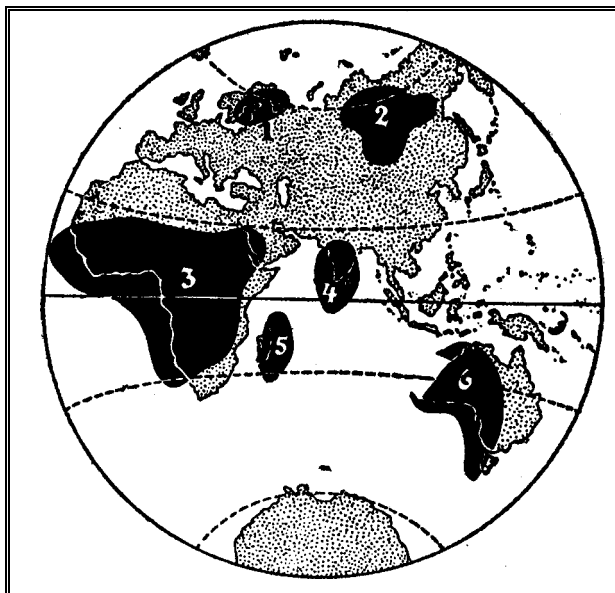
**22. kép. A szárazulatok és tengerek eloszlása a középső triász-korszakban.  
(SCHUCHERT, BUBNOFF és mások szerint.)**

Az élet alapján való összehasonlítás azonban rögtön lehetlenné válik, mihelyt az archaikum idejéig megyünk vissza. A már említett *Atikokaniá*-n kívül ebből az időből nem ismerünk állati maradványokat, amelyek alapján biztos következtetéseket vonhatnánk, sőt még a kőzetek is csak nagyon gyarló támpontokat szolgáltatnak az akkori idők Földjének arculatára vonatkozó kutatásainkban. Minthogy a kézzelfogható tények hiányzanak, itt a sejtések birodalmába kerülünk, s talán erre vezethető vissza, hogy a tudomány egyáltalában nem szívesen foglalkozik ennek a sötét időszaknak a történetével. Pedig mégis csak ez az az idő, amelyből felénk mered az első szilárd földkéreg és az első óceán kérdése.

Valóban nehéz fogalmat alkotnunk azokról a viszonyokról, amelyek a kambrium kezdete előtt uralkodtak Földünkön. Éppily kevésbé tiszta a képünk azokról a határfelületekről, melyek az első paleozoikumi kőzeteket az idősebb korok képződményeitől legtöbbször elválasztják s melyek azt látszanak igazolni, hogy az óceánok ebben az időben hirtelen nagyobb területeket borítottak be, mint valaha is a földtörténet folyamán. Meghódította a víz a szárazföldet, vagy pedig a világmindenségéből aláhullt óriási méretű víztömeggel van dolgunk, valami igazi vízözönnel?

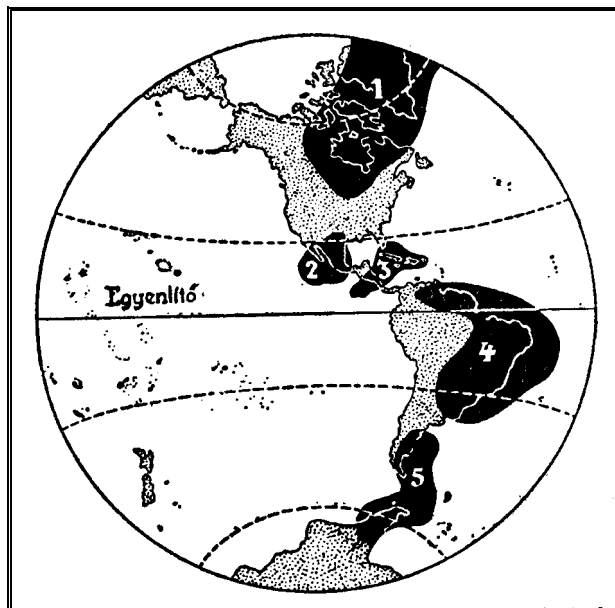
Mindkét álláspontnak nevezetes védelmezői akadtak. Bennünket azonban csak maga a tény érdekel. Ha a vízfelületnek ez a nagy kiterjedése nem is következett volna be és az akkori idők kisebb óceánjai meg is maradtak volna eredeti partjaiknak határain belül, akkor sétálgathatnánk ugyan ma az eozóikorú Föld valamely képződményének felületén, de nélkülöznünk kellene azt a nagy ritmust, amelyet a tenger éppen váltakozó határaival azóta a Föld történetébe belevitt. Egyébként meg kell gondolnunk ezzel kapcsolatban, hogy akkor még legalább annyira távol volnánk az első szilárd kéregtől, mint amilyen távol vagyunk a kambrium előtti idők rejtélyeitől.

Valójában a Föld első szilárd kérgét sehol sem találjuk. Meg kell elégednünk azzal az érzéssel, hogy ez az első szilárd kéreg mindenütt számunkra hozzáférhetetlen helyen van. Megközelíthetlensége folytán kellő tér nyílik a különböző találgatások számára, amelyek alakjával és sajátosságaival foglalkoznak.



23. kép. A keleti földgömb ősi pajzsai : 1. a balti, 2. az angarai, 3. a középafrikai, 4. és 5. a lemuriai pajzs maradványai és 6. az ausztráliai pajzs.  
(PIRSSON-SCHUCHERT nyomán.)

A legrégibb kőzeteket, amelyeket a Föld felszínén találunk, a földtörténeti idők folyamán olyan sokszor és olyan hosszú időn át érték különböző erők behatásai s eközben annyira összenyomódtak, hogy ma már csak nagyon nehezen alkothatunk magunknak képet eredetükről és történetükről. Így aztán most azzal a kérdéssel sem foglalkozunk, hogy ezek a kőzetek eredetileg vajjon tömeges kőzetek voltak-e (azaz olyan kőzetek, melyek a Föld belsejéből feltörő folyékony állapotban levő anyagoknak a Föld felszínén vagy annak közelében való megmerevedéséből származtak), vagy pedig ősi üledékek (azaz olyan kőzetek, melyek a tengerben rakódtak le, vagy pedig a szél vagy jég hatására a szárazföldön). Mindkét kőzetcsoporthoz ugyanis később oly mértékben átalakulhat, hogy egymástól már nem különböztethető meg.



**24. kép. A nyugati félgömb ősi pajzsai: 1. a kanadai, 2. kolumbiai, 3. az antilliai, 4. az amazoniai, 5. az archiplatai pajzs. (PIRSSON-SCHUCHERT nyomán.)**

Ami azonban rögtön feltűnik, az az a nagyfontosságú szerep, amelyet ezek a régi kőzetek a szárazföldek történetében játszottak. Ismerkedjünk meg vele röviden. A Föld felületének mai szerkezete ugyanis egyrészt arra tanít bennünket, hogy a mai kontinensek ezen régi kőzetekből felépített magok körül alakultak ki, másrészt meg arra, hogy ezek a magok, úgynevezett pajzsok, a kambrium óta állandóan szárazon voltak, ha néha csak nagyon kis mértékben is emelkedtek a tenger tükre fölé. Így tehát arra a gondolatra juthatunk, hogy ezek a régi pajzsok (23. és 24. kép), melyek ma a Föld felszínén egyes darabokban láthatók, a valóságban az ősi összefüggő földkéregnek kiemelkedéseit alkották. Ennek az első földkéregnek többi részét azóta a később lerakódott, fiatalabb üledékes kőzetek elzárják szemünk elől. Mikor aztán bizonyos földtörténeti időszakokban ezekben a fiatalabb üledékekben a feszültség és a mozgások csúcspontjukat érték el, „az üledékek ezekhez a megszilárdult, kiemelkedő pajzsokhoz préseltettek s a nagy nyomás következtében lánchegységekké tornyosultak”.

Képletesen szólva, ezek a pajzsok lettek az egyébként ingadozó épület szilárd és mozdulatlan sarokköveivé. Vagy pedig - bocsánat ezért a hasonlatért - a Föld testének csontvázává, gerincévé.

### *Milyen idős a Föld?*

Ezt a kérdést gyakran teszik fel. Sokszor a Föld bűvárainak is, akik azonban vagy egyáltalában nem, vagy csak nagyon kelletlenül és kellő tartózkodással felelnek rá. Mert az az időmérték, amellyel a geológusok bolygónk multjának földtörténeti eseményeit mérik, valahogyan nem egyezik az időfogalmakkal. Semmiben sem hasonlít az évszámításhoz, amelynek segítségével a római birodalom virágzását vagy bukását ennyi és ennyi évvel Krisztus születése előtti vagy utáni időben rögzíthetjük, vagy amelynek segítségével megmondhatjuk, hogy az 1935. évi melbournei lóverseny pontosan 100 évvel azután volt, hogy Nürnberg és Fürth között megnyitották a vasutat.

A földtani időszámítás viszonylagos. Csak annyit akar kifejezni, hogy valamely esemény egy másik esemény előtt vagy után következett be, de nem célja és nincs lehetősége bármiféle felvilágosítást is adni arra vonatkozólag, hogy milyen időtartam választotta el a két eseményt. A geológus tudja például, hogy a stassfurti só fiatalabb, mint a limburgi kőszén. Ha azonban azt akarja meghatározni, hogy milyen hosszú idő telt el a só és a kőszén képződése között, akkor összehasonlításként megint csak két olyan esemény közti időtartamot tud felhozni, amelynek a tényleges időkülönbsége szintén ismeretlen előtte. Nincs meg az a megkívánt, abszolút időegysége, amellyel például a devon vagy a triász tartamát meghatározhatná. Legföljebb néhány olyan megfigyelése van, amelyek alapján arra következtethet, hogy a devon hosszabb ideig tartott, mint a triász.

Ebből a szempontból nagyon irigylésreméltó helyzetben van a természettan, mely a másodperek tört részeivel dolgozik, vagy a csillagászat, melynek a 300.000 km/sec-os fénysebesség igen bámulatos, de hálás egysége, amelynek segítségével százezereztendő fényévekben kifejezhető távolságokkal dolgozhat, anélkül, hogy ezáltal a legkevésbé is hitelt nem érdemlőnek, vagy megbízhatatlannak tűnnék fel.

Természetesen a földtan is törekedett arra, hogy a Föld korát nagyobb pontossággal határozhassa meg, mint eddig. Újabb időben nem remélt oldalról érkezett segítség a földtan számára: a rádióaktív jelenségekkel kapcsolatos számításokon nyugvó sokat ígérő és bizalomkeltő módszer. Így aztán remélhetjük, hogy szemlélődéseink ezirányban sem fognak mindig bizonytalanok maradni.

A földtan gyermekkorában erősen tartotta magát a bibliai felfogás, mely szerint a Föld mintegy hatezer esztendő. Olyan felfogás ez, mely még ma is széles körökben talál hívőkre. Azok számára, akik a genezis által felsorolt családfákat és leszármazási táblázatokat kínos pontossággal tartották számon, nagyon felemelően hatott az a tudat, hogy „az ég és föld, a középpont és a gömb, a felhők és vizek, valamint az ember is 4004-ben Krisztus születése előtt, október 26-án reggel kilenc órakor teremtettek”. Egyetlen egy geológus sem merte volna - de nem is lett volna szabad - a Föld „bűnlajstromát” ilyen pontosan utánaszámítani. Ezek a pontos számítók csak annyiban voltak sajnálatraméltóan hanyagok, hogy nem közölték, vajjon nyári vagy téli időszámítás, greenwichi vagy középeurópai idő szerint adták meg adataikat! Az a tény azonban, hogy a múlt század geológusai - és pedig nemcsak a jelentéktelenek - szilárdan hittek ebben az elképzelésben, lehetetlenné tesz számunkra minden gúnyos mosolyt.

Mikor azután a földtan ezt a néhány évszázadot elégtelennek találta ahhoz, hogy olyan jelenségeket, mint a Colorado Nagy Szurdoka, vagy a Niagara-vízesés, megmagyarázzon, és becslései közben könnyen évmilliókhoz jutott, hűséges szolgái, talán éppen a materialisztikus világszemlélet hatása alatt, a másik határtalan végletbe estek. HUTTON például azt hirdette, hogy sehol sem találta meg a kezdet nyomát s a földtani történetekben seholsem lát véget.

Az első felfogást, mint teljesen elégtelent, ma már elejtették, mert senki sem teheti magáévá anélkül, hogy ezáltal ne kerüljön összeütközésbe a valósággal. Az utóbbi pedig éppúgy nem áll a kézzelfogható bizonyítékok alapján, s legföljebb spekulatív álmodozások jelszavaként használható. Annyi biztos, hogy a földtörténeti eseményeket nem lehet rövid hat évezredbe összesűriteni, viszont a végtelenségbe sem lehet kinyújtani.

E között a két szélsőség között, amelyeket ma már egy geológus sem tesz magáévá, vannak azonban önkényes becslések és hitelt érdemlőbb számítások.

Kiváló fizikusok komolyan kísérleteztek azzal, hogy a Föld gyanítható korát megállapítsák. Mikor módszereik és előzetes eredményeik a magasabb számtan bonyolult képleteinek és számításainak megtámadhatatlan jellegét vették fel, a geológus megadóan s egyelőre még egykedvűen vette tudomásul ezeket az eredményeket. De az első biztos eredmények felkeltették érdeklődését. Majd kevésbé örömteljes, de végül mégis csak termékeny viták következtek, mert a geológus sem azokkal a túl magas, sem pedig nagyon alacsony számokkal nem azonosíthatta magát, amelyeket az egyes kutatók egymás után nyilvánosságra hoztak. Megkezdődtek LORD KELVIN-nel, aki nagylelkűen arra az álláspontra helyezkedett, hogy a Föld kora legfeljebb mintegy 20 és 40 millió év között lehet. Ezt a számítást azonban, minthogy a DARWIN értelmében vett szerves fejlődés ily rövid idő alatt nem jöhetett létre, csakhamar elvetették. És midőn a csillagászok a táguló világegyetem elméletében arra a meggyőződésre kényszerültek, hogy a Föld már legalább néhány milliárdnyi évet hordoz a hátán, akkor megint csak a geológusok voltak azok, akik vonakodtak ezt a milliárdos életkort elfogadni. Ugyanis egyszerűen nem igaz az, hogy minden történést meg lehessen magyarázni, csak elég tékozlóan és felelősség nélkül kell bánni az idővel.

A hírhedt kérdésre azonban, az egymásnak ellentmondó és csak a földtan túl hosszú vagy túl rövid tiltó szavai által korlátozott becslések közben, mégis adhatunk előzetes, ha nem is végleges választ. A Föld idősebb negyven millió évnél, de fiatalabb a beláthatatlan évmilliárdok által megadott kornál.

Úgy látszik, a geológusok felelősek a két szélsőséges becslésért. Ezért feltehető, hogy olyan módszerek birtokában vannak, melyek alapján a más tudományágak segítségével nyert adatokat elfogadhatják vagy elvethetik s amelyek ezenkívül elég hiteleseknek is tűnnek. Ezeknek a földtani elképzeléseknek jellegzetes egyszerűsége azon a feltevésen alapul, hogy a változások, amelyek bizonyos jelenségekben ma bekövetkeznek, a földtörténeti múltban nagyjából hasonló sebességgel mentek végbe. De ebben az egyszerűségben vannak a hibaforrások is! Ezért kell tehát valamennyi, vagy legalább is majdnem valamennyi kormeghatározást kellő fenntartással fogadni. Mert alig hihető, hogy amikor a Föld nyughatatlansága általános volt - pour les besoins de la cause -, éppen ezek a sebességek maradtak volna változatlanul az idők folyamán. Azonban, amikor a számok ilyen tekintélyes nagyságrendűek, amikor nem 4 vagy 4000 évről, hanem évmilliókról van szó, megengedhetjük magunknak, hogy az említett pontatlanságok fölött nyugodtan napirendre térjünk.

Világítsuk meg most ezt néhány nagyon egyszerű példával. Így, ha azt tesszük fel, hogy mindazok az üledékek, amelyekről a sziklák története című fejezetben megemlékeztünk, mondjuk a 100.000 méteres tekintélyes vastagságot érik el, s ha most még ismerjük azt az időt, amely alatt manapság a hasonló kőzetek képződnek, akkor azt az időt, amely az első kőzetrétegek keletkezése óta eltelt, nagyon egyszerűen, tört formájában fejezhetjük ki. 100.000 osztva a jelenleg észlelt sebességgel... s máris előttünk a Föld pontos születésnapja, amelyet minden iskolásgyermek kiszámíthat, ha kedve van az osztást elvégezni. Azonban, most következik a de! Az első csapda máris előttünk áll, midőn a jelenlegi üledékképződési sebességet akarjuk meghatározni, hiszen ez a Nílus deltájától kezdve a jeges tengerekig

nagyon változatos, ma csakúgy, mint a múltban is. A második baj meg a földkéreg mozgásaiban leselkedik ránk. Ezek annyi szabálytalanságot hoztak létre a kőzetek sorozatában, annyi képződményt eltüntettek, hogy a megadott 100.000 méteres vastagság már eleve nagyon valószínűtlen.

Egy másik, hasonló számítás azon a be nem bizonyított feltevésen alapszik, hogy az óceánok vize eredetileg édes volt s a sót csak a földtörténeti idők folyamán szállították bele a folyók, melyek útjuk közben ezt a sót a kőzetekből kioldották és magukkal vitték. Már 1720-ban felállítottak egy egyenletet, mely talán egyszer, ha a ma még megfoghatatlan és kiszámíthatatlan mennyiségeket be tudjuk helyettesíteni, valamilyen eredményt szolgáltat. Ez az egyenlet a következő: Az óceánok összes sómennyisége osztva a folyók által évenként behordott sómennyiséggel egyenlő az óceánok korával.

1899-ben végezték az első számításokat, amelyek alapján megkísérelték az óceánok sómennyiségét s így a Föld korát meghatározni. Az eredmény elég jól ütött ki bolygónkra nézve, amennyiben szerinte Földünk 90 millió éves volna, ami a későbbi számadatokhoz képest még elég kellemes kornak mondható. Ma azonban a geológusok már inkább azon felfogás felé hajlanak, hogy az óceánok sótartalma, legalább is részben már eredetileg bennük volt. Így aztán ez a számítási elmélet is megbukott. Azonban ennek ellenére is akadt vállalkozó szellem, aki tekintetbe vette az újabb felfogásokat is az óceánok sótartalmát illetőleg, s 1929-ben még egyszer megpróbálkozott a számításokkal ezen az alapon. Bármennyire is óvatos volt azonban számításaiban, a Föld mégis elvesztette közben ifjúsága varázsát s tekintélyesen megöregedve, 400-600 millió éves korról került ki ebből a számításból!

Ezeknek az egymástól annyira távol fekvő eredményeknek a nagyfokú változatossága, meg a nagyon is ingatag számítások annak a felismerésére kényszerítenek bennünket, hogy még túl bizonytalan minden feltevés Földünk korát illetőleg. Nemrég még egyenlő valószínűséggel becsülhették néhány tíz- vagy néhány százmillióra.

A rádiumnak és tulajdonságainak felfedezése olyan módszert szolgáltatott, melyet különös figyelemmel kell üdvözlünk. Úgy látszik, hogy ez a módszer valóban változatlan sebességeket mér. Minden új adata feltűnő pontossággal igazolja a már elért eredményeket. Közismert tény, hogy az uránelem nagyon lassan lefolyó rádióaktív folyamatok során egész sereg más elemre bomlik, egyebek között héliumra és ólomra. A rádióaktív úton keletkezett ólom megkülönböztethető az ásványokban előforduló közönséges ólomtól. Ha már most valamely urán tartalmú kőzetben, amelyről tudjuk, hogy mely földtani korszakba tartozik, héliumot és ólomot találunk, akkor a hélium és ólommennyiségnek a még jelenlevő, el nem bomlott uránhoz való viszonyából és a bomlási sebességből kiszámíthatjuk az időt, amely ennek az urán tartalmú kőzetnek a keletkezése óta eltelt, illetőleg következtethetünk annak a földtörténeti korszaknak a korára, amelyből az illető kőzet származik. Így például, ha egy ásványban 280 milliószor annyi héliumot és ólomot találunk, mint amennyi benne egy év alatt keletkezhetik, akkor annak e legegyszerűbb (csak közelítő) számítás szerint legalább 280 millió évesnek kell lennie.

Ennek a módszernek első eredményei ahhoz a meglepő valószínűséghez vezettek, hogy a régebben elképzelt földtani évmilliókat jócskán meg kell sokszorozni. Az archaikus kőzetek rádióaktív ásványainak elemzése azt mutatják, hogy a földtani erők már legalább másfélmilliárd év óta működnek. S ezek még csak nem is a Föld első megszilárdulási kérének kőzetei!

De bármennyire csábítónak tűnjenek is ezek a számítások, tökéletes pontosságukat még nem sikerült beigazolni. Hiszen pontosságuk azon a - természetтанilag természetesen jól alátámasztott - feltevésen nyugszik, hogy a rádióaktív bomlás sebessége a földtörténeti idők folyamán változatlan maradt.

Így azután barátságos vitában állanak egymással szemben a természettan művelői a Föld bűváraival. Az előbbiek azt akarják bebizonyítani, hogy az archaikus idők kezdete óta legalább 1600 millió év telt el, míg a Föld bűvárai számos, bár nem mérhető tény alapján viszont azt állítják, hogy ezt az időtartamot legalább 500 millió évre becsülhetjük. Az idő azonban halad, a tudomány gyarapszik, s később egyszer talán majd megtudjuk, ki jutott legközelebb az igazsághoz.

Már olyan tiszteletet parancsoló számmal is, mint az 500 millió év, értelmetlenül áll szemben felfogó képességünk. Más eszközökre kell tehát támaszkodnunk, hogy továbbsegíthessük képzelőerőnket. Gondoljuk valónak azt a kettős szempontból is ábrándos feltevést, hogy az egész földtörténetet, kezdve az archai időktől, napjainkig filmre vették. Pergessük le most ezt a filmet olyan hosszú előadásban, mely pontosan 24 óra hosszat, éjféltől éjfélig tart. Akkor az első tizenkét órát a legkorábbi idők rejtelseinek szentelnők, annak a kornak, amelyről még ma sem tudunk semmit. A már előzőleg említett *Atikokaniá*-nk csak déltájban jelennék meg a filmen. Az ókor, számunkra oly furcsa élőlényeivel, további nyolc órát venne igénybe s már körülbelül éjjel negyed tizenkettő volna, mire a középkor rejtélyes óriásgyíkjai letűnnének a vásznonról. Ennek a valószínűtlenül hosszú filmnek utolsó háromnegyed órája alatt az újkor jelenne meg előttünk. S öt másodperccel éjféli, vagyis a film befejezése előtt jelennék meg végre először - az ember!

Az emberiség történelme a földtörténet huszonnégy órájából csak öt másodpercre terjed. Mily végtelenül elenyésző, rövid idő ez!

## IV. A nagy ritmus.

### *Minden összefügg egymással.*

A Földben és Földön végbemenő földtani változásokat a valóságban különféle befolyások állandó változása kormányozza. Harmonikus összjátékukban állandóan változtatják Földünk arculatát. Egy jelenséget sem ragadhatunk ki sokszáz más közül, amelyekkel a legszorosabban összefügg. Persze, ha valaki a szigorú korlátozás elefántcsonttornyába akar bezárkózni, akkor talán kibogozhatja elméletileg megtámadhatatlan módon valamely történés fejlődését, mihelyt azonban csak egy kis hasadékot is nyit a bezárt tornyon, miáltal távolabbi horizontok is láthatókká lesznek, máris keserves csalódás fogja érni egyoldalú elképzeléseivel.

Az egysejtű lénytől az összetett felépítésű emberig való fejlődés során, az állatok és növények csak látszólag haladtak a maguk útján. A valóságban ez a szerves fejlődés csak része annak a mindent átfogó természeti fejlődésnek, amely körülöttünk végbemegy. Csak a növény növekedését megfigyelni, már egymagában kiválogatást jelent. Azt jelenti, hogy ezt az egy jelenséget kiragadjuk az általános érvényű természeti törvények, az általánosan ható erők köréből, melyek a növényt éppen annyira növekedésre serkentik, mint a talajt, a levegőt, a földet és a vizet.

Az egész természetben a ritmikusan lezajló mozgások uralkodnak, melyek mindenütt sajátos formákban és jelentőségben nyilvánulnak meg. A természet hullámozásában, az élő vagy holt anyag keletkezésében és elmúlásában egyaránt érvényesül bizonyos irányzat, törekvés a magasabb és tökéletesebb felé, s ott, ahol minden kézzel fogható, minden valóság elmúlik, eltűnik, megmarad - az örök ritmus, amely azt, ami létrejön, gyarapodásra serkenti s elmúlásra! Csak a változás örök!

Ezen megfontolások világánál a valóban létező, maga a lét, tulajdonképpen nem más, mint egyensúlyi állapot. A születés és halál nem más, mint ennek az egyensúlyi állapotnak a zavarai. Olyan könyvben, mint ez is, sajnos, először közetnek kell tekinteni a közetet s csak azután tárgyalhatjuk azokat az erőket, melyek, mindegyik a maga módján, ezeket a közeteket megtámadják. S nem vázolhatjuk föl minden egyes alkalommal azt az összefüggést, mely a közet keletkezését elmúlásával hozza kapcsolatba. Mindkét jelenség annak a mozgásnak a megnyilatkozása, amelyben valamennyi erő céltudatosan együtt működik. Mindkettő csak a mozgás egy-egy pillanatát tárja elénk. A hegység lepusztulása s új üledékek nyugodt felhalmozódása egyaránt hozzátartozik a hegység óriási arányú építményéhez. Mihelyt a születő hegység a tenger színe fölé emelkedik, máris megkezdődik a letarolás pusztító munkája, de megkezdődik egyúttal a hegylejtők aljában új rétegnek és a Föld nyughatatlansága következtében - újabb hegységnek felépítése.

A lehordás és felépítés örök körforgását tehát nem szabad a mozgás ciklusától elválasztanunk. Sok más egyéb körfolyamattal együtt egységes egészet alkotnak. Ez a bevezetés legyen itt tehetetlenségünk beismerése. Ihletett költőnek kell lennie annak, aki csodálatunkat tudja felkelteni az egész iránt. Célkitűzésünk, hogy soraink mindenki számára érthetők legyenek, sajnos arra ítél bennünket, hogy csak a holt részletekkel foglalkozzunk. Mindenesetre jobb a látottat megérteni, mint a meg nem értettet - ha talán csodálattal is, de - értelmetlenül megbámulni.

A Föld felületén kőzeteket találunk, különböző településben, különböző sajátságokkal. Vannak homokkövek, mészkövek és más mindenféle kövek, vannak rétegesek és nem rétegesek. Hogyan keletkezik most már a kőzet?

Néha a kőzet vízszintesen települ (XXI. és XLVII. tábla), máskor ismét meredek dőlésben látjuk (XLIX. tábla) vagy pedig redőkbe gyűrve vagy felboltozódva (XLVIII. és LI. tábla). Hogyan jönnek létre ezek a mozgásjelenségek?

Van a tájnak is alakja és domborzata. Így a montenegrói hegyek például másképpen hatnak, mint a hadramauti sivatag dombjai. És a zömök, lapostetejű Devils Tower (XVII. tábla) erősen elüt a karcsú Assiniboine hegytől (XXXVIII. tábla). Miért van mindez?

Ezek azok a kis kellemetlen részletek! Közvetlenül a háttérben ott áll megint az újabb kérdés, merészen és izgatón: hol van az összekötő kapocs a keletkezés, forma és mozgás között?

### ***Hogyan keletkeznek a kőzetek?***

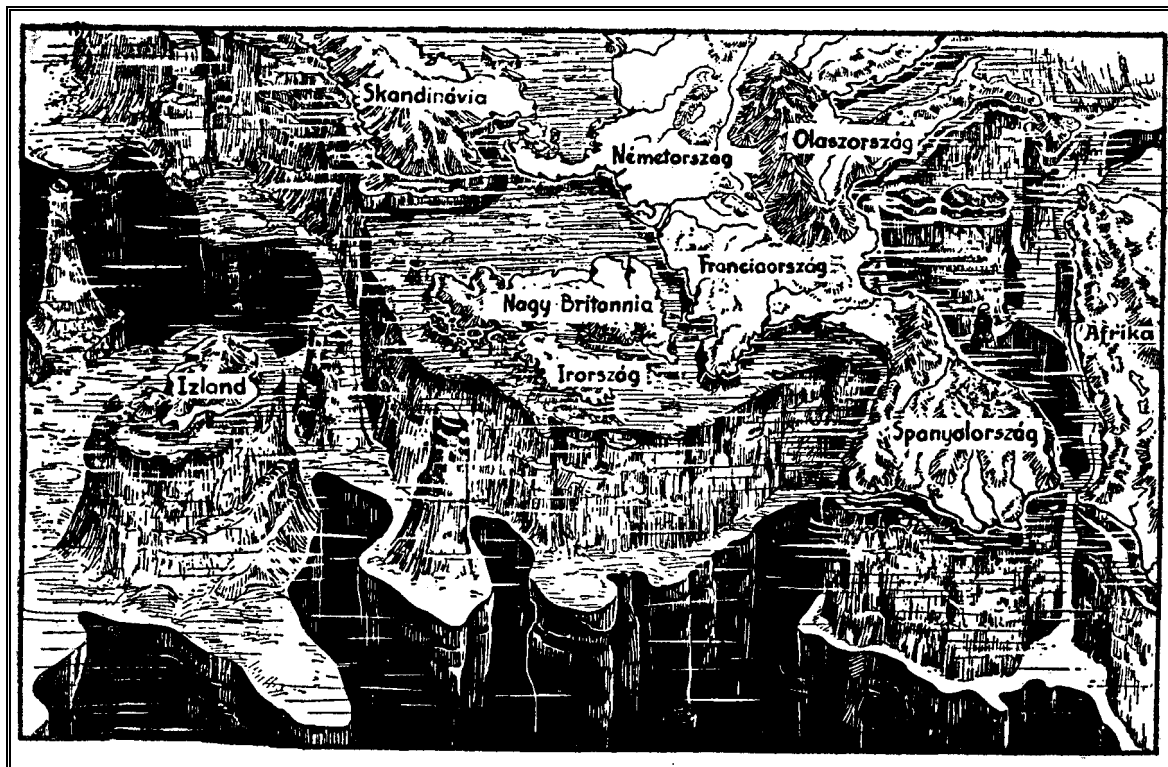
A nem rétegezett tömeges kőzetek és az éppen a rétegeességgel jellemzett üledékes kőzetek közötti különbség alapján természetes, hogy itt most csak az üledékes kőzetekkel foglalkozunk. A tömeges kőzeteket akkor tárgyaljuk majd, amikor a vulkanizmust fogjuk ismertetni. Sőt most egyelőre csak azokat az üledékeket tanulmányozzuk, amelyek a tengerben rakódtak le. A többi üledékes kőzet kevésbé fontos, s csak alkalmilag említjük meg azokat az erőket, melyeknek azok létrejöttüket köszönik.

Más megfontolások is alátámasztják ezt a beosztást. A földtörténeti múlt felidézésében majdnem kizárólag ama kőzetekre vagyunk utalva, melyek a tengerben keletkeztek. Azonkívül meg a partjain ma lezajló események is sokkal beszédesebbek és könnyebben követhetők. Éppen azért a parti jelenségeket könnyebben hasonlíthatjuk össze a multtal, mint más üledékképződési folyamatokat, amelyek csak ritkán, különösen kedvező körülmények találkozása alkalmával játszódnak le nagyobb méretben a szárazföldön. A szárazföldi üledékek általában ritkák, többnyire kisebb kiterjedésűek és hamar esnek áldozatul a letarolásnak. A tenger felülete rendkívül nagy kiterjedésű. A hullámok mechanikai erejében és a benne nyüzsgő állatvilágban pedig olyan tényezőkkel rendelkezik, melyek nagyon is alkalmasak újabb üledékek létrehozására.

A hullámverés szakadatlanul szállítja a tengerbe azt a kőzettörmeléket, mely a partokon letöredezik s rétegről rétegre felhalmozódik a tenger fenekén. Ezeket a rétegeket rögtön lerakódásuk után már újabb rétegek borítják be, tehát a letarolás egyáltalában meg sem támadhatja őket. Az elpusztuló szervezetek - melyeknek szilárd részeit, vázait vagy héjait a lesüllyedő törmelék állandóan magával ragadja s betemeti - minden újonnan kialakult rétegre rányomják annak az időnek a bélyegét, amelyben az illető réteg képződött. Később azután, mint kőületek kerülnek elő a megszilárdult kőzetből, akkor, amikor a tenger az illető területről már régen visszahúzódott vagy a nyugvó üledékek magas lánchegységekké gyűrődtek fel. Így aztán magától értetődő, hogy a legtöbb és legvastagabb üledék a partok közelében halmozódik fel, mert a szilárd kőzetek mállasztása, a szárazföld pusztulása éppen itt a legnagyobb méretű, s így éppen itt halmozódik fel legnagyobb tömegben a törmelék is. A parttól távolabb a szárazföldről származó kőzettörmelékekkel szemben fokozatosan túlsúlyba kerülnek a szerves maradványok, míg végül is a csekélyebb vastagságú üledékek kizárólag a mélytengerek állatainak mészs- és kovapáncéljaiból épülnek fel, amint azt a mélytengerkutató expedíciók által végzett vizsgálatok igazolják.

Ez a lassú átmenet tanít meg bennünket arra a különbségre, amely egy időben képződött kőzetek között fennáll, vagyis olyan kőzetek között, melyek földtani szempontból, tekintve

egykorúaknak mondhatók. A nagyjából szárazföldi törmelékből felépített partközeli üledék és a túlnyomóan állati maradványokból álló mélytengeri lerakódás között a valóságban számos átmenetet találunk, melyek mind összetétel, mind szemcsenagyság és kövülettartalom szempontjából különböznek egymástól. Az a sajátos mód azonban, ahogyan a földtani értelemben vett kontinens és az óceán egymástól elhatárolódik célszerű és nagyon hálás felosztást tett lehetővé. Három övet különböztethetünk meg világosan, mindháromnak jellemző üledékei és sajátos élővilága van.



**25 kép. A földtani Európa a kontinentális küszöbvel.  
A 200 és 2000 m közötti mélységek túlmagasítva.**

Köztudomású, hogy a szárazföld a valóságban nem a tengerpartok szeszélyes vonalai mentén határolódik el az óceántól. Hiszen a szárazföldet sekély, mintegy 200 m mély, tengerrel borított széles öv veszi körül, melyet kontinentális küszöbnek szokás nevezni. S csak ezután következnek hirtelen, meredek lejtéssel a nyílt óceánok többeszerméteres mélységei. Ez más szóval annyit jelent, hogy a földtani szárazulat a tenger alatt még valamivel tovább terjed, mint a földrajzi. Kiváló példa ennek a megvilágítására az európai partvonal, amint azt a mellékelt kép mutatja (25. kép). Skandináviát és a Pireneusi félszigetet csak keskeny sáv alakjában fogja körül a sekély tengeri öv, Nagy-Britannia és Írország körül ellenben nagyon nagy kiterjedésű a kontinentális küszöb. Utóbbiak valóban, mint az európai kontinentális talpazathoz tartozó szigetek emelkednek ki a tengerből, úgy hogy az Északi- és Keleti-tenger csak kontinentális tengereknek tekinthetők. Éppúgy az Adria tekintélyes része is.

Az egykorú üledékes kőzetek közötti különbségek megjelölésére a Föld bűvára olyan fogalmat vezetett be, melyet csak kissé körülményesen tudunk itt megmagyarázni. Nem is egészen veszélytelen fogalom, mert nagy mértékben megzavarhatja a rétegeknek nagy kiterjedésen keresztül való követését. Parti fácieset emleget a geológus olyankor, amikor oly üledékre gondol, amely a part közelében keletkezett. Ettől megkülönbözteti a kontinentális küszöb fácieset, meg a mélytengeri fácieset, aszerint, hogy az illető üledékek a kontinentális küszöb területén vagy pedig a mély tengerekben keletkeztek. Máskor meg a fácies szót azzal

kapcsolatban használja, hogy az illető kőzetben a homok uralkodik-e vagy pedig a mésztartalom, s így homokos vagy meszes fáciesről beszél. Ismét máskor a réteg legfontosabb kőülete után nevezi el a faciést, s így például korállfáciesről szól, ha a kőzet felépítésében főleg ezek a telepekben élő zátonyképző állatok visznek szerepet. Mindezek egyszerű nevek, melyekkel a fáciesek közötti különbséget szeretnénk megvilágítani. Mindebből talán kitűnik már, hogy a fácies tulajdonképpen valamely kőzetnek összes megkülönböztető bélyegeit együttesen jelenti. S habár a hasonlatok mindig sántítanak, azt hiszem mégis az volna a legszemléltetőbb megvilágítása ennek a fogalomnak, ha a fácies szó szó szerinti értelmét vesszük figyelembe. Ha utána nézünk a latin szótárban, azt találjuk, hogy facies magyarul arcot, ábrázatot, külsínt jelent. Hasonló módon beszélhetnénk tehát fekete, fehér vagy vörös arcról, azaz négerekről, fehér emberekről és rézbőrűekről. Miként azonban említettük, a hasonlat nem egészen találó, mert a Föld bűvára a fácies fogalmában nemcsak a kőzetek közötti különbségeket akarja megtalálni, hanem mindazokat a mozgásokat is, amelyek a fáciesváltozásoknak okai voltak. Ezek pedig egyelőre még ismereteink határain kívül fekszenek.

Az eddig elmondottakból már tudjuk, hogy a kőzetképződés két különböző folyamatot foglal magában. Az első a tulajdonképpeni leülepedés, mely a kontinentális küszöb területén a legnagyobb mérvű és jelentőségű. Csak annyiból áll, hogy a szárazföldről származó kőzettörmelék lazán egymásra halmozódik. A második folyamat foglalja magában azon elváltozásokat, amelyek folyamán a lazán főlhalmozott anyag kemény kőzetté szilárdul, amidőn a partok laza homokjából összeálló homokkő, a finom iszapból és agyagból pala, a meszes üledékből pedig mészkő lesz. A szóban levő elváltozások nagy különbségséget mutatnak. Egyik üledékben nagyobb mértékben érvényesülnek, mint egy másikban. Bővebben nem tárgyalhatjuk, hanem csak a következő általános jelenségeket említjük föl. Világos, hogyha folyton finom törmelék rakódik le, akkor minden lerakódott réteg súlyánál fogva bizonyos nyomást gyakorol az alatta levőre. Így a keletkező üledék összenyomódik. Az egyes szemcsék egymáshoz illeszkednek, ezáltal a köztük levő hézagok térfogata lényegesen csökken. Az összenyomódás után következik a szemcsék összeragasztódása, ezt összecementezésnek szokták nevezni. A hézagokat ásványok töltik ki, mint például mészkarbonát ( $\text{CaCO}_3$ ) vagy kovásv ( $\text{SiO}_2$ ). Ezek az ásványok vagy abból a folyadékból kristályosodnak ki, amely kezdettől fogva ott volt az üledék hézagaiban, vagy pedig oly oldatokból válnak ki, melyek később kerültek ide valahonnan, és átítatták az üledéket.

A laza üledék így annál keményebb kőzetté lesz, minél tovább hatott rá e két tényező. Ez magyarázza meg azt az általánosan ismert tényt is, hogy földtanilag idősebb kőzet általában sokkal szilárdabb és keményebb, mint hasonló, de fiatalabb korból származó kőzet. A kivételek nem sok érdekeset árulnak el. A Moszkva környéki karbonkori szén kőszéné válása folyamán korántsem ment át oly változásokon, mint például sok, korban hasonlíthatatlanul fiatalabb középeurópai barnaszén. De hát ez csak arra mutat, hogy a moszkvai szénmedencében, ahol a laza üledékre a geológiai erők nem hatottak oly erélyesen, mint amott, sokkal nyugalmasabb földtörténeti események mentek végbe.

A leülepedés jelenségeit általában nem nagyon régen kutatják, csak nem régiben kezdtek a jelen földtanával foglalkozni. Kétségtelen, hogy a múltban keletkezett kőzetek megértéséhez a legjobb alapot a jelenkori viszonyok megfigyelése nyújtja, így például a meredek sziklás partok, lapos partvidékek vagy a watt-tengerek élesen megvilágítják a kőzetképző folyamatok különbségeit.

Minden egyes apály alkalmával más képet tár elénk a part. Új homokréteg rakódott le s az ezzel szanaszét heverő kagylók most más helyzetben vannak, mint az utolsó dagály előtt. A valóságban tulajdonképpen itt olyan helyen állunk, ahol kőzet van keletkezőben. Ha még oly

kis mértékben is, de mégis minden kagylónak megvan a lehetősége arra, hogy megkövesüljön. A homokból lassan homokkő lesz, amelyben a ma szemünk elé táruló végtelen változatosságnak és különbözőségnek minden ismérve tartós formába öntve marad meg. A hullámanyomok és szélfodrok, amelyek a tenger, illetőleg a dűnék homokjában jönnek létre aszerint, hogy a víz borította-e el a homokot, vagy pedig a szél száguldott végig rajta, - mint megkövült hullám- vagy szélfodrok tűnnek elő azon a kézipéldányon, amelyet a későbbi idők geológusa kalapál ki magának a keménnyé vált homokkőből; abból a homokkőből, amelyet akkor a tengertől talán már nagyon tekintélyes távolságban talál majd meg. A fodrok nagysága, szélessége és alakja majd elárulja, hogy hol jöttek létre tulajdonképen; a parton a víz, vagy pedig a dűnén (XLII. tábla) a szél hatására. A watt-tengereknek iszapos üledékei pedig (XII. tábla), ha egyszer földtani rendeltetésüket betöltik és kemény közté szilárdulnak, szintén elárulják majd településük, a bennük levő csúszásnyomok és kővületek alapján azokat a sajátságos körülményeket, melyek között keletkeztek, s amelyek a mai watt-tengerekre annyira jellemzők.

Ezeknek a meggondolásoknak rövid összefoglalása arra tanít bennünket, hogy az újonnan keletkező üledékek legnagyobb részét a tengerben jönnek létre. A földkéregnek már megszilárdult régebbi tömeges vagy üledékes kőzeteire külső erők hatottak, azokat pusztították, míg végül a törmelékből új üledék keletkezik. A szárazföld a tengerben születik!

Ma ez a természetes, magától értetődő válasz arra a kérdésre, honnan származnak a réteges kőzetek. Pedig olyan kérdés volt ez, mely még száz esztendő előtt is két egymással élesen szembenálló táborra bontotta a Föld bűvárait: neptunistákra és plutonistákra. Tűz és víz forgott szóban - képletesen és szószerint! Vegyük most ezzel a magától értetődőnek és biztosnak vélt felfogásunkkal szemben valamelyik üledékes kőzetet a földtani valóságában szemügyre. A homok, homokkő, agyag és mészkő szabályos vagy szabálytalan váltakozásaiban az üledék adná a vízszintes település eszményi képét. Biztosnak vélt tudásunkat azonban csakhamar megszégyenülés éri. A változatosság és a rétegesség izgatják képzeletünket, mert ezeket a jelenségeket nem tudjuk a mai, csöndesen előrehaladó leülepedéssel összehangba hozni. Izgalmas kérdést jelentenek számunkra!

Lehetetlen itt valamennyi üledékes kőzetet felemlítenünk, jellemző sajátságaikat sem sorolhatjuk fel, sem azokat az előfeltételeket, melyek között létrejöhetnek. Minden osztályozás, melyet itt előnyben részesítenék, azonnal rám róná azt a kötelezettséget is, hogy elmondjam, a sok közül miért éppen ezt az osztályozást ragadom ki. Ezért nem is teszem! Vannak üledékek, amelyek a földtani hatóerők mechanikai munkája révén keletkeztek. Ezek az erők a régebbi kőzeteket megtámadták, mállasztották, rombolták s a törmeléket bizonyos törvényszerűséggel az üledékképző medencében lerakták. Vannak másféle üledékek is, amelyek alkatrészei más, régebbi kőzetekből oldódtak ki, majd kedvezőbb vegyi viszonyok közben újból kicsapódtak. Végül pedig vannak olyanok is, melyek létüket a növények és állatok szorgos működésének köszönhetik.

E három osztály mindegyikében összefoglalhatunk olyan kőzeteket, melyek valamilyen más beosztásban egymástól nagyon is távolra kerülnének, egy harmadik osztályozás szerint meg esetleg ugyanazon nevet kapnák. Példa erre a mészkő. Ez tisztán vegyi folyamatok alapján is létrejöhet, de nagy vastagságban keletkezhetik mészkiválasztó szervezetek közreműködése útján is. Ezenkívül még különbséget kell tennünk korallmészkövek és másféle mészkövek között, amelyek nagyon különböző körülmények között keletkeznek. Gondoljunk csak arra, hogy milyen sok tényezőnek kell közreműködnie a korallzátonyok keletkezésében! Már ebből az előzetes és nagyon általános felsorolásból is kitűnik, hogy végtelenül változatos azon tényezők sora, amelyek bizonyos üledékes kőzet keletkezésére hatással vannak.

Ha már most egyik vagy másik üledéksorozatban azt látjuk, hogy különböző kőzetek változnak egymással, akkor az eddigiek alapján most már jól megindokolható ama vélekedésünknek adhatunk kifejezést, hogy azok a körülmények, melyek az üledéksorozat képződése idejében hatottak, állandóan váltakoztak, s egymásután más és másféle üledék keletkezését tették lehetővé. Ezeket a különböző üledékeket találjuk most mint szilárd kőzeteket a megfelelő sorrendben. Ezzel a véleménnyel karöltve nő bennünk a vágy, hogy ezt a számos és hirtelen változást az üledékek mineműségében megmagyarázhassuk.

Ez azonban csak pusztá vágy marad, mert hiszen maga a rétegesség is - néhány kivételtől eltekintve - mindmáig azon kérdések közé tartozik, melyek megfejtése még nem sikerült. Mondhatjuk ugyan, hogy a rétegesség az ülepedés közben beállott szünetet jelenti. Ez a megszakítás visszavezethető éghajlati ingadozásokra, esetleg a szárazföld és tenger eloszlásában bekövetkezett változásokra, miközben az egyes üledékképződési övek más helyekre tolódtak el. S mivel ez, mint még látni fogjuk, szoros kapcsolatban áll a hegységek képződésével, azért a hegységek képződés befolyását is tekintetbe kell vennünk az üledékek keletkezésében.

Minden összefügg egymással és még a vízszintes réteg nyugalma is csak igen viszonylagos!

### *A konglomerát és ami vele összefügg.*

Sokkal mozgalmasabb és élénkebb a mai üledékképződés a tenger hullámtörésétől ostromolt meredek sziklás partokon. Olyan üledék alakul itt ki, amelynek földtani szempontból, különösen újabban, gyakran jelentőséget tulajdonítanak, minthogy bizonyos földtani folyamatoknak - mint alább látni fogjuk - jó ismertető jele.

Legtágabb értelmezésében konglomerátnak nevezzük az összetapasztott görgetett kötőrmelék. Minthogy pedig ilyen görgeteg-anyag folyóvíz, jégárok vagy pedig a hullámverés hatására keletkezik, megkülönböztetünk folyóvízi (fluviális), mozgó jég közreműködésével (glaciális), valamint tengerben (marin) képződött konglomerátot. Világos, hogy ezek közül bennünket leginkább az utóbbiak érdekelnek. Számunkra ugyanis ezek a legfontosabbak.

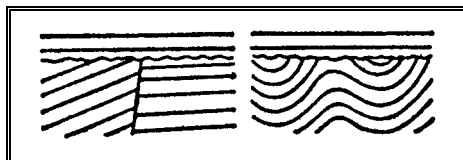
Képzeljünk magunk elé valamilyen ferdén rétegzett, meredek sziklás partot, amely a tenger hullámaival állandó harcot folytat létéért. Szép példa erre az Északi-tenger gyönyörű szigete, Helgoland. (XIV. tábla.) Az ilyen partokat a háborgó tenger a legcsodálatosabb módon aknázza alá, formálja, tépi és szaggatja. Így keletkeznek a szirtek, sziklakapuk (XIII. tábla) és sok más, néha csodálatos alakú képződmény, amelyek érdekes és éles formáiból a megtörő hullámok szava szól felénk. A hullámok ereje egyáltalában nem megvetendő. Bizonyos körülmények között 30.000 kilogrammot is elérhet négyzetméterenként. A romboló hatás legjobban a tenger terjeszkedési vágyában nyilvánul meg. S ha most szemügyre vesszük ama tuskók méreteit, amelyeket a tenger mozgása aláaknáz s a vízbe dönt, akkor fogalmat nyerünk a tengeri letarolás mértékéről és erejéről, amellyel az üledékképződésnek lépést kell tartania, mert hiszen örök törvény, hogy az anyag nem vész el, ami itt elpusztul, annak más helyen fel kell épülnie.

A tenger háborgó hullámai a letört, leszakított kőzettömböket összevissza görgetik, majd ostromolják egyre jobban, most már ezekkel a tömbökkel megerősödve a még megmaradt szárazföldet, a meredek sziklás partot. De a csepp kivája a követ... a sok ide-oda görgetés, hengergetés, lökdösés és lódítás közben a kőzetdarabok egyre jobban felaprózódnak, lecsiszolódnak, míg végül, mint legömbölyített görgetegek a partok közelében fekvő maradnak. A finomabb kőzettörmelék csak valahol a parttól távolabb rakódik le a tengerben, s ott, ahol a hullámverés ereje már teljesen megszűnik, végül a még finomabb törmelékek, a tiszta homokok is lerakódnak.

Meg kell persze gondolnunk, hogy az üledékképződésnek ez a képe és itt előadott sorrendje csak kiragadott pillanatképeket mutat az általános rombolásból, mely állandóan tovahalad s más helyekre jut, s amelyet mindenütt nyomon követ a lerakódás. Nagyon jól elképzelhetjük, hogy ennek a folyamatnak zavartalan folytatódása következtében a meredek sziklás part mindig beljebb vándorol a szárazföld felé s a szárazföld végül is a tenger szintjéig lepusztul, vagy földtani szaknyelven kifejezve: abradálódik. A tengernek ez az abradáló, letaroló munkája nagy területekre terjedhet ki olyankor, amikor a tenger a földtörténeti idők folyamán valamely szárazulatot elhódít, vagyis amikor a tenger előrenyomul, transzgredál. Ennek következményeképpen többé-kevésbé vízszintes felület keletkezik. A földtan művelői ezt nevezik abrázios felületnek (XV. tábla). Gyakran ismerhetjük fel a partok közvetlen közelében, már csak arról is, hogy a tenger letaroló munkájának minden sajátosságát magán viseli. A keményebb kőzetek mint gerincek emelkednek ki a lágyabb, erősebben lehordott kőzetek rétegei fölé, a hordalék pedig a könnyebben letarolható, lágyabb rétegek mélyedéseiben gyűlik össze.

Menjünk most a földtörténet folyamán egy lépéssel előre. Képzeljük el, hogy az egész terület valamilyen rejtélyes ok következtében megint szárazulattá lett. Ezen a szárazulaton kőbányát nyitunk éppen ott, ahol valamikor a szárazföld és a tenger közötti elkeseredett küzdelem zajlott le. A feltárasnak valamely mélyebb részében ferde településű rétegeket találunk, amelyeket többé-kevésbé vízszintes sík határol, illetve zár le. Ezen kavicsot és görgeteget találunk, amelyet az idők folyamán valamilyen kötőanyag konglomeráttá ragasztott össze. Erre a konglomerátra egyenletes vízszintes településben különböző üledékek következnek, melyek a tenger előnyomulása alatt keletkeztek (26. kép).

Az általános kép tehát ferde fekvésű rendszert tár szemünk elé, melyet fölül vízszintes településű rétegösszlet határol. Ennek alsó részében foglal helyet az a bizonyos konglomerát, melyet sajátos bélyegei a többi üledéktől oly jól megkülönböztetnek. A földtanban ezt alapkonglomerátnak nevezzük s a ferde településű rétegsor és a vízszintes rétegek egymáshoz való viszonyát diszkordanciának vagy elütő településnek.



**26. kép. Elütő település.**

A ferdén rétegzett meredek partot, amelyből szemlélődésünk elején kényelem okából kiindultunk, hogy az elütő település jelenségeivel megismerkedjünk, helyettesíthetnénk a hullámverésnek kitett vízszintes településű tengerparttal is. De akkor más kép tárulna elénk abban a bizonyos kőbányában. Ekkor ugyanis mindkét rétegösszlet, amelyet a tenger előnyomulása, a transzgresszió választ el egymástól, vízszintes településű volna. Ebben az esetben egyező vagy azonos településről, tudományos néven konkordanciáról beszélünk. Ekkor az alapkonglomerát (nyugodtan megtarthatjuk ezt a nevet) olyan új üledéksorozatnak a kezdetét jelenti, mely a sziklák történetében nem közvetlenül a legsós, legidősebb kőzetek kialakulása után következett be. A két képződmény között korbeli különbség van, a kettő képződése között az illető terület egy ideig szárazulat volt, más szóval egy ideig nem alakultak ki rajta üledékek. Világítsuk meg ezt egy durva hasonlaltal. Képzeljünk el triász kori üledékekből álló rétegsort, mely a júra-időszakban magasabban feküdt a tengerszintnél s a krétakorszakban ismét áldozatává lett az előnyomuló tengernek. Ebben az esetben az alapkonglomerát alatt triász kori, fölötte pedig krétakori üledékeket találunk, a júrakori képződményeknek minden nyoma nélkül. Ebben az esetben az elütő települést egy fontos

időszakkal párhuzamosíthatjuk, melyben más helyeken normális körülmények között alakultak ki az üledékek. Ezáltal felvilágosítást nyerünk annak a földtörténeti időszaknak a tartamára vonatkozólag, amelyen keresztül az illető terület magasabb volt a tenger színénél.

Szándékosan hoztam itt kapcsolatba a konglomerát, abrázió, azonos és elütő települések fogalmát, ha talán ez az eljárás nem is teljesen indokolt. Mert hiszen vannak olyan konglomerátok, melyeknek semmi közük sincs az abrázióhoz, a tenger lepusztító munkájához, és vannak tengeri előnyomulások, amelyek nem állnak kapcsolatban elütő településű képződményekkel. Az itt említett magyarázat azonban jó áttekintést nyújt és megvilágítja bizonyos fokig a földtörténeti munkamódszert is. Mert, mint láttuk, a konglomerátban és mindabban, ami vele kapcsolatos, értékes adatokat talál a föld bújára a rég mult idők történetének felidézésére. A konglomerát a partközelségre utal abban az időben, amikor a görgetegek kialakultak. Az elütő település meg két különböző időszakot határol el, amelyek közül az egyikben a terület a tenger vize alatt, a másikban pedig a tenger vize fölött volt. S minthogy ezeknek a változásoknak egyik főoka a hegyképződés, az elütő települést teljes joggal fogadhatjuk el útmutatónak ezen mozgások felismerésében és követésében.

### *A kőzetek pusztulása.*

Mihelyt valamely kőzet valamiféleképpen a napszínre jut, máris a légkör befolyásának kegyetlen hatása alá kerül és sorsa abban a pillanatban meg van pecsételve. A kőzet lassacskán felaprózódik, szétesik, vagy feloldódik és eltűnik, vagyis amint szakszerűen mondják: elmállik.

Nincs még egy ilyen általános érvényű folyamat, nincs még egy, amely olyan sokféle alakban nyilatkoznék meg, mint a mállás, s nincs a Föld felszínén oly kőzet, mely többé-kevésbbé mállásnak ne indulna. A mállás persze nem mindig jelenti azt, hogy a kőzet ujjaink közt szétmorzsolhatóvá válik, ámbár elég gyakran ez is előfordul. Ez a szélsőséges eset minden vándornak feltűnik.

Nincs más oly földtani jelenség, mely az emberiség létfeltételeihez oly szorosan kapcsolódna. Nélküle nincs termőtalaj, nincs szántóföld, a szántóföld nélkül nincs mezőgazdaság, a mezőgazdaság nélkül nincs... na, de itt a földtan már igazán megszűnik.

A mállás a szilárd kőzetet meglazítja, szétrágja, szétrombolja, elbontja és így alkalmassá teszi a tovaszállításra, aminek következtében a mállott kőzetanyag üledékképző medencékbe kerül, ahol más kőzet alakjában születik újjá. A körfolyamat ezzel bezárul, a ritmus teljessé lesz. A mállás tehát bevezeti az általános letarolási folyamatot s tulajdonképpen csak egyik szeme annak a láncnak, amely természetes körfolyamat alakjában a kőzetek keletkezését és elpusztulását összeköti.

A mállás leghűségesebb segítőtársa a légkör. Bár a légkör láthatatlan, mégis nagy szerepe van a földfelület állandó nagy változásaiban. Azt az energiát, amely ennek a munkának a keresztülviteléhez szükséges, a Nap melegéből nyeri, amely a víz körforgalmát is létrehozza és fenntartja. Így ismerhetjük fel legjobban az erózió-ciklus és a víz körforgalma közötti hasonlóságot. Általánosan ismert tény, hogy ahol víz van a Földön, ott állandóan párolog is. Vízgőzök szállnak fölfelé, eljutnak a magasabb légrétegekbe, ahol megint cseppfolyóssá lesznek, hogy mint eső vagy hó újra visszahulljanak a Föld színére. Meglehetősen általánosan ismert a csapadéknak háromfelé való eloszlása is. A lehullott csapadéknak egy harmada ugyanis beszívárog a talajba, egy harmada elpárolog és így megint a légkörbe jut vissza, ellenben utolsó harmada a felületen folyik le s a folyókat táplálja. E jelenségek természetesen nem pontosan a fenti beosztás szerint mennek végbe, hiszen az egész folyamatot rendkívül sok

tényező befolyásolja, amelyek a párolgásra, beszivárgásra és lefolyásra mind hatnak, s csak azért említjük fel e szabályt, hogy a folyamatot nagyjából körvonalazzuk. Itt most csak annak a csapadékrészletnek a földtani munkájával foglalkozunk, mely a talajba beszivárog és a felületen lefolyik, tehát az egész körfolyamatnak tulajdonképpen csak egy kis részletével.

Más fogalom, amelyet a mállás mértékének és jelentőségének könnyebb megérthetése szempontjából állandóan szem előtt kell tartanunk, az, hogy a kőzetek, ha még annyira tömötteknek is tűnnek fel, mind likacsosak. Ezekben a likacsokban gyakran találunk vizet, amelynek szintén része van a mállás munkájában. S hogy mennyire jelentékeny ez a munka, azt a következő példával világíthatjuk meg. Ha a víz megfagy, térfogatának egy tizedével tágul ki. Ha most a fagyás zárt térben következik be, rendkívül nagy nyomás éri a falakat, annyira, hogyha az ellenállás nem elég nagy, a falakat a nagy nyomás irgalmatlanul szétrepeszti. Könnyen elképzelhetjük tehát annak a kőzetnek a sorsát, amely olyan területen van, ahol a hőmérséklet erősen ingadozik. Ilyenkor a kőzetek likacsaiban levő víz, hol megfagy, hol meg felenged, ami azzal jár, hogy a kőzetrészeket a megfagyó víz szétrepeszti és irgalmatlanul felaprózza. Most csak azt kell meggondolnunk, hogy a magas hegységekben még a legmelegebb évszakokban is fagy az éjszaka folyamán!

A kőzeteknek a feldarabolódása és felaprózódásán (dezintegráció) kívül, amely mint láttuk természetes erők, mint például a megfagyó víz feszítő ereje által jön létre, megkülönböztetnek a Föld bűvárai másféle mállást is. Az előbbi esetben mechanikai tényezők játszottak szerepet, ellenben itt vegyi folyamatok hatása érvényesül. Ez a kőzetek elbontása, amelyet a tudomány nyelve dekompozíciónak nevez. A kőzet összetartását ebben az esetben az bontja meg, hogy alkotó részeinek egy részét különböző vegyületek támadják meg vagy oldják fel. Hogy a tiszta mészkő a vízben könnyen oldódik, köztudomású és szélsőséges példa erre. A vas és acél rozsdásodása meg köznapi elnevezése annak a nagyon bonyolódott vegyi folyamatnak, amelynek folyamán a vas a levegő oxigénjével és vizével egyesül s ezáltal új vegyületté lesz.

A mechanikai és vegyi mállás egymással karöltve halad. Ha a vegyi folyamatok térfogatgyarapodást idéznek elő - amint azt sok esetben látjuk -, akkor ez megint csak újabb alkalom a mechanikai mállás számára. Viszont pedig minden felaprózódás és lecsiszolás a kőzet nagyobb felületét teszi ki a légkör vegyi behatásainak. A kétféle folyamat között tehát nyilvánvalóan nem húzhatunk éles határvonalat. Legfőlegbb arról lehet szó, hogy egyszer az egyik, másszor meg a másik hat jobban, aszerint, hogy azok a külső erők, amelyeknek a kőzet áldozatul esik, a mállás egyik vagy másik módjának kedveznek jobban. Az a mállási forma, amely jobban kifejezésre jut, az egész tájra rányomja a maga sajátos bélyegét. A legegyszerűbb meg-gondolással is rájövünk arra, hogy a mechanikai erők által okozott mállás, a dezintegráció éles, érdes és szögletes kőzetformákat eredményez, ellenben az oldás vagy más vegyi hatások következtében általában lekerekített, legömbölyített, egyenletesebb formák jönnek létre.

Könnyebb megértés kedvéért tekintsük most át ezeket a hatótényezőket.

A nagy hőingadozások főleg a száraz éghajlatú vidékekre jellemzők. A kőzet itt napközben erősen fölmelegszik, este pedig hirtelenül, rendkívüli mértékben lehül. Azok a különböző alkatrészek, amelyekből a kőzet felépül, a nagy hőmérsékleti különbségek hatására nagyon egyenlőtlenül tágulnak ki, illetőleg húzódnak össze. A kőzettömegben ennek következtében nagyfokú feszültség jön létre, amelynek a kőzet végül is nem tud már tovább ellentállni. A

kőzet felaprózódik, szétesik.<sup>1</sup> A sivatagokban tehát, ahol a száraz éghajlat uralkodik, a szétesésnek túlnyomólag ezzel a módjával találkozunk. (XL. és XLI. tábla.)

Az ellentétek az éghajlatnak általánosabb lefolyásában még jobban érvényre jutnak. Az éghajlati különbségek nagyon jelentős különbségeket okoznak a mállásban. Különösen a meleg és a víz azok a tényezők, amelyek a vegyi erők mállasztó hatását nagy mértékben elősegítik. A vegyi mállásnak tehát különösen a nedvesebb éghajlat alatt nagyobb a jelentősége, ellenben a sarkvidéken és a száraz éghajlatú vidékeken sokkal lassabban megy végbe e folyamat. Mert bár a sarkvidékeken kellő mennyiségű víz áll rendelkezésre, de reménytelenül kevés a meleg, a vegyi folyamatoknak ez a hajtó motorja. A száraz vidékeken viszont fölös mennyiségű meleg volna, azonban ez nem elegendő a vízhiány kiegyensúlyozására. Általánosságban tehát azt mondhatjuk, hogy a mechanikai felaprózódás a száraz, a vegyi erők által okozott elbontás pedig a nedves területeken érvényesül a legjobban. Vagy pedig, ami egyre megy, a sivatagokban meredek lejtőket találunk sok törmelékkel, a mérsékelt égövben pedig, ahol nagyobb a csapadék, enyhébb lejtőket, amelyeket termőtalaj borít.

A mállásra még a magassági különbségek is befolyást gyakorolnak, még pedig nagyon bonyolódott módon. A magassággal ugyanis a tényezők egész sora változik meg, éppen azok a tényezők, amelyek megváltozásával a mállás általános képe is lényegesen módosul. Az évi közepes hőmérséklet a magasság növekedésével csökken, ennél fogva a fagy felaprózó hatása még a mérsékelt égövek magas hegységeiben is nagyon tekintélyes szerephez jut ily módon. E hatás világosan visszatükröződik a hegycsúcsok éles körvonalaiban és a lábuknál felhalmozódó hatalmas törmelékkúpokban. (XXVII. tábla.)

Nagyobb magasságban mindinkább nagyobb lesz a különbség a nappali és az éjszakai hőmérséklet között, bővebb a csapadék, aminek következtében még a szárazabb vidékeken is elegendő víz hull a hegycsúcsokra ahhoz, hogy a kőzetek ott megfelelő mennyiségű vizet vehessenek fel. (Ezt a folyamatot nevezzük hidrációnak, mely térfogatnövekedéssel kapcsolatos.) Ezáltal jön létre a némely gránit tömeg felületén észlelhető lehámlás, lepattogzás, amely még nem egészen világosan értelmezhető folyamat. A nagyobb vízmennyiség közvetve a kőzet likacsában levő víz mállasztó munkáját is elősegíti.

Általánosabb fogalmazásban tehát azt mondhatjuk, hogy a nagyobb magasságok és a meredekebb lejtők a mechanikai mállás kezére játszanak, azt elősegítik. A meredek lejtőknek már csak azért is fontos szerep jut ebben a folyamatban, mert onnan a törmeléket a működő erők állandóan egyenletesen elszállíthatják, tehát a mállás mindig újabb, friss kőzetrészeket támadhat meg.

Sokat beszéltek az élő szervezetek hatásáról is, s különösen a növényeknek tulajdonítottak ebből a szempontból nagy jelentőséget. A többi tényezőhöz viszonyítva azonban, a dolog lényegénél fogva, hatásuk kevésbé szembeötlő. Hosszú idő múlva azonban, vitathatatlanul nagy hatást érhetnek el. Kis és nagy növények gyökereiket a kőzetek legvékonyabb hasadékaiba is beleeresztik, a hasadékokat ezáltal egyre tágítják, szélesbbitik. Az egész hatás látszólag nagyon csekély mechanikai munka eredménye, amelyet azonban a szerves működés jelentékenyen növel. Ez utóbbi a kőzetet megtámadja és oldja. Ily módon a növények kétségtelenül elősegítik a mállást. Mihelyt azonban a többé vagy kevésbé sűrű növényzet meghódította a felhalmozódott mállási törmeléket, éppen ez a növényi takaró gátolja meg a

---

<sup>1</sup> A kőzetek szóban levő felaprózásában elsősorban annak van fontossága, hogy gyors hőmérséklet-változás a kőzetek belső és külső részeit egyenlőtlenül melegíti fel, illetőleg hűti le, miáltal oly feszültségek lépnek fel bennük, melyek felaprózódásához vezetnek. Ezt a hatást a kristályos tömeges kőzetekben a különböző alkatrészek egyenlőtlen hőtágulása még fokozza. (Fordító.)

törmelék elhordását, s akadályozza, meg jelentékeny mértékben a lehordás szabályszerű lefolyását. Jellemző és beszédes példa erre a dűnék növényzettel való megkötése, vagy hogy hazai példát említsünk, a futóhomokos területek betelepítése, mely a lehordást ugyanúgy lehetetlenné teszi a szél számára, mint amennyire lehetetlen a víz letaroló munkája a gazdag növényzetű területeken.

A kőzetek a sok mindenféle támadó erővel szemben látszólag nem nagyon ellentállók, de mindenesetre különbséget tapasztalunk e tekintetben. A kőzetek összetétele, települése, hasadékeinak, réseinek kisebb-nagyobb száma mind olyan tényező, melyek a mállást, illetőleg a kőzet ellenállóképességét megszabják és a különböző vidékeken észlelhető mállási sebességre nagyon lényeges befolyást gyakorolnak. Nem tartoznak egyébként ide az olyan tulajdonságok, mint például a keménység,<sup>2</sup> hiszen vannak kemény gránitok, amelyek annyi ideig sem tudnak a mállásnak ellentállni, mint egyes lágyabb mészkövek, hanem inkább a kőzet szöveti szerkezete és felépítése. (XVI. tábla.)

Mint tudjuk, a kőzetek különböző ásványokból épülnek fel, amelyek a mállással szemben különbözőképpen viselkednek. A gránit például főleg kvarcból, földpátból és csillámból áll. Na már most a földpát olyan ásvány, melyet a mállasztó erők nagyon hamar kikezdenek, s így ennek van legnagyobb része abban, hogy a gránit mállása megindul. A kvarc ezzel szemben a legellentállóbb ásványok közé tartozik, mely hosszú szállítás után is legfeljebb széleinek és szögleteinek az élességéből veszít valamit. Ez világítja meg azt a tényt is, hogy miért áll a legtöbb homok tisztán többé-kevésbé legömbölyített kvarcsemcskékből.

A gránitokon kívül azonban vannak más kőzetek is, amelyek összetétele s ezzel kapcsolatban, miként az előbbi példából láttuk, mállása is más fokú. Az a tény, hogy a gránitból olyan gyakran készítenek szobrokat és emlékműveket, amelyek valamely eseményt vagy személyt örökítenek meg maradandó módon, eléggé bizonyítja, hogy a gránitot általában időállóbbnak ismerjük, mint a legtöbb más kőzetet. A gránit időállóságával szemben a mészkő - legalább is a legtöbb esetben - valóban szánalomraméltó képet nyújt. Mert hiszen a mészkő azonnal feloldódik, mihelyt kellő mennyiségű víz van jelen, s a kőzetet valami különösebb körülmény nem védi a vízzel szemben, annyira, hogy csak némi agyag marad vissza, mint oldhatatlan maradék.

Ha valamely területen tehát olyan kőzetek fordulnak elő egymás mellett, illetőleg egymás fölött, melyek a mállással szemben különbözőképpen viselkednek, akkor a letarolás előrehaladásával az eredetileg egyenletes arculatú vidék ugyancsak megváltozik. A szilárd, nehezebben málló kőzetek végül is kiemelkednek puhább, kevésbé időálló kőzetekből felépített környezetükből (XVII. tábla). Valamely üledékes kőzetekből felépített rétegsorban a lágyabb kőzetek jobban kimosódnak és általában lankásabb lejtőkkel jelennek meg, mint a keményebb kőzetekből álló rétegek, melyek meredek, néha függőleges falakban is megmaradhatnak.

Gyakran találkozunk azzal a jelenséggel is - s itt különösen a víz letaroló munkájára gondolok, - hogy a mállás bizonyos irányokat előnyben részesít, olyan irányokat, melyek már a bomlatlan üde kőzettömegekben is felismerhetők s melyeket különböző okokkal magyarázhatunk. Ilyenek például a diaklázisok, azaz azon törési és hasadási felületek, melyek a kőzetekben főleg a földkéreg nyomáskülönbségeinek hatására jönnek létre. Ezek a diaklázisok a kioldás vagy pedig a víz hosszú ideig tartó áramlási munkája következtében

---

<sup>2</sup> Itt nem az ásványtani értelemben vett keménységről van szó, mely homogén anyagokra vonatkozik, hanem a kőzetnek, mint egésznek szilárdságtani értelemben vett tulajdonságára. (Fordító.)

nagyon kiszélesedhetnek, végül az ember szinte nem hiszi, hogy ott valamikor összefüggő közettömegek voltak.

Az adersbachi homokkövek, valamint az Óriáshegység néhány sajátos alakú képződménye például, amelyet az ottani lakosság leány-alakokhoz hasonlít, ugyancsak arra vezethető vissza, hogy a kőzet bizonyos irányban hajlamosabb a mállásra. Az utóbb említett vidéken világosan megkülönböztethetünk két egymásra többé-kevésbbé merőleges irányt, amelyek mentén a gránit hatalmas tuskókká való széteséssel fenyeget. Itt most nem érdekel bennünket közelebbről az a tény, hogy ezek az irányok hogyan keletkeztek, bár tudjuk, hogy az egyik irány a gránit-magmának a kihülése alkalmával, a másik pedig a már megmerevedett közettömeget ért későbbi mozgások következtében jött létre. Elégedjünk meg egyelőre azzal a félreismerhetetlen ténnyel, hogy ezek az irányok megvannak, jelen vannak. Mint előbb említettük, ezeknek következtében indult meg a gránit szétesése kockaalakú hatalmas tömbökké, melyek idővel, midőn már külön-külön vannak kitéve a mállást okozó tényezők hatásának, mindinkább legömbölyödnek s végül is mint sajátos, gyapjúsákszerű képződmények az egész területen szétszórva találhatók fel. Ebben az állapotukban már igazán bajosan ébresztik fel az emberben azt a gondolatot, hogy egykor összefüggő közettömeget képeztek.

A mállás által tehát a legszeszélyesebb lehordási, eróziós formák jöhetnek létre. A szeszélyesség azonban csak az alakok külső formájában nyilvánul meg, nem a földtani erők valamilyen megmagyarázhatatlan önkényességében. Mert a legcsodálatosabb sajátosságok is megmagyarázhatók azzal, hogy egyik vagy másik tényező hirtelen túlsúlyra jutott. A Bozen környéki földpiramisok (XVIII. tábla) talán csodálatosnak tűnnek fel az arrafelé utazó szemében s talán ügylátszik, hogy minden természetes magyarázatot kigúnyolnak. A józan geológus azonban jól tudja, hogy a kecses oszlopok keletkezésüket nagyon különmű kőzet, számos kőtuskót tartalmazó agyag, jellegzetes elmállásának köszönhetik. Így most itt nem foglalkozunk a nagyszámú különböző egyéni formákkal vagy bizonyos vidékeken kiemelkedő, magányosan álló, sajátos sziklaalakzatokkal. Azok előtt, akik már sokat utaztak, eléggé ismeretesek a gombaformájú sziklák, meg a hatalmas ingó kövek, melyekről az ember azt gondolná, hogy már csak egyetlen egy pontjukon állanak s minden pillanatban lezuhanhatnak. A letarolás további folyamán ez valóban be is következik.

A mállás a földfelszín alatt is végbemegy. Talán valamivel kevésbbé feltűnően, de egyáltalában nem kisebb céltudatossággal. Hiszen laza, termékeny talajaink csak úgy, mint a kevésbbé szerencsés vidékek kietlen karszterületei egyaránt a mállás teremtményei. Mállás mindenütt van. Természete a földrajzi fekvés, az éghajlat s még sok ezer más tényező változásától függően módosul. A mállás folyamata meggyorsulhat, meg is lassúbbodhatik, sőt esetleg időszakosan meg is állhat, de végeredményben elkerülhetetlen. Nincs előle menekülés! Minden kőzet, a legellentállóbbnak látszó is, mulandóságra van ítélve, még akkor is, ha a földkéreg mélyében vagy a tenger fenekén a légkör közvetlen behatásai ellen védve is van. Semmiféle állapot nem állandó!

A mállás nem valami szűkre határolt jelenség, nem elszigetelt fogalom. Ez hozza a kemény kőzetet a szállító erők, a víz, szél, jégár birodalmába. Ott áll összhangban kapcsolódva a többi tényezőhöz, az erők játékának központjában, amelyek mind egy célra törekszenek: a régi szárazföld elpusztítására, s amelyek mind egy célt érnek el: új kontinensek felépítését.

## *Mi mozgatja a köveket?*

### *1. Az áramló víz.*

A letarolás körforgalmában a kőzetek születése és halála - mégpedig ebben a sorrendben - egymással szépen összekapcsolódik. A kettő között van a kőzetek szállítása a mállás helyéről oda, ahol újra - esetleg először - lerakódnak. A kőzetek Waterlooja a magas hegység, ellenben, az óceán újjászületésük helye. A víz körforgalmában a magas hegységek csapadéka és az óceánok elpárolgó víztömegei között meg ott van az áramló folyóvíz. A két körfolyamat közötti hasonlóság tökéletes, mert hiszen éppen az áramló folyóvíz az - legalább is az esetek legnagyobb részében -, amely a kőzeteket elszállítja.

A szigorú, szinte mennyiségtani fogalmazás azonban ne tévesszen meg bennünket. Mert hiszen vannak kőzetek, amelyek nemcsak a magas hegycsúcsok birodalmában mállanak el, viszont a víznek sem kizárólagos feladata a többé-kevésbé céltudatos szállítás. ROLAND-HOLST HENRIETTE híres szavai: „Nem mi vagyunk egyedüli hordozói a köveknek” a folyókra is vonatkoznak. A folyók tehát nemcsak rombolnak, hanem a természeti törvények összhangját követve, kötelességszerűen részt is vesznek az új formák felépítésében. A régi és helytelen hasonlattal szemben, hogy a folyó Földünk arculatán az öregség ránca, azt kell állítanunk, hogy egyúttal újabb ifjúságnak is a jele. Minden letarolási folyamatnak megvan egyébként ez a kettős arca, a tengernek, jégáraknak és szélnek, sőt a szerves lényeknek is, melyeknek építő ereje néha igen gazdaságosan nyilvánul meg. Gondoljunk csak például a köszénre vagy a guánóra. E folyamat kettős mivolta talán csodálatot ébreszt bennünk, az erodálás (letarolás) azonban szószerint mégis csak megrágást jelent. Dehát, mi tulajdonképpen egy név?!

A lehulló esőcsepp a többi cseppel kis erecskékké egyesül. Ezek a lejtők laza kőzeteibe gyakran mélyítenek kis árkokat, csatornákat, melyek tulajdonképpen valamely nagy folyóhálózat eszményi képét s letaroló erejének hatásait kicsiben mutatják be. A kis vízerek egyre nagyobbakká lesznek, végül patakokká, folyókká, folyamokká egyesülnek.

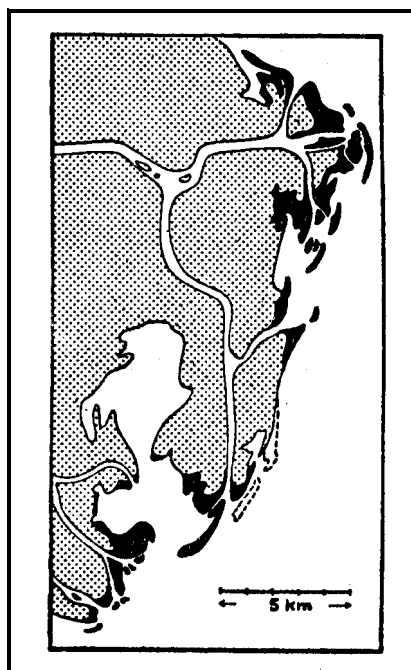
Mindez a víztömeg - a nehézségi erőnek engedelmeskedve - arra törekszik, hogy mindig alacsonyabban fekvő pontokat érjen el, végül az óceánba jusson. Útja közben mindazt az anyagot felveszi, amelyet a mállás szállíthatóvá tett, s ami most az áramló vizet a maga módján még eredményesebb romboló munkára képesíti. A Föld egy kiváló kutatója egyszer a következő találó hasonlatot mondta: „A kavicsdarabok a reszelő szerepét játsszák, a hajtóerő meg a víz.” Ebben a mondatban azonban csak a szállított kőzettörmelék mechanikai munkáján van a hangsúly. Mindenesetre tiszteletet ébreszt bennünk ez is, ha meggondoljuk, micsoda óriási sziklatuskókat tud az áramló víz szállítani. Hogy szélsőséges példát említsünk, egyes svájci hegyi patakok 10 köbméteres, sőt még nagyobb sziklatuskókat is tovagörgetnek. A szállított kőzettörmeléknek azonban van még egy másféle, talán kevésbé szembetűnő, de minden bizonnyal hasonlóképpen nagy jelentőségű szerepe. A kőzettörmeléket a folyó ugyanis más alakban is viheti magával, mert van még vegyi szállítás is.

Nincs kőzet, mely teljesen oldhatatlan volna. Még a tiszta vízben is oldódnak a kőzetek. Az esőben gazdag területeken tehát, ahol állandóan újabb víztömegek jönnek a már jelenlevőkhöz, a könnyen oldható kőzeteknek nagyon jelentékeny része oldódik fel és szállítatik el. Emellett meg kell még jegyeznünk, s ebből áll az előbb említett szerep, hogy a csapadékvíz annál nagyobb tömegű oldott sót szállít magával, minél hosszabb utat tesz meg a tenger felé. Mert minél több ásványt oldott fel a víz útközben, annál hatékonyabb oldószerként szerepel. Ezzel kapcsolatban felmerült egy eddig még megoldatlan kérdés, amelyet már előbb érintettünk egyszer: megvolt-e már az óceánok sótartalma, mely ma állandónak látszik,

keletkezésükkor, vagy pedig csak keletkezésük után került beléjük a só, amikor a folyóvizek a sóban gazdag csapadékvizet öntötték az óceánba?

Különösen a mészkőből felépített hegységek területén van az áramló víz vegyi hatásának földtani szempontból különösebb jelentősége. A víz itt behatol a kőzetnek csaknem mindig jelenlevő hasadékaiba s ezeket oldó hatása következtében egyre szélesbíti, tágítja, mélyíti. Ha már most ezek a hasadékok a kőzetet hosszabb darabon keresztül járók át, akkor a folyó végül is ezen a mélység felé kitért hasadékok mentén fogja folytatni fáradságosan tört útját, vagyis a felszín alatt fog tovafolyni, s csak néhány kilométerrel távolabb lép ismét a Föld felszínére. Szép példák erre a Han melletti barlangok, ahol a Lesse földalatti útja folyamán a híres Proserpina termen kívül még több üreget is kioldott a mészkőből, majd végül a kevésbé oldható kőzetekben megint a megszokottabb folyást követi s útját a napszínen folytatja.

Persze ilyen barlangokban kevésbé ügyelünk arra a tényre, hogy ott egész folyamok tűnnek el a Föld színe alá. Sokkal inkább részesítjük figyelemben a mészkő mállása által keletkezett feltűnő alakzatokat. S valóban, a kedves turisták kedvéért gyakran világítják meg a különböző cseppkőfüggönyöket, oltárokat, állat- vagy emberalakzatokat, melyek a cseppkő növekedésével jönnek létre. Nem ritkán hozzá még többszínű fénnel is! Ezek képződésének a magyarázata közismert. A mészkővön átszivárgó víz cseppenként lehang a barlang tetejéről. Eközben állandóan mész válik ki belőle, amely végül az idők folyamán kecses csapokká, lelógó cseppkövekké, úgynevezett stalaktitá növekszik meg. Ott pedig, ahol a vízcseppek a barlang fenekére hullanak, hasonló, bár kevésbé karcsú és kecses képződmények alakulnak ki. Ezek az úgynevezett stalagmitok, amelyek lassacskán felfelé nőnek, s végül a stalaktitokkal többé-kevésbé vaskos oszlopokká nőnek össze. (XIX. tábla.)



27. kép. A Pó 1904-1924 között hordalékával 11 km<sup>2</sup> területet töltött föl.

Bármilyen is legyen most már részleteiben a folyó eróziójának aprólékos munkája, bennünket csak romboló, szállító és felépítő tevékenységének ténye érdekel, amelyek szigorú törvényszerűséggel következnek egymás után és mindegyiket saját szabályai kormányozzák. Mert az az erő, amellyel valamely folyó partját alámossa, völgyét átalakítja, vagy a tengerbe ömléskor deltáját felépíti (27. kép), elsősorban a forrás és a torkolat közötti magasságkülönbség, továbbá a folyó minden szakaszában megnyilvánuló esés függvénye és azé a víztömegé, mely

a folyó medrén áthalad. Ha ezek közül a tényezők közül valamelyik kellő mértékben megváltozik, azonnal ennek megfelelő változást szenved a folyó eróziós munkája is. Van például a folyó esésének olyan határértéke, amelyen alul a folyó már nem képes romboló munkát végezni, nem tudja medrét jobban bevágni.

Ha most még számba vesszük annak a közetnek a tulajdonságait, amelynek területén a folyó átáramlik, rétezettségét, hasadozottságát és a mozgásokat, amelyek a közetet érték, akkor előttünk állnak mindazok a feltételek, amelyek az áramló víz munkája szempontjából fontosak. S kiderül az is, hogy az áramló víz a földfelszín alakváltozásainak egyik legfontosabb tényezője.

Most még a többi fontos tényezőt kell megvilágítanunk néhány jellemző példával. Könnyebb megérthetés kedvéért induljunk ki mi is a folyók szakaszának rég elfogadott beosztásából, amely a folyókat felső, középső és alsó folyásra osztja. A felső folyás a valóságban rendszerint nagyszámú rohanó hegyi patakból áll, melyek a meredek hegyoldalak lábánál fővölgyben egyesülnek. Az esés nagyon jelentékeny. A víz itt rövid távolságon belül nagy mértékben esik, ennek következtében a vízesések nagyon megszokott jelenségek. Az ifjú hegyi folyó állandóan aláássa partjait, rombol s minden útjába kerülő törmelékkel hevesen ragad magával. A Reuss például a Gotthard és a Vierwaldstätti-tó között annyi törmelékkel visz naponta magával, amennyit síma úton csak kétezer kétlovas szekér tudna szállítani. A fiatal folyó minden akadályon áttör, mely útjába áll, hogy „minél gyorsabban és rövidebb úton” érhesse le. A rombolás itt ennek következtében elsősorban a mélység felé, lefelé irányul, ennél fogva a völgy keresztmetszetben jellegzetes V alakot mutat (XX. tábla).

A középső folyásban az esés már jóval kisebb, a folyó lassabban hömpölyög lapos medrében, de még mindig elég ereje van ahhoz, hogy partjait aláássa és különösen árvizek idején, amikor forrásvidékéről nagyobb tömegben jön a víz, még az aránylag nagyobb tuskókat is elég gyorsan magával ragadja. Ahol a folyónak kanyarulatot kell leírnia, ott a kanyarulat külső oldalát erősen aláássa s lassacskán az eredeti irányban ássa tovább medrét, ellenben a belső oldalon sekély meder alakul ki. A völgy oldalai is letarolódnak, a völgyforma pedig, a felső folyás hegyes V alakjával szemben, lapos fenekűvé lesz.

Az alsó folyásban az esés elenyészően csekély. A víz már nem tud az akadályokon áttörni s minden akadályt kikerül. Fáradtan, széles és határozatlan kanyarulatokban, meanderekben folyik tovább itt a folyó, medre széles, benne sok apró sziget van. Nincs már ereje ahhoz, hogy a mederbe kerülő durvább anyagot tovaszállítsa, tehát innen már csak a legfinomabb közettörmelék kerül a tengerbe.

Ennek a beosztásnak, amely szerint a folyó csak a felső szakaszban viselkedik fiatalosan és zabolátlanul, ellenben a középszakaszban már bizonyos megállapodottságot mutat, s végül az alsó szakaszban az öregség jeleit tünteti fel, túlszigorúak a határai ahhoz, hogy minden folyóra alkalmazható legyen. Mert hiszen vannak folyók, melyek teljes hosszukban ifjú hegyi patakok jellegét viselik magukon, s még az alsó folyásban is kedvük szerint rombolnak. Ezeknek a szelvényében semmiféle egyensúlyról nincs szó, s az ilyen folyókat az emberi élettel való könnyen érthető összehasonlítás alapján fiatal folyóknak szokás nevezni.

Érett folyókon ezzel szemben a különböző szakaszokra jellemző sajátosságokat sorjában mind felismerhetjük. A felső folyás néhány részétől eltekintve, ezek a folyók egyensúlyban vannak.

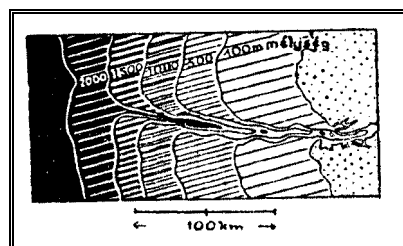
Öregnek meg akkor nevezzük a folyókat, ha lehordani többé már nem tudnak s csak a felső folyásban képesek a többi folyó által beléjük hordott törmelékkel tovaszállítani, amelyet azonban már a középfolyásban megint leraknak. Ezek a folyók a hegységek elegyengetésében befejezték feladatukat, s most már méltóságteljesen kanyarognak a meghódított területeken. Egyensúlyi állapotuk eszményi képet mutat.

Ez a nyugalmi állapot azonban, ha sikerül is a folyónak elérnie, nem tartós; a természet nem ismeri a „dolce far niente”-t. S itt van a hiba, ha a folyók életét az emberével hasonlítjuk össze. Hiszen a folyónak nem kell okvetlenül megöregednie. Számptalan lehetőség áll rendelkezésre, hogy ifjúságát visszaszerezze, az élő szervezetet ezzel szemben csak az időelőtti halál mentheti meg az előregedéstől.

Tulajdonképen csak ritkán jelentkeznek azok a tulajdonságok, amelyek a folyók előregedésére jellemzők, s a folyóknak, hogy úgy mondjuk, aggkora, pusztán elméleti. Mert a terület klsfokú emelkedése már az egész folyóhálózatot megfiatalítja. Az ilyen emelkedés pedig a Föld nyughatatlansága következtében szinte magától értetődő valószínűséggel bekövetkezik, ha tekintetbe vesszük még azt is, hogy a teljes letarolási ciklus milyen hosszú időt vesz igénybe. Az az egyenletesség, amelyet a folyó szelvénye már éppen felmutatni készült, megint veszendőbe megy, az elért egyensúly megint megzavarodik. Megint hat az esés, előtérbe lép a lehordás, esetleg vízesések is keletkeznek. Más szóval új ciklus kezdődik, anélkül, hogy a régi elméletileg tulajdonképen teljesen befejeződött volna.

Ha pedig most a felemelkedéssel kapcsolatban még törések és gyűrődések is keletkeznek, az illető terület vízfolyásai végül is annyira megváltozhatnak, hogy új folyóhálózat alakulhat ki, másfelé irányuló lehordással. Az ilyen forradalmak terjedelme és nagysága, meg kisebb-nagyobb kihatása elsősorban attól a sebességtől függ, amely ezen a helyen a földfelszínt megváltoztatta. Hogyha ez földtani mértékkel mérve aránylag hirtelen ment végbe, akkor a folyóvíz okozta lehordás lényegesen megváltozik és új irányokban fejlődik. Ha pedig a sebesség akkora, hogy a víz letaroló munkája az emelkedéssel versenyezhet, akkor a folyók a hegységet éppen olyan gyorsan vágják át, mint amilyen mértékben az emelkedik. Ebben az esetben a folyók az emelkedés alatt és után egyaránt követhetik még régi irányukat. S ezzel magyarázhatjuk meg magunknak azt a különleges jelenséget, hogy a folyó néha a földtani magaslatokon látszik keresztül menni, ahelyett, hogy, amint azt az ember a víztől mégis csak elvárná, a földtani völgyekhez alkalmazkodnék, s azokhoz tartaná magát.

Az éghajlati változások kapcsán beálló nagyobb vízhozam szintén hozzájárulhat a folyók lehordási képességének megújulásához és megfiatalodásához. Minthogy a lehordás az áramló víz mennyiségétől is függ, hűn követi a forrásvidék csapadékingadozásait. Sőt a jelen földtani pillanatban is, amelyben éppen élünk, világosan kifejezésre jut és megnyilvánul ez az összefüggés, hiszen tavasszal a lehordás és az elszállítás sokkal jelentékenyebb, mint ősszel. A folyók áradásakor ugyanis a letaroló erők erőteljesebben működnek, mint ősszel, a nyári szárazság után. Jellemző például szolgálhatnak az Alpsek is, ahol a déli oldalakon a nagyobb csapadék következtében több és mélyebb völgy ismeretes, mint az északi oldalakon, amelyek csapadéokban szegényebbek.



**28. kép. A Kongó völgye a tenger nagy mélységeiben is követhető.**

A terület süllyedése, vagy ami ezzel egyre megy, a tenger tükrének emelkedése ezzel szemben a lehordást idő előtt megöregíti. A süllyedő terület folyói lassacskán belefűlnak az emelkedő tengerbe (28. kép), végül egészen a tenger alá kerülnek, ennélfogva a letarolás idő előtt abbamarad. Ebben az esetben a régi ciklus lezárul, anélkül, hogy új kezdődne.

Olyan éghajlati változások folytán, amelyek aszályt és szárazságot okoznak, szintén bekövetkezhetik a folyó lehordási képességének korai halála. Ezek nagyon egyoldalú módon befolyásolják ugyanis a víz körforgalmát, amennyiben túlzott mértékben elősegítik a párolgást és ezáltal irgalmatlanul megfosztják létfeltételeitől az áramló vizet, mely a lehordások conditio sine qua non-ja. Kiszáradt folyómedrek és sóssá váló, a nyílt óceántól lefűződő medencék, mindannyian a halódó erózió félreismerhetetlen jelei.

### *A tökéletlen síkság.*

A letarolás és a mozgás közötti összefüggés azonban mégsem annyira feltűnő, amint az ember az előbbieken alapján gondolná. A folyóokozta letarolásnak normális és zavartalan fejlődését elméletileg könnyen rekonstruálhatjuk, és előre megjósolhatjuk azt az eredményt, ahová ez a fejlődés végül is vezet. Ebből következik, hogy a jelentékeny eróziót szükségszerűen követi nyomom a mozgás.

A folyóhálózatnak azt a részét, ahol az esés annyira kicsi, hogy a folyó tovább már nem tudja magát bevágni és a beléhordott anyagot is már csak nagy fáradsággal szállítja tovább, a kutatók nagyon találóan erózióbázisnak nevezték el. Talán azért hívják bázisnak, mert a letarolást végző folyóhálózatnak valóban a legmélyebb pontjait foglalja el; egyébként egy meggondolás bázisául is tekinthetjük, amelynek alapján a letarolás egész menetét előre megjósolhatjuk.

Az erózióbázishoz tartozó területen, mint említettük, a folyó már egyáltalában nem tudja medrét mélyíteni. A folyó letaroló munkája itt már halott. A folyónak minden az erózióbázison kívüli, tehát fölötte levő szakaszában van esése, és így, mivel a víz természete szerint mindig mélyebb helyek felé törekszik, a mélység felé irányuló munkateljesítménye, ami más szóval annyit jelent, hogy bevágódik, medrét mélyíti. Ez csak akkor szűnik meg, amikor a folyó bizonyos mélységig, mely a víz mennyiségéhez és az erózióbázishoz igazodik, bevágta völgyét, azaz amikor a völgyfenék is már az erózióbázishoz tartozik. A folyóhálózat eszményi, zavartalan fejlődése esetében az erózióbázisnak állandóan nagyobbodnia kell. Általánosabban kifejezve, annak a folyószakasznak, amely széles és lapos medrével és számos kanyarulatával már az előregedés félreismerhetetlen jeleit mutatja, lassacskán nagyobbodnia és hosszabbodnia kell.

Így tehát az egyre jobban előrenyomuló és kiterjedő erózióbázis által a folyó letaroló munkássága egyre inkább hátrál a folyó völgyében felfelé. A hátráló erózió által, amelyet egyébként a Niagara típusú vízesések tárgyalásával kapcsolatban még bővebben is ismertetni fogunk, a folyó egyre több hegyi patakot kényszerít magához való csatlakozáshoz a magas hegységben. A forrásvidék mindjobban kiterül hátrafelé, és pedig legyező formában. Ezért kell két folyó között, amelyek valamely hegység két oldalát két különböző irányban hordják le és eközben egymáshoz már elég közel kerültek, a vízvásztónak is állandóan változásokat szenvednie.

Ha a két folyó egyforma szorgalommal munkálkodik, ami azonban nagyon kivételes eset, a vízvásztónak állandóan beljebb kell vonulnia; a vízvásztó hegység egyre jobban letarolódik. Sokkal valószínűbb azonban, hogy a két folyó esése és víztömege különböző. Ebben az esetben a vízvásztó nemcsak hátrább vonul, hanem helyét is megváltoztatja, és pedig oly módon, hogy az erősebben letaroló folyó vízgyűjtőterületét a gyengébb rovására növeli. Eközben néha megtörténik, hogy egyik folyó a másikat megcsapolja s vizeinek egy részét a másik irányban vezeti le. Így csapolta meg a hátráló erózió következtében a Mosel egyik mellékfolyócskája is a Maas felső folyásának egy részét s kapcsolja be most ennek vizét saját vízhálózatába. Ennek a régi kalózkodásnak terhelő bizonyítékait ma is megtaláljuk Toul

mellett abban a száraz mederben, amely a Maas felé vezet a Mosel éles kanyarulatában Nancy mellett.

A két folyó közötti harc a vízválasztóért, ahogy ezt a jelenséget nevezzük, egyszer már két népnek is tragikus harca lett. A Chile és Argentína közötti határ megállapításánál ugyanis azt határozták, hogy a két állam közti határ az Andések vízválasztója legyen, amelyet sajnálatos módon összetévesztettek a hegység gerincvonalával. Csak ezután derült ki, hogy a chilei folyóknak erőteljesebb és gyorsabb letaroló erején kívül nagyobb volt az imperialisztikus nemzeti érzése is, amit rövid úton ki is elégítettek: a vízválasztó-államhatárt jókora darabon beljebb tolták az argentinai területre. Így következtek be a sorozatos határvillongások, a diplomáciai kapcsolatok azonnali megszakítása, háború... A folyók pedig folytatták letaroló működésüket.

A földtani értelemben vett vízválasztóért folyó harcban maga a hegység esik védtelen áldozatává az erőknek, s végeredményben a két letarolással küzdő folyó osztozik a zsákmányon. Az éles gerincek és csúcsok egyre alacsonyabbak és alacsonyabbak lesznek, a hajdani magas hegység lassacskán felveszi a középhegység jellegeit, kialakulnak lankás lejtői, lekerekített hegyhátai. De még ez sem állítja mindig helyre a folyók egyensúlyát, ez sem csökkenti harci kedvüket. Elméletileg csak akkor érik el a folyók a letarolás végeredményét, ha erózióbázisuk fölött az utolsó kiemelkedést is áttörték és a vízválasztón keresztül közös völgyet hoztak létre.

Így aztán elképzelhetjük, hogy egy hegység, amely két, mellékfolyókban és völgyelágazásokban gazdag folyórendszer között a vízválasztó szerepét tölti be, idővel teljesen lepusztulhat és pedig annál gyorsabban, minél magasabb volt kezdetben. A sokszorosán és szélesen elágazó folyóhálózatnak hosszú ideig tartó letaroló munkája nagyon jelentékenyen megváltoztatja az egész vidék arculatát. Lassacskán síkság lesz belőle, néhány kiemelkedéssel, lapos dombokkal: tökéletlen síkság, mert a tengerszint, vagyis a tulajdonképeni erózióbázis fölötti magassága csak annak a letarolásnak a tartamától függ, mely ezt a tökéletlen síkságot létrehozta.

Dehát mindez csak elmélet! Nagyon kétséges, hogy vajjon egyáltalában kifejlődhetik-e valahol ilyen tökéletlen síkság a maga egyhangúságában. Még ha fel is tesszük, hogy az elméleti eróziós ciklus valóban zavartalanul végbe megy és tökéletlen síkságot teremt ott, ahol előbb hegység emelkedett az égbe, akkor is számba kell vennünk, hogy ez a folyamat tekintélyes zavart jelent a földfelület tömegeloszlásának egyensúlyi állapotában. Más szóval ez annyit jelent, hogy a földkéregnek azon a helyen, ahonnan a hegységet a letarolás elhordta, könnyebbnek, azt pedig, ahol a lehordott anyag felhalmozódott, nehezebbnek kell lennie. Az ilyen tökéletlen síkság fejlődése és kialakulása olyan hosszú időt venne igénybe, hogy a természettől, amely annyira irtózik az üres tértől, igazán nem várhatjuk, hogy ily hosszú időn keresztül eltűrje az egyensúlynak ily erős megzavarását. A földkéreg inkább lassan alkalmazkodni fog minden új állapothoz és a megzavart egyensúlyt helyi mozgásokkal fogja helyreállítani.

Ez a párhuzamosan haladó alkalmazkodás magyarázza meg, hogy miért nem fejeződhetett be valószínűleg még sohasem egy teljes eróziós ciklus s miért nem alakulhatott ki valóságos tökéletlen síkság. Anélkül, hogy itt az említett mozgások módját közelebbről akarnánk megvilágítani, csak egy kézenfekvő következtetést említünk meg. Az olyan terület, amelyet az erőteljes lehordás annyira lepusztított, hogy rajta már egyensúlyi zavarok is észlelhetők, a később még tárgyalandó izosztázia törvényeinek megfelelően, kellő emelkedéssel igyekszik majd ellensúlyozni azt a változást, hogy a földkéreg ott túl megkönnyebbedett. Már pedig, miként fennebb erről már szó volt, a felület emelkedése megint megfiatalítja az eróziót, új eróziós ciklus kezdődik, anélkül, hogy a régi tökéletlen síkságot hozott volna létre.

Van tehát törvényszerű összefüggés a lehordás és a mozgás között. A körforgás most már igazán bezárult: látjuk, hogy amint a földkéreg valamely része mozgás következtében a tenger színe fölé emelkedik és így a légkör birodalmába kerül, máris szemben áll a lehordás megsemmisítő munkájával; ott meg aztán, ahol a lehordás kellőképpen előrehaladt és sajátságos következményei kifejezésre jutnak, szó sincs már többé nyugodt földkéregről. A mozgás után lehordás, a lehordás után mozgás következik.

### *Harc a völgyért.*

Az általános letarolás folyamatában az áramló vizen kívül más erők is közreműködnek, mint ahogy a lehordott területen kialakuló tökéletlen síkság sem kizárólag a folyóknak köszöni keletkezését. Sok más mindenféle erő is van, amelyeknek természettől fogva az a célja, hogy a hegységeket a lehető legrövidebb idő alatt lehordják, elegyengessék. Nagy igazságtalanság volna a folyókkal szemben, ha csak ebben az általános összefüggésben juttatnánk szerepet nekik s lehordó munkájuk egyes részleteit figyelmen kívül hagynók. Hiszen elég csak völgyeik alakját megfigyelnünk. A völgy alakja mind attól a sok tényezőtől függ, amelyek a folyók lehordását befolyásolják és megváltoztatják: a folyómeder nagyon változékony pillanat abban a fáradságos és sokirányú harcban, melyet a folyó medrének helyéért, megmaradásáért és kiépítéséért folytat.

A valóságban ez a harc már az első esőcseppekkel megkezdődik, amelyek a légkörnek újonnan és frissen kitett területre hullanak. A sok kis időszakos csatornácska, rovátká közül, amelyeket a lehulló eső a kőzetten kialakít, csak a nagyobbak és szélesebbek veszik fel a nagyobb víztömegeket. Ennek következtében ezek mélyülnek ki leggyorsabban és ezekből alakulnak ki a nagyobb vízlevezető csatornák. A kisebbeket a nap alatt való helyért folytatott küzdelemben az erózió is háttérbe szorítja, s ha meg is maradnak, csak mint kis mellékágak tengethetik életüket.

A kis csatornák a lehordás előrehaladásával szélességben és hosszban egyre gyarapodnak, s kétirányú növekedésükön kívül, különösen míg a lehordás még fiatal és számuk nagy, egymást kölcsönösen akadályozzák a fejlődésben. Mert közülük csak kevésnek adatik meg, hogy teljes értékű völgygé fejlődhessék. És ha az első kísérlet sikerült is, a létért való küzdelem még nem fejeződött be. Hiszen jól tudjuk, hogy a folyók a későbbi eróziós állapotukban hajlamosak a kalózkodásra, az erősebb saját javára lecsapolja a gyengébb folyó vizét, ezzel lecsökkenti ennek lehordó erejét.

Beláthatatlanul sok változata lehet ennek a kölcsönös harcnak a völgygé való kialakulásban és megmaradásban. Sokkal több, semhogy benne az ember törvényszerűségeit láthatna meg. Csak azért írjuk le itt ezt a harcot, mert egyszer egy egyébként nagyon tárgyilagos geológus ezt is be akarta állítani az általános létért való küzdelem keretei közé.

Lényegét tekintve a folyó lehordó munkájának összessége nem egyéb, mint a nagyon indokolt harc a völgyért. A folyómeder fejlődésének minden pillanatát az a mód szabja meg, ahogyan a folyóvíz az útjába kerülő akadályokhoz alkalmazkodik, amelyek ama kötelessége teljesítésében gátolják, hogy minél hamarabb leérjen. Ha tehát azok a befolyások, melyek a folyó munkáját irányítják, sokoldalúak és változatosak is, mégis van bizonyos bámulatraméltó céltudatosság, amely a folyót útjának megválasztásában vagy megváltoztatásában vezérli. A folyó mindig azokat a körülményeket találja meg, amelyek célja megvalósítására legalkalmasabbak.

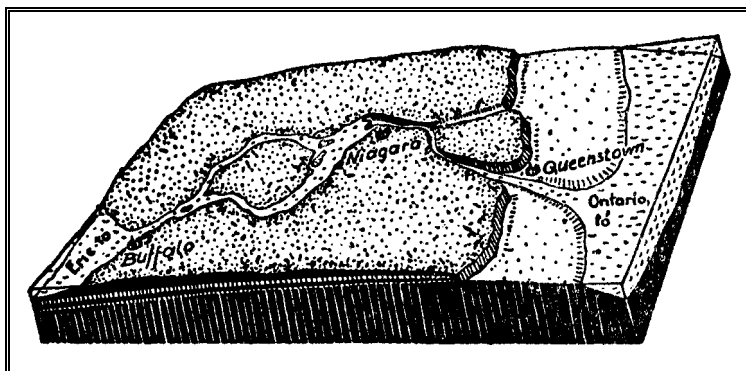
Más szóval a folyó útját a földkéregnek mindig azon részén át veszi, amelyen keresztül a legkisebb ellenállással találkozik s ahol a legkevesebb munkával a legnagyobb eredményt éri

el. Az állandó alkalmazkodás alapján folyásának jellege és iránya hű képet ad azokról az akadályokról, amelyeket a felszínen való útja közben meg kell kerülnie vagy át kell törnie. A mélységért folytatott harcot a folyó medrének alakja és keresztmetszete világítja meg.

Kétféle hatást kell itt megkülönböztetnünk. Először az áramló víz közvetlen, kikoptató, kivájó munkáját, amellyel a magasabb területekről lehordott mállási törmelék segítségével a völgy mechanikai kiépítését végzi. Másodszor a völgy oldalain lefutó víznek a part ellen intézett támadását. Csapadéokban gazdag vidékeken ez a különbség nem olyan szembezőkő. A két munka közvetlen eredménye a folyók jellegzetes V alakú völgyformája. Miközben ugyanis a folyó egyre jobban bevágódik, a magasabban levő részletek, amelyeket a légkör már hosszabb idő óta rombol, egyre jobban kitágulnak, a völgyfalak egyre lankásabbak lesznek.

Az eszményi V alaktól való minden eltérés nyilvánvalóan azért jön létre, hogy a két tényező közül valamelyik beszünteti működését. A laposfenekű V formának a létrejöttét előbb már megmagyaráztuk: az erózió előrehaladottabb állapotában a bevágódás megszűnik. A völgyfalak túlságos meredekségét hasonló módon azzal magyarázhatjuk, hogy olyan befolyások jutnak érvényre, amelyek a partok erodálását meggátolják vagy legalább csökkentik. A szurdokvölgyekben (XXI. és XXII. tábla) például az éghajlat lehet az a befolyás, más területeken meg mondjuk a kőzet nagyobb keménysége. Általánosságban még azt mondhatjuk, hogy a völgyoldalak annál meredekebbek, minél keményebb kőzetből állanak, annál lankásabbak, minél lágyabb a felépítő kőzet. A jellegzetes V alak tehát annál világosabban és élesebben jut kifejezésre, minél keményebb kőzettel van dolga a víznek. A lágyabb kőzeteket könnyebben támadja meg a folyó, könnyebben szállítja el, itt tehát éles határok, jellegzetes vonalak nem alakulhatnak ki.

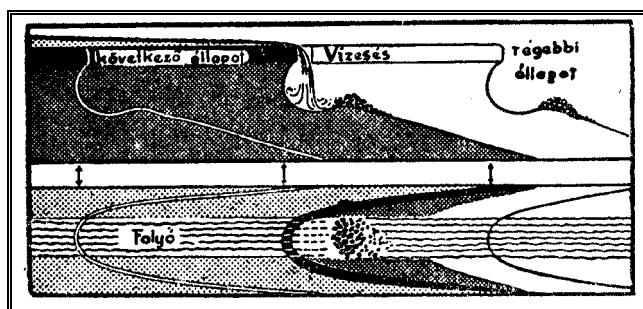
Már többször megfigyelték, hogy a folyóvölgyek nem alakulnak ki mindig részarányosan; az egyik völgy oldala meredekebb lehet, mint a másiké. Ez a jelenség különösen azon folyók esetében lesz világossá, amelyek észak-déli irányban folynak. Okául a föld forgását szokták említeni, amely a vizet kelet felé szorítja. Így tehát valamely északfelé haladó folyónak a jobb partja hamarabb pusztul le, mint a bal. Persze, még nem biztos, vajjon a befolyás valóban olyan jelentékeny-e, amint azt felteszik, mert ezeket a tüneteket legtöbbször más okokkal könnyebben magyarázhatjuk.



29. kép. A Niagara folyó az Erie-tó és az Ontario-tó között.

A folyó még más módon is áshatja medrét s mélyítheti völgyoszorossá (XXIII. tábla) vagy szurdokká. Így például a hátráló erózióval, amely különösen vizesések és sellők esetében lép az előtérbe. Nyugodtan felemlíthetjük itt a vizesések két szélsőséges típusának klasszikus megkülönböztetését. A két típust egyébként számtalan átmenet köti össze. Példa rájuk a Niagara (XXIV. tábla) és a Schaffhauseni vizesés, amelyek egyébként hírnevüket nem kizárólag földtani sajátságaiknak köszönik.

A Niagara-folyó (29. kép) az Erie-tóból az Ontario felé vezető útján kemény mészkőből felépített területen halad. A kemény mészkő Queenstown vidékén hirtelen, éles határral letörik. Alatta lágyabb márgák és mészkövekből álló rétegek metszetei bukkannak a napszínre. A híres vízesés a letörés okozta meredek falnak köszöni keletkezését. Rajta a víz itt most 50 méteres mélységbe zuhan alá. A vízesés alján levő lágyabb kőzetet a víz erős forrongása jobban alámossa és rombolja, mint amilyen mértékben a folyó a kemény mészkő felső élét koptatni képes. Ennek az a következménye, hogy a nagymértékben alámosott kemény mészkő lassacskán le-letöredezik és a vízesés, mint egész, állandóan hátrál, s így mély, meredekfalú szurdokot alakít ki (30. kép).



30. kép. A Niagara-típusú vízesés képe szelvényben és felülnézetben.

A Niagara-vízesések hátrálása általánosan ismert tény, már csak azon fáradságos és merész kísérletek révén is, amelyeket az amerikai kormányzat elrendelt, hogy a vízeséseket az erózió további irgalmatlan munkájától megmentse. A geológusok körében ezenfelül bizonyos történelmi jelentőséget is nyertek a Niagara-vízesések, mióta a Föld egyik bűvára arra a merész lépésre határozta el magát, hogy kiszámítja, milyen sebességgel hátrál évente a Niagara. Ebből ki akarta számítani, hány év volt szükséges ahhoz, hogy a 12 km hosszú völgy, amely a mai vízesés és annak Queenstown közelében volt eredeti helye között húzódik, kialakulhasson. E számítások eredménye az, hogy 50.000 esztendő telt el Észak-Amerikában az utolsó jégkorszak óta. A két tó ennek a jégkorszaknak szerény maradványa.

A Rajnának Schaffhausen melletti vízesése más természetű és hatású. Ezt is a földtani felépítéssel magyarázhatjuk meg. A Rajna itt egynemű mészkőből felépült területről folyik régi, laza görgeteggel megtöltött mederbe. Minthogy a lent heverő törmeléket a víz nem szállítja tova, ezzel szemben a vízesés felső peremét a folyó állandóan és egyenletesen koptatja, az eredetileg meredek mészkőfal egyre lankásabb lesz. Az egész tünemény sokkal inkább hasonlít tulajdonképpen egy óriási sellőhöz, mint valódi vízeséshez. Gyakran hallatszottak olyan hangok, amelyek kétségbe vonták, hogy Schaffhausennél hátráló erózió megy végbe. Ma azonban az a felfogás uralkodik, hogy az ilyen sellők esetében is fellép a hátráló erózió, éppúgy, mint a Niagara-típusú vízesések esetében, csak a kísérő jelenségek nem olyan feltűnők.

Valamennyi vízesés között azonban kétségtelenül Dél-Afrikában a Zambézi Viktoria esései a legsajátosabbak (XXV. tábla). A legnagyobb természeti csodák egyike, nemcsak megragadó, hatalmas és lenyűgöző szépségük, hanem földtani viselkedésüknek rejtélyessége miatt is. A vízesések fölött a folyó kemény bazaltlávból felépült széles (1.8 km) sekély (1 m) mederben hömpölyög tova s azután pokoli dübörgéssel hirtelen zuhan alá 128 m mélységű s csupán 80-90 m szélességű keskeny hasadékba, mely a folyásirányra merőleges repedésrendszer mentén alakult ki. Ebből a hasadékból csak egyetlen út vezet ki, ugyancsak igen keskeny, zeg-zugosan kanyargó szurdok, melyben a folyam vize irtózatossággal viharzik tovább.

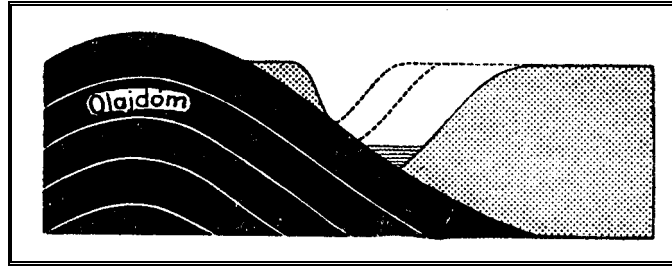
A vízesések hátrálása, a folyók diadalmenete a völgyért folytatott harcban, meredekfalú, keskeny szurdokvölgyek kialakulásához vezet. Külsejükben egyáltalában nem emlékeztetnek a rendes völgyek V alakjára. Még túlhajló sziklatömegek is előfordulhatnak a típusos keskeny szurdokokban, amelyek kisebb méretekben ugyanazt a típust képviselik, mint a Niagara-vízesések. Az ilyen meredek és éles határok azonban ellentmondanak a folytonosságról és egyenletességről alkotott fogalmainknak, s minthogy nagyon múlandóak, mindig nagyfokú fiatalságra utalnak. Így valóban csak a fiatal folyókon, folyamokon találkozunk ezzel a jelenséggel, ott, ahol a folyóvizek csak pár évezred, az utolsó jégtakaró elolvadása óta alakultak ki, ennél fogva a későbbi lehordásnak még nem volt elég ideje arra, hogy a jellemző V alakú völgyeket kialakítsa.

Egyáltalán nem csodálatos, hogy a Vadnyugat száraz területeinek mély és keskeny szurdokjai (XXII. tábla) sokkal meredekebb faluak és jóval gyakoriabbak is, mint a mi nedvesebb éghajlatú, atlantikus vidékeink ugyanolyan korú folyóvölgyei (XXVI. tábla). Ott az éghajlat az oka annak, hogy a víz a völgyoldalakon nem folyik le. Így tehát az éretlen, fiatalos völgyforma hosszabb ideig marad meg ott, mint nálunk, ahol a gyakori erős eső völgyeink V alakját hamarabb kialakítja s így kori megöregedését okozza.

Az amerikai szurdokok szinte természetellenesen éles vonalaikkal olyan folyóvölgyekre is emlékeztethetnek, amelyeket a hátráló vízesések mélyítettek. A valóságban azonban a folyók itt azért tudtak ilyen mélyre bevágódni a régi bevált mód szerint, mert az egész Colorado-fennsík lassacskán vagy lökésszerűen emelkedett s így az erózió mindig fiatal maradt. Azt azonban nem tudjuk, vajjon ez az emelkedés még ma is tart-e. Akárhogy álljon is a dolog, annyi bizonyos, hogy a Colorado-folyó még ma is elég magasan folyik erózióbázisa fölött ahhoz, hogy bevágódását továbbra is kellő hévvel és erővel folytassa.

A völgyformáknak több-kevesebb szaggatottságában tehát világosan kifejezésre jut mind a légköri viszonyok változásainak hatása a folyó által bejárt területen, mind a terület földtani sajátossága és pedig földtani szerkezete, valamint lassú mozgása. Ezeknek a földtani befolyásoknak különösen nagy a szerepe, mert óriási mértékben megélénkíthetik a völgyért folyó harcot. S nemcsak arra szorítkozhatnak, hogy szokatlanul mély V-alakú völgyeket hozzanak létre, hanem az is módjukban van, ha a folyó elé áthághatatlan akadályok tornyosulnak, hogy az egész folyást más irányba tereljék. Legyen elég itt csak a lesikló folyók egyszerű példájára hivatkoznunk. Amikor a folyó bevágódása közben valamely kemény kőzet ferdén települő rétegéig jutott el, nagyon jól és céltudatosan tud alkalmazkodni ehhez a földtani akadályhoz medrének mélyítése folyamán. Ilyenkor továbbra is a kemény kőzet fölé települt lágyabb kőzetet mossa ki s jól érti a módját annak, hogy az előbbinek ferde síkján oldalvást lecsúsztatva, kibújjék természetes kötelezettsége, a kemény kőzet rombolása alól.

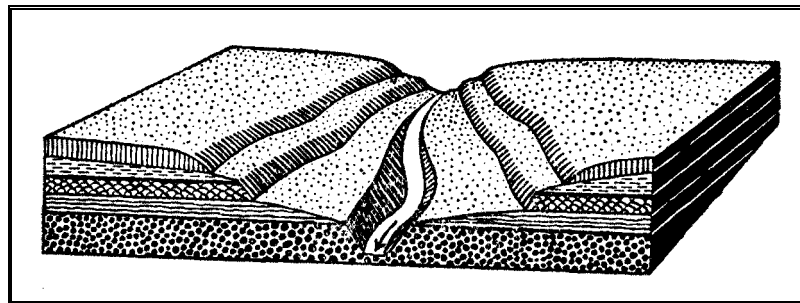
Ilyen áthelyezkedéseket egyébként a fiatal kéregmozgások is okozhatnak. A legújabb időkben ez az olajkutatóban is könnyed és nem remélt alkalmazásra talált. Ismeretes, hogy az olajelőfordulások a földkéreg helyi felboltozódásainak legmagasabb helyeihez vannak kötve. Ilyen ún. dómok képződésekor a folyók hasonló módon csúsznak le a boltozódó rétegeken (31. kép). Viszont az ilyen völgyáthelyezkedések segéd és ellenőrző szerepet játszhatnak olyankor, amikor a geológus oly földtani szerkezeti formát keres, amelyből olaj jelenlétére lehet következtetni.



**31. kép. A dült településű keményebb kőzetekről a folyóvölgy lecsúszik a lágabb kőzetek felé; olajdóm is előidézheti e jelenséget.**

Láttuk, hogy térülnek el a folyómedrek a földkéreg mozgásainak következtében. Vannak azonban olyan esetek is, amidőn a folyók egyáltalában nem zavartatják magukat a földkéreg nyugtalankodásai miatt, medrüket nem változtatják, sőt nagyobb kéregmozdulások után is diadalmasan követik régi folyásukat. Ilyen eset az úgynevezett antecedens völgyekben áll előttünk.

A folyó eróziója és a kontinentális mozgások közötti összefüggésnek meggyőzőbb bizonyítékait szolgáltatják végül a terraszok (32. kép), melyek valamennyi folyó és minden emelkedő partvidék mentén többé-kevésbé világosan követhetők. Ha a folyó felső folyásának területe többször emelkedik, vagy ami ezzel egyre megy, az erózióbázisa többször süllyed, s ezáltal a folyó esése növekszik, akkor a folyónak minden egyes alkalommal be kell vágódnia a saját lerakódásaiba, vagy ha ilyenek nincsenek, meg kell szűkítenie völgyét. Régi, szélesebb völgyének maradványait ilyenkor az új völgy oldalain lapos, eróziós párkányok alakjában látjuk viszont. A folyó korábbi munkájának ezen nyomait nevezi a geológus folyóterraszoknak, szemben a parti terraszokkal, melyekben viszont a tenger tükrének egymásután következő különböző magasságait ismeri fel. Itt a korábbi tengeri erózió különböző állapotai mutatkoznak meg.



**32. kép. Folyóterraszok.**

Az emelkedés többször is megismétlődhetik; ilyenkor több terraszt találunk egymás fölött, melyek a folyóvölgy keresztmetszetének lépcsőzetes képet adnak. Na már most mind a folyó-, mind pedig a tengerparti terraszokra érvényes az a tétel, hogy minél idősebb egy terrasz, annál magasabban fekszik. Új, mélyebben fekvő terrasz kialakulása tehát mindig a felső szakasz emelkedésére vagy az erózióbázis süllyedésére, vagyis a tenger szintváltozásaira utal. A folyó- és tengerparti terraszok közötti összefüggés nem ismerhető fel mindig világosan, azonban sok esetben kétségtelenül kinyomozható.

Ennélfogva találó annak a geológusnak a megállapítása, aki azt mondta, hogy a terraszok az emelkedés chronométere. Minthogy pedig a terraszok sokszor az illető folyó forrásvidéke vízhozamának növekedésével vagy csökkenésével állnak kapcsolatban, néhányuk a fiatalabb földtörténet éghajlati viszonyaira vonatkozólag is felvilágosítással szolgálhat.

## 2. *Hó és jég.*

A kiváló svájci kutató, AGASSIZ, 1834-ben ismerte fel, hogy az Alpések mélyebb, jégmentes völgyeinek görgetegei és egyéb üledékei formájukban és településükben megegyeznek azokkal a morénákkal, amelyek a magasabban fekvő, még jéggel borított völgyekben figyelhetők meg. Ebből arra következtetett, hogy a gleccsereknek valamikor sokkal nagyobb kiterjedésűeknek kellett lenniök, mint ma, s ezzel a meggondolásával tulajdonképpen a mai eljegesedési elméletek alapját vetette meg. Persze, még több mint harminc évnek kellett eltelnie addig, amíg ezt a forradalmi eszmét általánosan elfogadták és belátták, milyen nagyjelentőségű a jég, mint a Föld felszínén működő alakadó és alakváltoztató erő. Az a meggyőződés, hogy a morénák NOÉ özönvizében rakódtak le, végül is helyet adott a mai gondolatmenetnek. Ez azt fejt ki, hogy a jégárak éppúgy közreműködtek a lepusztításban, anyagszállításban és építésben, amint már a víz esetében láttuk. Letaroló hatást fejtettek ki s nemcsak a magas hegység nyugodt glóriájaként csillognak!

A valóságban a jégár eróziója tulajdonképpen csak az áramló víz eróziós munkájának egy különleges megnyilatkozása, amely csak akkor léphet föl, amikor a folyóvíz eróziója bizonyos éghajlati körülmények következtében háttérbe kerül, s megszűnik, mihelyt a légköri befolyások megint a víz korlátlan uralmának kezére játsszák át a vezető szerepet. A víz körforgalmában a cseppfolyós halmazállapotú csapadék, az eső, csak bizonyos magasságon alul lehetséges. Ezen felül már csak szilárd halmazállapotú csapadék van, a hó. A vegyi mállás ebben a magasabb övben átadja helyét a mechanikai mállásnak, főleg a fagy által létrehozott felaprózódásnak. A megfelelő eróziósciklusban az áramló víz szerepét a mozgó jégár, vagy gleccser veszi át, a jégárak és folyók közötti összehasonlítás önmagától adódik, ennél fogva valóban nem hiába beszélünk jégárakról.

Az a választvonal, ahol a cseppfolyós és szilárd halmazállapotú csapadékok éppen egyensúlyban vannak, az örök hó birodalmának alsó határa. Így nyerte a túlszigorúan hangzó hóhatár nevet. A valóságban azt a közepes magasságot jelenti, amelyen felül télen nagyobb mennyiségű hó esik, mint amennyi nyáron elolvadhat. Egyébként azonban a mindennapi életben használatos határ szóhoz vajmi kevés köze van. Különben annyira függ a csapadék mennyiségétől, a napsugárzástól, széliránytól és hőmérséklettől, hogy sohasem esik egybe valamely határozott szirtvonallal. Azonkívül meg sokkal nagyobb napi és hosszabb időre eső ingadozásokat mutat, semhogy valami megváltozhatatlan, biztos határnak tekinthetnők.

Az a tény, hogy a csapadékmennyiség a magasság növekedésével csökken, viszont a párolgás nagyobbodik, arra az elképzelésre vezetett, hogy felső hóhatárnak is kell lennie, amelyen túl már nem volna szilárd csapadék, hanem csak párolgás. Az elpárolgás és csapadék közötti gyanított egyensúlyi határvonal azonban csak elméleti furfang, amelyet eddig még egyetlen egy magas hegységben sem sikerült megismernünk. Valószínűleg még magasabban kell lennie, mint eddig keresték, s így nincs a földtan érdekkörének határai között.

Nagy általánosságban azt mondhatjuk, hogy a hóhatár magassága elsősorban a földrajzi szélességtől függ. Az Alpésekben például 2400 és 3200 méter között váltakozik. Az amerikai Szikláshegységben még csaknem 4000 méteres magasságban is vannak hómentes csúcsok. Alaszkában a hóhatár magassága nagyon ingadozó, 700 és 2200 méter között van, ellenben az Északi Jeges-tengerben fekvő Ferenc József-földön állandóan 50 méter magasságban van a tenger színe fölött.

A hóhatár fölött állandóan finom porhó gyülemlik össze (XXVII., XXXVI. és LI. tábla) s bizonyos körülmények között mennyisége nagyon tekintélyes lehet. Annyi azonban világos, hogyha az évi hógyarapodás nagyobb is, mint a nyári hónapok alatt elolvadt hó mennyisége,

ez a felhalmozódás nem lehet határtalan. Legfeljebb annyi hó gyűlhet össze, amennyi az adott éghajlati körülmények között a hegység meredekségével összefér (XXVIII tábla).

Ennélfogva a hóhatár fogalma szükségszerűen a hó- és jégtömegek mozgásának fogalmához vezet. A természet két lehetőséget nyújt a hónak arra, hogy lekerüljön olyan felületekre, ahol elolvadhat s ismét beleilleszkedhetik a víz rendes körforgalmába. Lezúdulhat ugyanis, mint lavina, romboló, mindent magával söprő erővel (XXIX. tábla), vagy pedig jéggé válhat, s így a nehézségi erő hatására áramlik lefelé a völgybe a sokkal lassúbb jégármozgással (XXXII. tábla).

Földtani szempontból a hógörgetegeknek vagy lavináknak kevés vagy egyáltalában semmi jelentőségük nincs. A rendkívüli sebességgel lezúduló óriási hótömegek létrehozhatnak pusztító légnyomást. De egyébként a kevésbbé veszedelmes porhólatinak, amelyek a legkisebb ellenállás esetében is ártalmatlan száraz porhófelhőkké esnek szét, csak kisebb letaroló hatást fejtenek ki, mint a nyári fenéklavinák. Ezekben többszázezer köbméternyi nedves hó tapad össze, s ez az óriási tömeg az útjába kerülő akadályokat irgalmatlanul elsöpri.

Sokkal nagyobb fontosságúak a jégárak. Működésük összehasonlíthatatlanul hosszabb időre terjed, hatékony tömegük sokkal nagyobb és sokkal ellenállóbb szerkezetű, mint a rövidéletű hógörgetegeké. Az elméleti megfontolások alapján is fontosabbaknak látszanak a jégárak, mert keletkezésük és elterjedésük bepillantást enged a régmúlt idők éghajlati viszonyaiba. S mai pusztításuk élénk eseményei sok képződményt és jelenséget magyaráznak meg nekünk olyan vidékeken, ahol ma a jégnek nyomát sem fedezhetjük már fel. Olyan képződményeket amelyek régmúlt földtörténeti idők közeteiben maradtak ránk, olyan időkből, amikor a jégpáncél sokkal nagyobb területeket borított, mint ma.

Mint köztudomású, azokat a mozgó jégtömegeket nevezzük gleccsernek, amelyek a légkör szilárd halmazállapotú csapadékaiból alakultak ki, s messze lenyúlhatnak a hóhatár alá. Így tehát először az a kérdés merül fel bennünk, hogy milyen módon tapad össze a laza hó a természetben szilárd, kemény jégtömeggé. Téves, ha azt hisszük, hogy a frissen esett hónak a régebbi csapadéokra gyakorolt nyomása elegendő ehhez. A hó és jég egyaránt hatszögletes kristályokból áll. Ezek a kristályok a hóban lazán halmozódtak össze, köztük sok a levegő. A valóságos jégben azonban hézagok nélkül tapadnak egymáshoz és szoros kapcsolatban áll egyik kristály a másikkal, tehát a jeget azzá a színtelen, átlátszó tömeggé teszik, amelyet jól ismerünk. Ahhoz, hogy a hóból jég legyen, az szükséges és elegendő, hogy a kristályok közötti hézagokból a levegő valamilyen módon kiszoruljon. S bármilyen csodálatosan hangzik is, nem elegendő ehhez a súly, a tömegnek a nyomása, habár ennek, mint később a jég mozgásában is, alapvető fontossága van.

A valóságban a hóból a jégbe való fokozatos átmenetben a nyomásnak és a nedvességnek együttesen kell működnie. Az a porhó, amely a hóhatár fölött hull a hegycsúcsokra, finom és száraz, hőmérséklete lényegesen a fagyponthoz alacsonyabb van. Ennek az erősen lehűlt tömegnek a felületén csak nyáron olvad meg kissé a hó. Az olvadákvíz a mélybe szívárog. Ha ott a mélyebb rétegek hidegebb havával találkozik, újra megfagy és néhány jégkristályt összetapaszt. Így szorul ki a levegő egy része a hóból és létrejön az az átmeneti állapot a hó és jég között, amelyet firnhónak nevezünk. Ebben a még ki nem szorult levegő az apró jégzemcsék közötti hézagokban ül. Az újabb hórétegek növekvő nyomása most ugyanilyen módon a firnhavat firnjéggé, majd pedig gleccserjéggé szilárdítja.

Így jön létre a gleccserjég s ezáltal válik érthetővé, legalább részben, a gleccserek földrajzi elterjedése a Föld felszínén. Mint már láttuk, olyan területen kell keletkezniük, ahol télen több hó esik le, mint amennyi nyáron az olvadás, párolgás és a lavinák által eltűnik. Nagy jégárak kialakulásához tehát tekintélyes csapadékmennyiség és alacsony nyári hőmérséklet szükséges.

Tehát a sarki vidékek és magas hegységek, hacsak nem nagyon száraz vidékeken emelkednek, azok a kiváltságos helyek, ahol a jégárak fehér pompája tárul elénk.

A forró égőv alatt a hóhatár olyan magasan van, hogy viszonylagosan kevesebb hegycsúcs emelkedik föléje; így kevés hó hull a hegyekre ahhoz, hogy jelentékenyebb jégárak alakulhassanak ki. Észak-Szibériában pedig, ahol a tél rendkívül szigorú, azért nincsenek jégárak, mert ott nyáron az egész hó elolvad. Grönlandban ellenben a csekély hóhullás is elég ahhoz, hogy az egész területet hatalmas jégpáncél borítsa, mert a magas fennsíkon csak kevés hó megy veszendőbe olvadás által.

Az eljegesedett területek gyűjtőmedencéiben - amint az eddigiek alapján nem is várhatjuk másképen - alulról fölfelé a szilárd gleccserjégtől kezdve a firnen keresztül a laza porhóig minden átmenetet megtalálunk. Mihelyt a hó- és jégtakaró vastagsága bizonyos értéket elért, amely a hőmérséklettől és hegyoldalak meredekségétől függ, megindul lassan a jég a völgy felé.

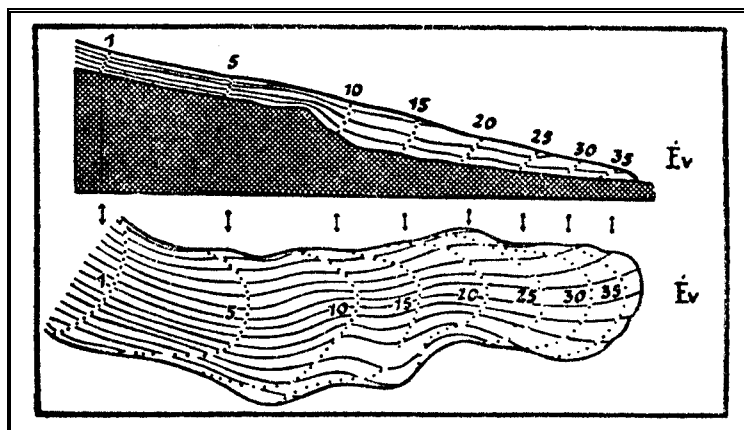
Ez ad alkalmat arra, hogy a firnmezőt megkülönböztessük a tulajdonképeni jégárfelülettől, ámbár a kettő között alig lehet szó éles határról. A jég a firnmezőben is éppúgy mozgásban van, mint magában a jégárban. A megkülönböztetés alapjául legfőljebb azt a tényt vehetjük, hogy a mozgás csak akkor válik megfigyelhetővé, amikor a jég a széles firnmezőből a keskeny jégárvölgybe szorul. (XXXII. és XXXVI. tábla.)

Most felmerül még a jégármozgás kényes kérdése. Első pillantásra úgy látszik, mintha a gyűjtőterületén hullott csapadék súlya a jégárt teljes egészében lefelé nyomná. Ebben az esetben tehát úgy csúsznék lefelé, mint a kő vagy valami gerenda a ferde síkon. A valóságban azonban a dolog másként és korántsem ilyen egyszerűen fest, s még máig sem egészen tisztázott.

Mindenekelőtt a völgy-jégárak emlékeztetnek valami nehezen folyó anyag lassú folyására. S a kísérleti tapasztalat valóban kimutatott bizonyos hasonlóságot a jégárak és folyók folyása, mozgása között. A víz és jég különböző tulajdonságai szerint persze mennyileges különbségek állnak fenn.

Általánosan ismert tény, hogy a folyó vize gyorsabban áramlik a meder közepén, mint a partok közelében. Az ár a folyó felszínén is sebesebb, mint mélyebb részeiben. Ravasz módon sikerült azt is kimutatni, hogy az ilyen differenciált mozgás a jégárnak is egyik jellemző sajátossága.

Egy gleccser teljes szélességében karókat ütöttek be a jégbe, egymás mellé, egyenes sorban. Bizonyos idő múltával meggörbült sorok alakultak ki. A hajlás a völgy irányába mutatott (33. kép). Már ebből is kiviláglik, hogy a jég a gleccser közepén gyorsabban mozog, mint szélein. Különösen szembeűnő ez, még a fennebbi kísérlet nélkül is, ha meggondoljuk, hogy a hajlott, sötétebb színű törmeléksíkok, eredetileg szintén egyenesek voltak, most meg a völgy felé görbülnek (XXXII. tábla). Kitűnt még az is, hogy a mélyebbre bevert cölöpök bizonyos idő elteltével előrehajlottak. Ez a jelenség azt bizonyítja, hogy a jégár felületén gyorsabban mozog, mint alul.



**33. kép. A gleccser jege közepén és a felületen gyorsabban mozog, mint oldalt és a mélyben.**

Folyó jég - ez bizony elég valószínűtlenül hangzik! Különböző elméleteket és feltevéseket állítottak fel, amelyek a jégármozgás mechanizmusát igyekeztek megfejteni és tanulmányozták azokat a különleges körülményeket, amelyek között a merev jég folyadék gyanánt áramolhat tova. Közelebből egyiket sem okolhatjuk meg, éppen ezért egyiket sem emelhetjük itt ki közülük, mint a legvalószínűbbet.

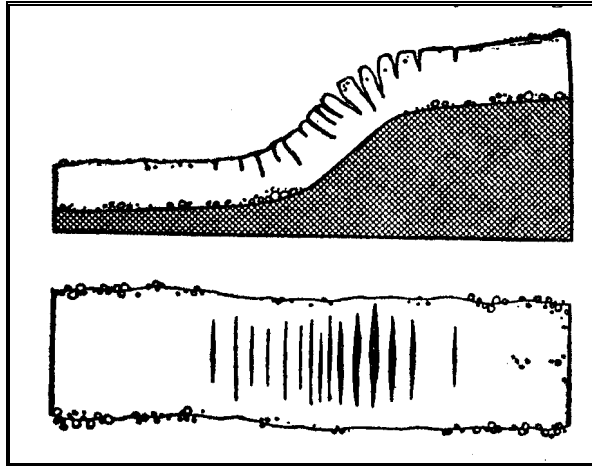
Annyit azonban mégis meg kell említenünk, hogy a legtöbb - ha nem valamennyi - új elmélet szerint a nyomásnak fontos szerepe van. A kísérleti természetben meggyőző laboratóriumi kísérletek segítségével bebizonyította, hogy a jég nagy nyomás alatt valóban képlékeny anyagként viselkedik. A nagy nyomás a jeget széttöri, de egyszersmind fokozza az egyes darabkák mozgékonyaságát azáltal, hogy egy részük a nyomás következtében megolvad. Az így keletkezett olvadékvíz minden hézagot kitölt. Így a jég most már minden új formához alkalmazkodni tud, s kellő lejtés esetén megindulhat lefelé. Ha a nyomás megszűnik, az olvadékvíz újból megfagy, s a jég megint azzá az egynemű merev tömeggé lesz, amely azelőtt volt, hogy a nyomás hatása érvényesülni kezdett. Ez végeredményben nem más, mint a regeláció, az újrafagyás ismert tulajdonsága. Két jégtömböt kellő nyomással könnyen összefagyaszthatunk. Azt is jól tudjuk, hogy mindkét végén megterhelt drót a jégtömbön lassan áthatolhat, anélkül, hogy a jégtömb ketté válnék, mert a két rész a drót mögött nyomban ismét összefagy.

Bármennyire is bonyolódott ugyan a jégármozgás mechanizmusa, annyit mégis biztosnak vehetünk, hogy ennek a mozgásnak a jégárban mindenütt uralkodó nyomás a tulajdonképeni oka, és az újrafagyás, amely nélkül a jégár homokrakás módjára hullana szét. A jégármozgás alkalmával megfigyelhető sok jelenséget ezekkel az okokkal magyarázhatjuk meg. Ahol a jég völgyszűkületen préselődik keresztül, ott a megnagyobbodott nyomás következtében, ugyanúgy, mint a víz, sebesebben halad tova, mint a széles völgyben. Ez már bizonyíték arra, hogy a sebességkülönbségek részben nyomásváltozással magyarázhatók meg. A hóból a jégbe való átmenet is az újrafagyás következménye. Ez felelős egyébként a jégárhasadékok átmeneti jellegéért is, amelyek már kismértékű eltolódás esetében újra bezáródnak és összefagynak.

Nagy szerepük van a hasadékoknak egyébként abban a munkában is, amelyet a jégár, mint földtani szállítóeszköz kifejt. Ezért itt most néhány szóval meg kell még emlékeznünk a „folyóban levő hasadékok” paradox jelenségéről. A jégnek természettől adott sajátossága, hogy áramlani, mozogni kezd, mihelyt elég nagy nyomás éri, és hasad, amikor valami módon kiterül. A völgyfenékhez és a völgyoldalakhoz való kötöttsége miatt egyenlőtlen mozgásra kényszerül. Így módon feszültségek jönnek létre a jégben, s ezeknek következtében bizonyos meghatározott irányokban hasadékok keletkeznek (XXX. tábla). A hasadékok részben bizonyítékát

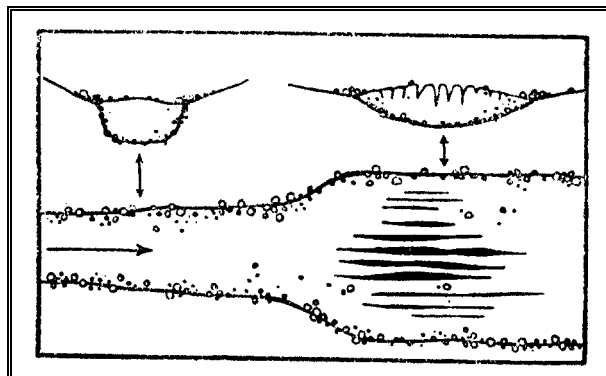
szolgáltatják annak, hogy a jégár belekapaszkodik alzatába, különben a belső súrlódás által keletkező egyenetlen mozgás nem is volna lehetséges.

Klasszikus példának szokták emlegetni a peremi hasadékokat, melyek a jégár szélétől átlósan haladnak a közepe felé. A jég a gleccser közepén gyorsabban áramlik, ellenben az oldalakon lassúbb a mozgása. Így nagyon erős, ferdén előreirányuló feszültségek lépnek fel, ezekre merőlegesen alakulnak ki a peremi hasadékok (XXXII. tábla).



**34. kép. A jégárnak meredek lejtőkön keletkezett haránthasadékai a lankás részeken újra bezárulnak.**

Haránthasadékok meg ott keletkeznek, ahol az altalaj egyenetlen, vagy pedig ahol hirtelen megnövekszik a lejtés (34. kép). Nagyobb völglépcső esetén teljesen széthasadozik a gleccser; ezen részeit jégártörésnek nevezik; jégeseéseknek (XXXIII. tábla) is nevezhetjük, a folyók vízeséseinek hasonlatával élve. Néha a peremi hasadékokkal kombinálódva, ívalakú törések alakulnak ki a jégben. Görbületük ilyenkor felfelé irányul s azt a látszatot keltik, mintha a jég a gleccser szélén gyorsabban mozogna, mint a közepén.

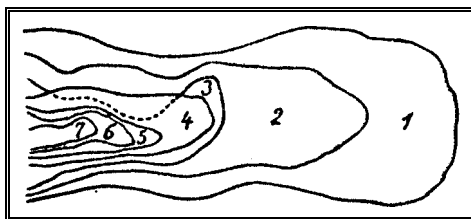


**35. kép. A jégár kiszélesedésekor hosszanti hasadékok keletkeznek.**

Mikor a jégár szélesebb völgybe jut, a belső húzási feszültség túlszárnyalja az oldalról jövő nyomást. Ilyenkor a jég szétterül és hosszanti hasadékok keletkeznek. Ilyeneket különösen a jégárak alsó végződésén lehet nagyobb számban látni (35. kép).

Ha már most a jégár letaroló munkáját meg akarjuk érteni, akkor még ezen általános jellegeken kívül, amelyek csak a jégár mozgására vonatkoztak, foglalkoznunk kell még a különböző eljegesedési formákkal is. Ezek az éghajlati viszonyoktól nagy mértékben függve, a Föld különböző eljegesedett területein tanulmányozhatók.

Az Alpeseekben s számos más magashegységben (Kaukázus, Himalája stb.) a jégárok egész hosszukban meglehetősen keskeny völgyek legmagasabb részeiben mozognak (36. kép). Ezek az alpesi típusú völgyjégárok, amelyeket külön gyűjtőmedencék táplálnak s amelyek mozgása nagy mértékben függ a völgy sajátosságaitól, alakjától és szerkezetétől.



**36. kép. A sarki területeken kívül fekvő legnagyobb jégárok hossza:**  
**Fedchenko-jégár a Trans-Alai hegységben 77 km; Siachen-jégár a Karakoramban 72 km;**  
**1. Inylchek-jégár a Tiensánban 70 km; Hispar-jégár a Karakoramban 61 km; Biafo-jégár a Karakoramban 59<sup>1</sup>/<sub>2</sub> km ; Baltoro-jégár a Karakoramban 58 km; Batura-jégár a Karakoramban 58 km. - 2. Szarafsau-jégár a Tiensánban 50 km. - 3. Az újzélandi Tasman-jégár 29 km. - 4. Aletsch-jégár a Berni Alpeseiben 26.8 km. - 5. White-River-jégár a Sziklás-hegységben 16 km. - 6. Bezingi-jégár a Kaukázusban 14.7 km. - A Pasterze-jégár a Grossglockneren 10.4 km.**

Alaszkában a magas hegységek völgyjégárai a síkságon egyetlen nagy jégtömeggé olvadnak össze. Ezt több gyűjtőmedence táplálja. Ez a megjelenési forma ma már elég ritka és csak a magasabb szélességek alatt fordul elő. Úgy látszik azonban, hogy a földtörténet közelmúlt időszakaiban még sokkal elterjedtebb volt, s főleg Észak-Európában lehetett nagyon gyakori.

Norvég típusú jégárról olyankor beszélünk, amikor sok völgyjégár indul ki különböző irányban egyetlen egy nagy, magas és lapos fennsíkon fekvő jégtakaróból. Ilyenek különösen az északi és déli sarkvidék szigetein fordulnak elő nagy számban, ott, ahol a hóhatár alacsonyan fekszik. E jégárok végződése, szemben az alpesi jégárakkal, az egész völgyet kitöltik s fjorddá alakítják. A Tűzföldön például a jégárok még a tengert is elérik, ellenben a fentemlített jellegű híres norvégiai Svartis jégárt még széles morénasánc választja el a tengertől.

A norvég típusú jégár átmenet az úgynevezett belföldi jéghez, a tulajdonképeni eljegesedéshez, amikor az egész területet óriási kiterjedésű összefüggő jégtakaró borítja. Csak szélein bukkan ki a sziklaalapzat néhány kiemelkedése (csúcsa), szigetecskék módjára a jégóceánból. A grönlandiak nunatakoknak nevezik ezeket. Erre az eljegesedési formára nagyon jellemző mozgásának a módja. Ez a mozgás ugyanis kizárólag a belföldi jég súlyának nyomására jön létre. A jég a domborulatok központosan elhelyezkedő legmagasabb pontjaiból minden irányban lefelé halad, anélkül, hogy a talaj ezúttal bármi befolyást is gyakorolna a mozgásra. Legfeljebb a nunatakok körül és a jégpáncél peremén van befolyása a felszínnek a jégtömeg mozgására.

E típusok áttekintése végeredményben azt mutatja, hogy a továbbiakban elegendő számunkra, ha csak a völgyjégár és a tulajdonképeni belföldi jég közötti különbségekre szorítkozunk. A többiek csak átmenetek e két szélsőség között. A jellemző földtani különbség a kettő között főleg abban nyilvánul meg, hogy a belföldi jég nem szorítkozik a hegyoldalak völgyeire, mint az alpesi jégárok, hanem a hegységek legmagasabb részeire is kiterjed, s egész kontinenseket borít be. Ebből most már szükségszerűen következik, hogy a kétféle jégártípus letaroló működése végül is nagyon különböző eredményre vezet. Mai megjelenésében azonban mégis mind a kettő egyformán fontos. Mert hiszen a földtani módszer alapfogalmai szerint a jelenkori jégárerózió élő eredményeiből kell következtetnünk a régebbi eljegesedésekre és jégkorszakokra, valamint ezeknek Földünk alakváltozásaira gyakorolt hatásaira.

### *A völgyjégár.*

Azokban a magas hegységekben, ahol működő jégárak vannak, a tulajdonképeni jég által okozott letarolást általában csak a hóhatár alatt fekvő, lassan lefelé mozgó jégtömegek munkájára szokták korlátozni. Ettől rendszerint megkülönböztetik a hóhatár fölötti letaroló tevékenységet. Az ugyan tény, hogy ez alakban és eredményben különbözik az előbbitől, azonban a hó és firn jelenlétére ugyanúgy szüksége van, s ugyanolyan joggal érdemli meg a jég letarolása elnevezést.

Dehát maradjunk csak meg itt a szokásos megkülönböztetésnél, már csak azért is, mert a völgyjégár viselkedését legapróbb részletéig tanulmányozták és leírták, ezzel szemben a hó és jég magasabb övezetekben való szerepét illetőleg mindmáig sokat vitatott felfogásokat védelmeznek a kutatók. Néhányan kitartanak még azon meggyőződés mellett, hogy a hó inkább védi itt a kőzetet a mállással és letarolással szemben, ellenben mások éppen ellenkezőleg azt állítják, hogy a hó rendkívül fontos tényező a letarolásban. Ezek annak is a hóban látják az okát, hogy a fiatal magas hegységekben éles és érdes gerincek alakulnak ki.

A folyók és jégárak letarolásának képe a hóhatár alatt nagyon hasonló. De az eróziós munkájukban megnyilvánuló különbségek mégis elegendők ahhoz, hogy a letarolt vidéken minden időben világosan megkülönböztethessük a jéginvázio nyomait a régebbi - és talán még ma is működő - vízi uralom nyomaitól.

A két földtani erőnek, a jégárnak és folyónak általános összehasonlítása a következőkre tanít bennünket. A folyó munkájának hármass szerepe: lehordás, szállítás, lerakás, elsősorban az áramló víz sebességétől függ. A jégár sebessége azonban, amellyel a jég mozog, csak közvetve, a hasadékok kialakulása révén hat némileg a jég okozta letarolás erősségére. A jégár munkája első sorban a jégtömeg mennyiségétől függ. A jégtömeg a jégár völgyi vége felé látszólag fokozatosan csökken. A valóságban azonban, éppúgy, mint a folyók sebessége, a jég tömege is a völgy minden egyes keresztmetszetében más és más. Éppen ez teszi lehetővé, hogy a jégár völgyének egyik-másik szakaszában erősebb fokú letaroló munkát fejthessen ki, mint a többiben, éppúgy, mint a folyó.

A folyó nagyobb sebessége az áramló víz bevágó munkáját nagy mértékben elősegíti. Ezzel magyarázhatjuk a folyóvölgyek jellegzetes V alakját. Így aztán minden további nélkül beláthatjuk, hogy a gleccsernek, melynek, mint láttuk, a sebessége kicsiny s amelynél a vastagságnak sem jut nagyon hatályos szerep, nem lehet meg az a bevágódási képessége, amellyel a hegyi patak későbbi völgyét ki tudja alakítani. S valóban azt látjuk, hogy a jégárak nem tudnak új völgyeket bevágni. Csak a meglevő folyóvölgyek V alakját másítják meg, olymódon, hogy a völgy a jégárakra nagyon jellemző U formát veszi fel (XXXI. tábla).

Az áramló víz romboló ereje a vízgyűjtő terület magasabb részeiből származó törmelék mechanikai segítségével jelentékenyen megnövekedhetik. Sőt a jégár számára, az erózió szempontjából, a szállított törmelék közreműködése egyenesen lét vagy nemlét kérdése. Ha a jégár tisztán jégből állana, nem tudna letarolni, lerombolni, sem pedig tekintélyes törmelék-mennyiséget újra felhalmozni. Azonban a jégár testébe különböző módon állandóan belejutnak közettöredékek. Ezeket a jég, ha már egyszer hatalmába kerítette őket, nagyon célszerű eszközként tudja felhasználni a hegység rombolásában. Romboló fagy mállasztja a hegy-csúcsokat; így jut állandóan törmelék a firnmezőre és magára a jégárra is. A törmelék a jégár hátán marad s a gleccser, mint felszíni morénát szállítja a völgy felé. Megtörténik az is, hogy a törmelék a számtalan hasadékon keresztül, amelyek éppen ezért földtani szempontból jelentőséget nyernek, a jégár belsejébe kerül, s így mint belső moréna szállítatik ugyanúgy az olvadás helyére, mint ahogy a felszíni moréna esetében láttuk. Ha a hasadékok még mélyebbre

nyúlnak, a törmelék egészen a völgyfenéig juthat. Itt a jégár aljához fagynak hozzá. Ezeket mint fenékmorénát szállítja tova a mozgó jégár.

A fenékmoréna terjedelmét maga a jégár is állandóan növeli: a lassan mozgó jég a völgy falából és fenekéből a már más okok következtében hasadozott és repedezett szilárd kőzetből darabokat tördel le.

A törmelékdarabok nagysága nagyon különböző. Ismerünk óriási vándorköveket; ezek sok helyen mint tiszteletreméltó régiségek ősidőktől kezdve a környék lakosságának megbecsülését élvezik, az emberek büszkéek rájuk. De van finom por is, ez meg a jégár olvadásából keletkező patak vizét teszi tejszerűen zavarossá. Ezzel a jégbefagyott törmelékkel kaparja és súrolja állandóan a jégár völgyének falait és fenekét. Munkája hasonlít a kőfaragó reszelő-jéhez, mellyel az érdes mészkőből tükörsima márványlapot csiszol. Az erózióknak ezt a véső, vájó munkáját a jégár exarációjának nevezzük. Ez a meder szilárd kőzetét elegyengeti és simára csiszolja. S a kőzettöredékek, amelyek a jég rettentő nagy súlya alatt mozognak tova a meder felszínén, végigbarázdálják vagy összekarcolják a mederközetet, aszerint, hogy a törmeléktuskók milyen nagyok. Az ily módon keletkezett s a jégár mozgásának irányában párhuzamosan haladó jégárkarcolások a sziklameder fenekén néha nagy távolságra követhetők. Ha valamely területen a jég elolvadása után megtaláljuk ezeket a nyomokat, meghatározhatjuk belőlük a jégár mozgásának irányát az eljegesedés fénykorában (XXXIII. tábla).

Már a folyóknál láttuk, hogy maga a koptató anyag is kopik. A mozgó jégtömeg nagy nyomása egy részét felaprózza, összemorzsolja, és végül homokos-agyagos pép keletkezik. Ebben szabálytalanul szétszórva találjuk a jégárkavicsokat. Az alapmorénának ezek a szabadon álló darabjai nem olyan mozgékonyak, mint a folyóvízben levő görgetegek. Így tehát nem is gömbölyödnek le olyan egyenletesen, hanem ehelyett laposra csiszolódnak és a meder felületén való horzsolás következtében csiszolódnak, de össze is karcolódnak. Ebben az esetben a jégárkarcolások természetesen korántsem lesznek olyan egyenletesek, mint aminők a szilárd sziklafenéken. Mert nagyon könnyen lehetséges, hogy a jégbe ágyazott kődarab helyzetét többször is változtatja a hosszú szállítási idő alatt. Ennek következtében más-más irányban csiszolódik és karcolódik. A földtörténeti multból származó kőzetekben az ilyen összekarcolt jégárkavicsok jelenléte világosan bizonyítja, hogy az illető kőzet létrejöttét a jégnek köszöni. A gleccserkavicsok jelenléte már sok esetben volt a legfontosabb támaszpont bizonyos földtörténeti korok eljegesedésének rekonstruálására.

A jégár romboló működésében az alapmorénának sokkal nagyobb szerepe van, mint a többinek. Vele szemben a felszíni moréna földtani jelentősége sokkal kisebb. Ezek alapján azután világos bepillantást nyerünk abba a módszerbe, ahogyan a jégár a hegység eróziós törmelékét oladási területére szállítja s a vízi erózióknak átadja. A jég szállítása sokkal egyenletesebben és fokozatosabban megy végbe, mint a folyóé. Hiszen a folyóban a görgeteg gyakran lesüllyed a fenékre és csak bizonyos idő múlva szállítja a víz ismét tovább. A jégár ezzel szemben útközben nagyon kevés üledéket rak le. A jég a törmeléket mint összefüggő egészet szállítja tova, s csak akkor rakhatja le, amikor olvadni kezd, tehát mint szállítóeszköz megszűnik.

A völgyoldalokról aláhulló kődarabok a jégár szélén gyűlnek össze. Az éles és érdes tömbök itt nagy halmokat képeznek. Ezeket nem súrolja a jég úgy, mint az alapmorénát. Ezek egyszerűen a légkör hatására mállanak el, anélkül, hogy legömbölyödnének, lecsiszolódnának vagy összekarcolódnának. Oldalmorénának nevezzük őket. Rendszerint megtalálhatók a firnmezőtől kezdve egészen az oladás vidékéig. Minthogy állandóan újabb törmelék kerül hozzájuk, annál magasabbak lesznek, minél inkább közeledünk a jégár végéhez.

Első pillantásra nagyon rejtélyeseknek tűnnek a középmorénák. Miként nevük is mutatja, ezek a jégárak közepén foglalnak helyet s ez a helyzetük első pillantásra valóban teljesen érthetetlen. A valóságban azonban nem ilyen rejtélyesek, mert úgy keletkeztek, hogy a hegységek magasabb részeiben két jégár egyesült s oldalmorénák összeolvadtak (XXXII. tábla). Ahol lent a jégárvölgyben az oldalmorénák között sok ilyen középső moréna van, ott megmondhatjuk ezek alapján, hogy a fővölgyben hány mellékjégár egyesült.

Ha a jég elolvad, a morénák összegyülemlekednek. Törmelékük a jégár homlokzatán rétegesség és minden más törvényszerűség nélkül halmozódik össze. Ez a nagyon is különmű tömeg kapta a végmoréna nevet. A magas hegység sok kőzetének eróziós terméke található meg benne, de csak kis számban fordulnak elő olyan görgetegek, amelyeken világosan felismerhetnénk annak a jellemző bélyegeit, hogy az illető kőzetdarabok hosszabb ideig mint az alapmoréna alkotórésze voltak a jégben. Eredeti összetételében a végmorénának csak rövid élet jut osztályrészül. A finom port és homokot, az úgynevezett jégárlisztet, az olvadó víz hamarosan kimossa és mint jégártejet a folyókba szállítja, ellenben a durvább és nehezebb törmelék az elolvadó jégárnyelv körül, mint morénasánc marad hátra (XXIV. tábla).

A végmoréna alakja, nagysága és terjedelme elsősorban a jégár jellegétől és, hogy úgy mondjuk, vérmérsékletétől függ. Ha a jégár viselkedésében meggondolt és egyenletes, tehát mindig ugyanazon alsó határig nyomul előre s ugyanazon magasságig olvad el, akkor a jégár állandó homloka előtt nagy moréna halmozódik fel igen magasra. Ha azonban ifjúkori hevedesség szállja meg a jégárat, akkor nem sokat törődik a régi határokkal. Ilyenkor átmegy a már régebben lerakott anyag fölött is, esetleg ennek egy részét maga előtt tolja, azután valahol mélyebben újabb sáncot épít fel. Ha pedig a jégár lassan visszahúzódik, akkor a közettörmelék lapos végmorénában terül szét. Minden egyes alkalommal kialakul ilyen ívalakú sánc, ha a jégár visszahúzódása hosszabb ideig szünetel, ennél fogva az ilyen sáncok valóságos mérőföldkövek, melyek a jégár visszahúzódásának útját jelzik.

A jégár hátrálása még korántsem jelenti azt, hogy a jég visszafelé mozog. Ez csak annak a jele, hogy a hóesés a jégár tápláló területén csökkent, tehát a jégár nem nyomulhat előre régi határáig. Az adott körülmények között előbb olvad el, mielőtt régi olvadási területét elérte volna. A visszahúzódás tehát tulajdonképpen csak annyit jelent, hogy a jégár rövidebb lett.

A jégár hosszának ingadozásai - ezt bizonyos fenntartással a folyóerózió megifjodásával vagy öregeedésével hasonlíthatjuk össze - korántsem a mozgó jég szeszélyes önkényességétől függenek. Úgy látszik, hogy szabályos időszakosságukat a világegyetemből ható, tehát külső (kozmosz) okok szabályozzák. Természetesen vannak kisebb évi ingadozások is. De ezen kívül határozottabb párhuzamosság is megállapítható a szárazabb és nedvesebb időszakok váltakozásával. Minthogy pedig nagy általánosságban a Földnek valamennyi jégárja ugyanabban az időben húzódik vissza és nyomul előre, mindenképpen arra a következtetésre kényszerülünk, hogy ennek a glaciális egyidejűségnek a hajtó rugója valahol Földünk határain messze kívül esik. Jelenleg a jég általános visszahúzódását tapasztaljuk. Az egyetlen dolog, amely más szempontból is annyira nyugtalan századunkat jellemzi, az a tény, hogy az Alpesek jégárai az elméletileg kiszámított 35 éves időszagnál hosszabb ideig vannak visszahúzódóban.

Az olvadási területen a jéggel együtt a jég letaroló képessége, a glaciális erózió is meghal. Ha a jég olvadni kezd, a víz vagy a jégár hátán folyik le, vagy pedig a hasadékokon keresztül a mélybe zuhan, ott jégárpatakká (XXXIV. tábla) egyesül és a jégár homlokán, a gleccserkapun vagy gleccserszájon keresztül jut megint napvilágra. Itt azon igyekszik, hogy a lerakott morénát elpusztítsa. Ez már a jól ismert folyó-erózió. Ennek hatalmába kerülve, a jégműködés nyomait viselő sok kavics lassanként elveszti a karcolások nyomait, a folyók mint közönséges görgetegek elszállítják és tovább görgetik.

Ha valakinek az a feladata, hogy az eljegesedéseket rekonstruálja, már csak a jellegzetes glaciális vidékből indulhat ki. A jellegzetes U alakon, a széles völgyfenéken és meredek oldalakon kívül, amelyek még akkor is felismerhetők, ha a folyók később bizonyos mértékig megint fel is töltötték a völgyet, még számos olyan bélyeg ismeretes, amelyek alapján ráismerhetünk arra, hogy a völgyet jégár alakította ki (XXXV. tábla). Az ilyen völgyet mindig megkülönböztethetjük a folyók által kimunkált völgytől. Az elolvadt jégár völgyében, annak alakjában és szerkezetében, mindig felismerhető a lassan mozgó jégtömeg goromba kegyetlensége. A folyóvölgyben viszont mindig visszatükröződik az áramló víz játszi könnyedsége.

A jégár semmi akadály elől nem tér ki. Vagy átsiklik fölötte, vagy részben eltolja útjából. Völgye rendszerint nagy távolságra halad egyenesen. Ahol pedig a völgyfenéken valami kiemelkedés volt, ott az a jég eltűnése után lecsiszolt, enyhén legömbölyített sziklák, úgynevezett púpos vagy vásott sziklák alakjában áll előttünk. A folyó ellenben csodálatos mozgékonyásával meg akarja kerülni az akadályokat, ha első támadásával nem sikerül ezeket útjából eltávolítania. A folyónak sok kanyarulata nem egyéb, mint a letarolandó kőzettel való megalkuvás. Csak ha nem térhet ki az akadály elől, vagy pedig ez a kitérés nagyobb fáradságot venne igénybe, mint az akadály legyőzése, akkor állítja félre útjából a folyó a kőzetet, még pedig úgy, hogy élesen és gyorsan belévágódik.

A folyó ábrándozó! Ragyogni akar: elbizakodottan tör az egyensúly és összhang eszményképe felé, de ezt soha el nem éri. Ha a térszín lejtése megkönnyíti az áramló víz útját a völgyben, akkor keres magának a víz más nehézségeket, és hatásos vízeséseket hoz létre. Ezek megint elegyengetik a folyó esését, míg végül az érett folyóvölgy egyöntetű, kiegyensúlyozott keresztmetszet felé közeledik, itt aztán már nincs helye a vízeséseknek. A jégár azonban hétköznapi nyugalommal fogad el mindent, ami útját megkönnyébbíti. Mint tunya tömeg egyszerűen leejti magát mederközetének lépcsőzetes szakaszain. És csak lassú regeneráció után kezdi esetleg ereje teljes tudatában újra ledörzsölni a medrét. A hajdani jégárvölgy ezért nem olyan egyöntetű, mint az érett folyóvölgy. Az ilyen völgyet számos vízesés szakítja meg s ezek csak akkor tűnnek el, ha a jégár völgyét a folyó veszi birtokba és hátráló, Niagara-szerű munkával eltünteti a jégár furcsa viselkedésének nyomait.

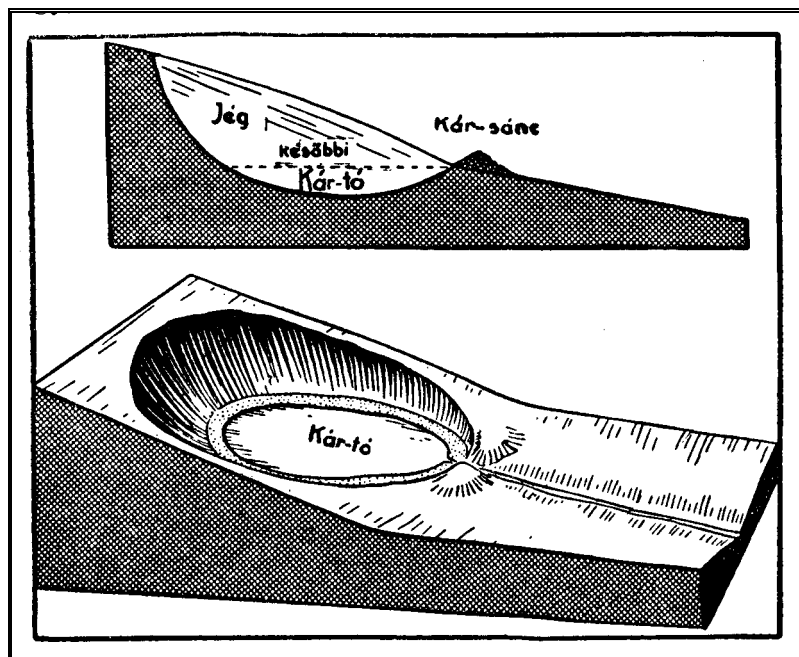
Beszédes tanui ennek az úgynevezett függő völgyek. Ezek is jellemzők a jégáraktól legyalult vidékekre. Ha egy folyórendszer zavartalanul és szabályszerűen fejlődik, akkor egész lehordó munkásságát az áramló víz sebessége szabja meg. A mellékpataknak völgye mélyítésében - hiszen ez is hozzátartozik a sebességszabályozó tevékenységéhez - lépést kell tartania a fővölgy kialakulásával. Így mindig a völgyfenék magasságában nyílik a fővölgybe. A jéggel borított vidéken ez a törvényszerűség legtöbbször nem érvényesül. A jégár okozta letarolásban a jégár vastagsága a hatóerő. Ha két jégár összefolyik, akkor a csatlakozást, valamint a mozgás irányát, a mozgó jég felső felületének lejtése szabja meg (XXXII. tábla). Innen kezdve a fővölgynek már nagyobb mértékben kell kisúrolódnia, mint a kevésbbé tekintélyes mellékjégár völgyének. Ha később a jég elolvad, a mellékvölgy gyakran 10 méter vagy még sokkal nagyobb magasságban is a hajdani főjégár völgye felett függ. Ilyenkor csak valami elegyengető vízesés sokat ígérő társasága nyújthat reményt ebben a lebegő állapotban.

A folyóvíz letaroló munkájával szemben még a következőkben van különbség. Ha a jégár a tengerig eljut, akkor völgyét még a tenger színe alatt is bevághatja. Ezzel a folyamattal próbálták megmagyarázni a fjordok (XLVI. tábla) keletkezését. Később a tenger színe emelkedett; szokatlan mélységének ez a körülmény azonban csak gyarapítója, de nem előidézője volt.

A hó és jég nem szorítkozik hatásában csak a hóhatár alatti völgyjégár romboló munkájára. A magasabb területeken is részt vesznek a hegység kialakításában és végül elpusztításában. Régebben csak a fagy mállasztó hatását tették felelőssé a magas hegység éles és érdes formáinak kialakításáért. A kisebb és mozdulatlan hőtömegek tevékenységét nagyon lebecsülték. A függő jégáraknak (XXXVI. tábla) - több hegységben, pl. a Pireneusokban, ezek az eljegesedés egyedüli képviselői - ugyanolyan viselkedést tulajdonítottak, mint a hóhatár alatti völgyjégáraknak, csak éppen kisebb mértékben. Azok a kis, jelentéktelen hófoltocskák, amelyek a magas hegység meredek oldalain itt-ott összegyűltek, a régebbi felfogás szerint csak a tavalyi hó szerény maradványai, melyeknek bőven elég gondot okoz, hogyan húzzák ki a nyarat. Földtani fontosságot nem tulajdonítottak nekik. Később azonban mégis kiderült, hogy ezek a kőzetet aláaknázzák és nagy mértékben elősegítik a kőzet mállását, sőt talán legfontosabb okai a fiatal magas hegységek éles eróziós alakjainak.

Bármily kicsinyek és jelentéktelenek is ezek a hófoltocskák, mégis hatalmas erő lakozik bennük. Áthúzták a nyarat, ennél fogva most már örökkévalók. Meleg nyári napokon széleiken leolvadnak. Az olvadékvíz átítatja és telíti a hó alatt levő kőzetet; éjszaka pedig, amikor megfagy, széthasogatja, szétfeszíti. És a csekély mennyiségben lefolyó olvadékvíz gondoskodik arról is, hogy a kőzettörmelék - bár ugyan nagyon lassan - elszállíttassék. Erőteltjes nyári mállás és lassú szállítás ez a kettős folyamat évről-évre mélyíti és szélesíti a barátságos kis sziklafülkét, ahol a hó most már örök időkre berendezkedett. Végül alul nyitott amfiteátrum vagy cirkusz lesz belőle, amelyből elegendő mennyiségű hó esetében, kisebb függő jégárak, sőt nagyobb eljegesedések idején hatalmas völgyjégárak indulhatnak ki. S valóban, a glaciális vidékeken gyakran látjuk azt a feltűnő jelenséget, hogy azok a völgyek, amelyekben működő jégár volt vagy van, még ma sem formálódtak ki teljes hosszukban U-alakú teknővölgyekké, hanem fölfelé szélesebb, hátul meredek, csaknem függőleges falakkal elzárt köralakú völgyekbe mennek át. Az ilyen völgyeket kár-fülkéknek nevezik. (37. kép.) A meredek fal az állandó mállás és aláásás miatt folytonosan hátrál, tehát a hegység lassacskán - éppen úgy, mint a hátráló erózió esetében - fokozatosan morzsolódik. Ahol az eljegesedett magas hegység ellenkező oldalain sok ilyen amfiteátrum van egymás mellett kár-öv alakjában és ezek fokozatosan növekszenek egymás felé, ott az elválasztó magaslat éles, meredek gerinccé lesz. A folyamat lassú előhaladásával ez is áttöretik. Az ilyen glaciális áttörés következtében a gerincben levágások, úgynevezett csorbák jönnek létre, amelyek hágókul szolgálhatnak. Egyébként azt is beszélik, hogy már HANNIBÁL, a híres hadvezér is tudta, hogyan jönnek létre az ilyen hágók, vagy hogyan szélesíthetők ki -, ha a tulsó oldalukon termékeny síkságok csalogatták ellenállhatatlanul. A történelem azt írja, hogy az útját elzáró sziklatuskókat fölmelegíttette, majd meg vízzel öntette le, hogy azok széteszenek, s útját szabaddá tegyék.

Most még a gúlaalakú hegycsúcsokat kell megemlítenünk (XXXVIII. tábla). Ezek három- vagy négyoldalú piramisok; jellegzetes formái a kár-eróziónak. Egymáshoz fölöttébb hasonlóak! Példa erre a Matterhorn és a kanadai Assiniboine. Akkor keletkeznek, ha három vagy négy amfiteátrum egy középpont körül erodál és azonos magasságban egymás felé nő.



**37. kép. Kár-gleccser szelvénye és a kár-gleccser által kimélyített kár-fülkében létrejött kár-tó vázlatos távlati képe.**

Azonban semmi sem örökkévaló! A születés és halál ritmikus változásaiban a jeges dicsfény lassacskán vége felé közeledik. Alig észrevehető éghajlati változások következtében csökken a hóesés és ezzel a jégár mozgató ereje is. Ezek meggyorsítják a halált, a vigasztalan elolvadást. A völgyjégár visszahúzódik a kár-fülkébe, amelyből valamikor fiatal ereje tudatában előnyomult. A folyó megint birtokba veszi régi, közben idegenné vált völgyét. S amilyen mulandó a hó és a jég, ugyanúgy mulandók az általuk szívós makacssággal létrehozott formák is - hegycsúcsok, gerincek és bércek. Létük érdes, dacos szépsége visszatükrözi közelgő elmúlásuk tragédiáját!

### *A belföldi jég és a jégkorszakok.*

Sok kérdés merül fel, hogyha a földtörténeti mult régebbi jégkorszakait földtanilag akarjuk rekonstruálni. Ha válaszolni akarunk ezekre a kérdésekre, elsősorban abból a néhány tényből kell a geológusnak kiindulnia, amelyeket a még meglévő jégpáncélok ma is elárulnak. A mintaszerű példa ilyenkor rendszerint Grönland szokott lenni, ahol még korunkban is valóságos jégkorszak van (XXX. tábla). Nem egészen értem, hogy a tudományos érdeklődést miért keltette fel csak olyan kis mértékben a 14 millió négyszögkilométer kiterjedésű délsarki belföldi jég, holott a hétszerte kisebb Grönland már régen a tudományos érdeklődés központjában áll. Ma már aligha fogadhatjuk el kifogásként, hogy nehezen érhető el vagy nehezen szelhető át. Hiszen WEGENER második grönlandi útja óta (1912) aligha kételkedhetünk abban, hogy az emberi akaraterőnek és emberi ellenállóképességnek egyáltalában nincs határa.

A regényes hajlamú avatatlanok minden sarkkutatásban csak a hosszú sarki éjszakák csábító titkát látják, a mindennapi élet józan lelkei meg csodálkozással kérlik, mi keresni valója van az embernek ezeken a beláthatatlan nagyságú területeken, ahol csak jég van és semmi más. A Sarkok varázsát meghagyom az ábrándozóknak, de a meg nem értő józanság kishitűsége ellen harcba szálllok. A földtantól eltekintve sok más ezer kérdés is kielégítő válaszra vár itt.

Így például szélteben elterjedt felfogás volt, sőt sokan még ma is vallják, hogy a belföldi jég az élet minden megnyilvánulása lehetetlen. A kanadai Sziklás hegységben, a Brazeu-jégár egy magányos nunatakján mohokat és virágos növényeket, sőt - minden szobatudós-tapasztalat ellenére - legyeket is találtak. Ennek érthető felháborodás volt a következménye a szakértők között, mert hiszen most meg kellett magyarázniok e növények és állatok eredetét ezen a pusztán vidéken, valamint azt is, miképpen tudtak ezek az ottani nehéz életkörülményekhez alkalmazkodni. Azóta már az élettől foglalkozó tudományok is élénken érdeklődnek a sarki kutatások eredményei iránt. S mennyivel inkább kell a földtannak érdeklődnie eziránt, amikor ennek a tudománynak a még szinte ismeretlen másból kell a csak töredékesen fennmaradt tegnapot élénk varázsolnia.

A tulajdonképeni belföldi jég mozgása még nagyon kevésbé ismeretes. WEGENER a grönlandi fennsík különböző pontjain visszhangvizsgáló készülékekkel több mint 2 kilométeres jégvastagságot is mért. Azonban ennek az irtózatosságtól belső mozgásáról mit sem tudunk. Úgy látszik jogos az a feltevés, hogy a belföldi jég nagyrésze mozdulatlan és mozgásban levő nyulványait nemcsak a hatalmas jégköpeny legfelső rétegei táplálják, hanem a száraz hóból álló felhők is, amelyeket a szelek a szárazulat belseje felől állandóan maguk előtt hajtának. Az említett nyulványok, a peremi jégárok azonban sokkal gyorsabban mozognak, mint az alpesi völgyjégárok. A hatalmas grönlandi jégtakaró peremének néhány jégára naponta 20 métert is halad. Ezzel szemben az alpesi nagy jégárok csak fáradtságosan csúszni látszanak, hiszen a legnagyobb sebesség, amelyet alpesi jégárokban mértek, mindössze 180 méter egy évben. Ez a csigalassúság meghatározható számításokra adott alkalmat: az a hópehely, amely COLUMBUS idejében esett valamely alpesi kár-fülke területére, körülbelül ma olvad el a jégár végén!

A belföldi jég hatalmas tömegei alapján fel kell tételeznünk, hogy a tőle eltakart területen a jég rombolása kétségkívül óriási méretű. Minthogy azonban csak néhány nunatak emelkedik a jégtakaró fölé, azért ennek a letaroló működésnek szükségszerűen nagyon egyhangú abrázírozó folyamatra kell korlátozódnia. Itt hiányzanak a hegygerincek, károk könnyed vonalai, amelyeket eljegesedett magas hegységben a kár-erózió létesített. Hogy tulajdonképen mi történik itt, arról csak a peremi területeken kapunk világosabb képet, ahol a belföldi jég lassacskán vékonyabbá válik. Ha a jég alkalmi visszahúzódása következtében az alapszint láthatóvá válik, ugyanolyan csiszolási és karcoslati nyomokat találunk itt, mint az alpesi jégárok által kialakított völgyek fenekének közetein.

A meglévő jégtömegek vajmi kevésbé engednek meg, hogy megismerjük az óriási mennyiségű törmelékanyagot elszállító folyamatokat. A magányos nunatakok lábai körül fölhalmozódott jelentéktelen kis kőszáncokon kívül egyetlenegy morénát sem találunk a belföldi jég felületén. Az alapmoréna csak akkor válik elengedőképpen hozzáférhetővé, ha a jég már eltűnt. A letöredezett közettörmelék legnagyobb részét a jég valószínűleg csak nagyon rövid távolságra szállítja tova. Régebbi jégkorszakokból azonban ismerünk vándorköveket. Ezek tanulmányozása arra az eredményre vezetett, hogy e kövek sokszáz kilométert tettek meg attól a helytől, ahol ugyanilyen összetételű kőzet van, vagyis ahonnan ezek elszakadtak.

A jégárcsuszolásokon végzett ezer és ezer mérés alapján megállapíthatjuk azt az irányt, amelyben a jég az általános eljegesedés idején mozgott, tehát azt az irányt, amelyben a vándorkövek anyakőzetét keresnünk kell. A vándorköveket a hajdani jégárok olyan vidékekre szállították, amelybe idegenszerű megjelenésükkel és összetételükkel sehogy sem illenek bele. Ha nem ismernénk a letaroló jég munkáját, akkor Hollandia és Észak-Németország talajának minden gránittuskója földtani képtelenség lenne számunkra.

A jégárkarcolások méricskélése sok ember szemében értelmetlennek látszhatik; de mindjárt fontosabbnak látszanak, ha a karcolások értékes termékekhez vezető utat mutatnak. Finnország keleti részében például sok más vándorkő között tiszta rézércből álló összekarcolt tömböt is találtak. Az ennek alapján megindult kutatások, amelyek a jégárkarcolások nyomán észak felé vezettek, ragyogó eredménnyel végződtek: 1910-ben Finnország legnagyobb rézbányáját fedezték és tárták fel. Ez a hatalmas eredmény még az amerikaiakat is felbátorította. Wisconsin államban jég eredetű üledékekben gyémántot találtak. Mindmáig nem sikerült azonban kikutatni, hogy a jég milyen kőzetekből szabadította ki ezeket a gyémántokat. Mindenesetre jogosnak látszik az a föltevés, hogy ez a becses gyémántforrás valahol Kanada közepén rejtőzik.

Az építőmunka szempontjából a belföldi jég sem viselkedik másképen, mint a magas hegység völgyjégára. A jégtakaró szélén végmoréna rakódik le, s ha a jég végül elolvad, a fenékmoréna lapos törmelék réteg alakjában nagy területen szétszórva válik láthatóvá. Mindkettő egyaránt fontos. A fenékmoréna alakját és összetételét nagyrészt az a vidék határozza meg, ahonnan anyaga származik. Ha az alap kemény kőzetekből állott, akkor a vékony fenékmorénában sok kavicsot találunk. Ha azonban az alap, mint például Németországban is, puhább volt, tehát a jégár könnyebben dolgozhatta fel, akkor a keményebb területekről származó kavicsok jóval ritkábban jelentkeznek. A fenékmorénán csodálatosan változatos helyi torlódási jelenségeket figyelhetünk meg.

A rombolás és a szállítás egyenlőtlenül megy végbe, éppen ezért a folyamat harmadik tagja, a felépítés is nagyon egyenlőtlen. Ennek következtében a fenékmoréna felszíne nagyon szabálytalan. Ahol a jég sok törmelékot vett fel, ott ez a törmelék a jég elolvadása után a vidék kis halmocskáiban jelenik meg újra. Ahol a jégármeder egyenetlenségeit a jégár munkája legyalulta és csiszolta, ott, ezeket a belföldi jég visszahúzódása után legömbölyítet kiemelkedések formájában látjuk viszont. A hullámosan váltakozó kiemelkedések és bemélyedések, nagyon jellemzők az ilyen régebbi eljegesedett területekre és rendszerint nagy számban lépnek fel. A köztük lévő különbségeket mindmáig nem sikerült megmagyarázni. Néha valóban nagyon nehezen lehet megmagyarázni, miképpen keletkeztek. Vajon a jég közvetlen letaroló munkája vagy a szabálytalan lerakódás vagy pedig meghatározott irányokban lefolyni kényszerült olvadékvizek munkája által jöttek-e létre? Ugyanez a szabálytalanság jellemző a végmorénára is. A végmoréna ugyanis csak ritkán veszi körül összefüggő sánc alakjában a jégtakaró egész homlokai részét. Az elolvadó jég többnyire csak egyes dombhátaból álló megszakított sort rakott le. Azután meg a lezúduló olvadékvíz is több helyen áttörte ezeket a halmokat.

Az olvadékvíz itt is fontos átmeneti szerepet játszik a tiszta jég- és folyóvíz által okozott letarolás között. Letarolja a belföldi jég lerakódásait. Átveszi a morénák törmelékanyagát, azután a jég alatt hosszú völgycsíkok alakjában megint lerakja. Ezek a jég elolvadása után, mint irányított hátaak tűnnek elő. Megtörténhetik az is, hogy az olvadékvíz szétteríti a törmelékot az eltűnő jégtakaró régi határain kívül is és ilyenkor homokból és murvából álló törmelékmező keletkezik. A közönséges folyami lerakódásokkal szemben az enyhe lejtéssel kimosott végmorénába megy át.

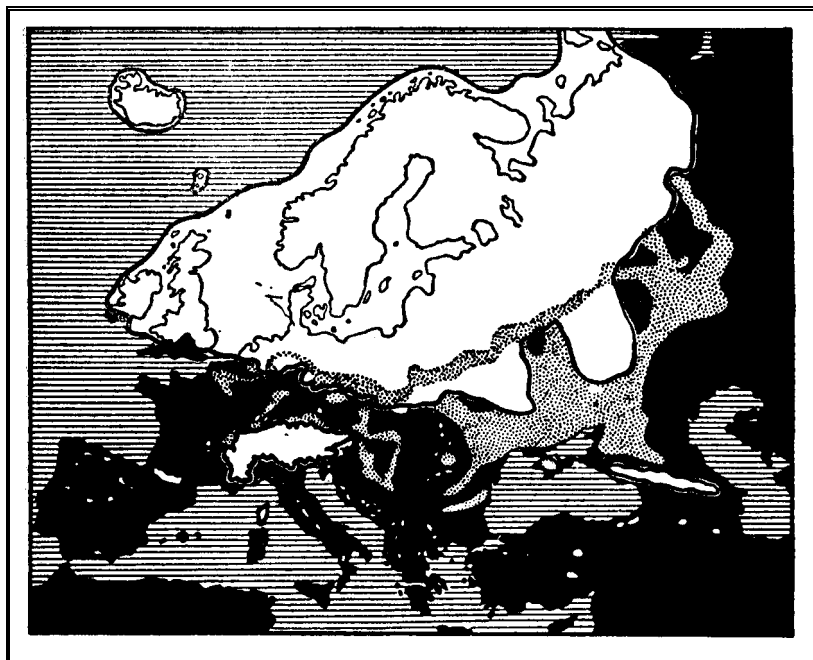
Minden jeges vidéknek van még egy jellegzetes vonása, akár belföldi jég borította a területet, akár pedig csak a völgyjégár letaroló munkájára korlátozódott a jég működése. Ez a jellemvonás a sok tó jelenléte. A földfelület legtöbb tava a jégnek köszönheti eredetét. Ez már abból a tényből is kiviláglik, hogy a legtöbb tó azokon a területeken fordul elő, amelyek még a közelmúlt földtörténeti időben jégtakaró alatt voltak. Ezt persze elég későn ismerték fel. A jégárak elméletének kisszámú első védelmezői a tavak nagy számát még nem hozták kapcsolatba korábbi eljegesedéssel, míg végül LYELL CHARLES 1841-ben kifejezte csodál-

kozását azon, hogy az Északamerikai Egyesült Államokban az Apalachiai-hegységben oly kevés tó ismeretes, ellenben Európa magas hegységeiben oly sok apró tó gyönyörködteti a szemlélődő embert. Ma már ésszerűen meg tudjuk magyarázni, hogy miképpen jött létre a sok kisebb-nagyobb tó a régebbi időkben eljegesedett magas hegységeken. Egyeseket maga a jég ástott ki, ezek kisebb medencéket töltenek ki, amelyek a kár-erózió alatt képződtek (XXXVII. tábla). Mások viszont, főleg a nagyobbak, mint Észak-Amerikában az Erie- és Michigan-tó, Európában a Luganói-tó, a Lago Maggiore és a Bodeni-tó a glaciális törmeléklerakódások általi felgátolásnak köszönik eredetüket, éppen ezért ezeket morénatavaknak szokás nevezni. Rendszerint a végmorénák mögött fekszenek a mély jégárvölgyek szájában. A korábbi jeges vidékek tavainak szokatlanul nagy száma egyszerűen magyarázható a fenékmoréna felületének számos szabálytalanságával. Így a csapadékvíznek bőséges alkalmja volt arra, hogy a hullámos terület mélyebb helyein összegyűlhessenek.

A meglévő jégpáncélokról ugyan még vajmi keveset tudunk. Annyi azonban máris kiderült, hogy a jég okozta letarolás nyomai nagy számban és igen elterjedten találhatók meg, és hogy ezeket nehezen téveszthetjük össze más földtani erők működésének a nyomaival. Így tulajdonképpen elég csodálatos, hogy AGASSIZ (1840) után sok évtizednek kellett eltelnie, míg végül hajlandók voltak belátni, hogy a jég valamikor a földfelületnek sokkal nagyobb részét borította, mint ma. Mikor azonban az a meggyőződés már általános lett (1875), hogy a mai grönlandi jég földtörténeti szemmel mérve még rövid idővel ezelőtt Közép-Európába hatolt le, akkor arra törekedtek, hogy a régebbi korok közeteiben is megtalálják korábbi eljegesedések bizonyítékait.

Ennek a vállalkozásnak forradalmi sajátosságai voltak. Hiszen mindaddig azt a véleményt hangoztatták, hogy a földtörténeti multban az éghajlat mindig melegebb volt. Eszerint a felfogás szerint a Föld lassacskán hült le, tehát csak a legutóbbi időkben jöhettek létre helyi eljegesedések, mint például a sarkok vidékén. Azokról a morénamaradványokról, melyek ma is meglévő jégáraktól távolabb fordulnak elő, azt gondolták, hogy ezeket még a Noé-féle özönvíz rakta le. Ekkor fölfedezték egy vagy több jégkorszak félreismerhetetlen nyomát a földtörténet első napjaiból származó kőzeteken is. Ezek megdönthetetlen bizonyítékot szolgáltatottak arra vonatkozólag, hogy a földkéreg már az eozoikum idején elég vastag volt ahhoz, hogy a Föld belső melegét teljesen távoltartsa. S ezzel nagymértékben megrendült a hit abban az általános özönvízben, amelyben a legkülönbözőbb jelenségek egyidejűleg játszódtak volna le. De ezzel végre szabad út nyílt a kutatás számára is. A vizsgálatok gyors iramban vezettek egyre újabb fölfedezésekhez. Egyre újabb, sosem sejtett megállapításokat fogadtak el mindig készségesebben. A földtan területén kívül a korábbi jégkorszakok felismerése persze igen különös elképzelésekhez vezetett, különösen olyan emberek fejében, akik jeges-kozmozóniai elméletekben a világjég nagyon tragikus megnyilatkozását hirdették. Ezek szerint Földünk elkerülhetetlen szabályszerűséggel többször kerülne érintkezésbe az áttetsző és ezért láthatatlan jégholdak alakjában jelentkező világ-jéggel. Ez a jelenség okozta volna a multban a legnagyobb katasztrófákat, többek között az özönvizet is.

Azóta már sok jégkorszakot fedeztek fel a földtörténeti multban s ezeket többé-kevésbé sikerült rekonstruálni. Itt azonban most csak a két legfontosabbat akarjuk ismertetni. A permokarbonkori eljegesedés ugyan csak a déli félgömbre szorítkozott, azonban a többinél mégis sokkal jobban felkeltette a geológusok érdeklődését, mert Dél-Afrikában, Dél-Amerikában és Ausztráliában nagy területekre terjedt ki és sajátos életformák kísérik. A másik a diluviális-kori. Ez rövid idővel ezelőtt folyt le s elmúlásának számos előttünk közismert nyomát hagyta hátra. Azonkívül meg érdekes bepillantást engedett számunkra egy általános eljegesedés jellegzetességeibe, talán még inkább, mint a mai belföldi jég.



**38. kép. Európa a legnagyobb diluviális eljegesedés idején. A fehér színű terület jégpáncél, a pontozott terület a jégkorszaki löszlerakódások.**

Előttünk persze a diluviális jégkor a legismertebb. Alig néhány ezer évvel ezelőtt, amikor az ember már régen megjelent a teremts színpadán, a diluviális jég Észak-Európa (38. kép) és Észak-Amerika hatalmas területeit borította. Az Alpeseiken is több száz méter vastag összefüggő jégtakaró feküdt, de az alacsonyabb hegységekben, mint pl. a Kárpátokban, a Pireneusokban, a Vogézekben, a Fekete-erdőben is voltak kisebb jégtömegek. A déli féltekén nagyjában ugyanilyen állapotok uralkodtak. Még a középafrikai hatalmas Ruvenzorin és Kénián (utóbbi kihalt vulkán) is megtalálták a diluviális eljegesedés nyomait.

Az utóbbi évek vizsgálatai egyre inkább valószínűvé tették azt a felfogást, hogy mindezek a területeken a jég meglehetősen egyidejűleg lépett fel, és a déli és északi féltekét nem különböző időpontokban jegesítette el, mint azt régebben gondolták. Egy másik kérdést azonban ezzel szemben nem tudtak ilyen egyhangúlag eldönteni, nevezetesen azt, hogy állandó hideg folytonos időszaka volt-e ez az utolsó jégkorszak, vagy pedig voltak-e közben melegebb időközök, amelyek folyamán a jég visszahúzódott és a diluviális tél mérséklődött? Váltakoztak-e tehát a zord jégkorszakok az enyhébb interglaciális időszakokkal? Ma már csak kevesen vannak, akik azt hiszik, hogy a hideg egyfolytában tartott. A legavatottabb geológusok ma már mind azt tanítják, hogy a hideg időszakok között enyhébbek is voltak. Két egymás fölött fekvő moréna között ugyanis sokszor találjuk meg olyan szervezetek nyomait, amelyek csak melegebb éghajlati viszonyok között élhettek. Igaz ugyan, hogy a valóságos jégkorszakok száma még egyáltalában nincs biztosan megállapítva, s e fölött még nagy viták folynak. De nagy általánosságban mégis elfogadják azt a nézetet, hogy a skandináviai belföldi jég a diluvium folyamán háromszor nyomult előre nagy darabon és két jégkorszak közötti időszak volt, amely alatt a jég észak felé visszahúzódott. A jég eme mozgását sajátságos növény- és állatvilág követte nyomon, az állatok között például a mammut és a rénszarvas. S habár nagyon óvatosan, de mégis kifejezésre jutott már az a feltevés is, hogy a hidegebb és melegebb időszakok váltakozása a diluviális ember eszközeinek a finomodására is hatással volt, tehát az eszközök tökéletesedésében is felismerhető. Ez állítólag a barlangokban megmaradt legősibb rajzok és falfestmények kétségtelenül felismerhető fejlődésében is megnyilvánul. De én azt hiszem, hogy az ilyen feltevések még túl elhamarkodottak.

A jégkorszakok valódi okait illetőleg egyelőre még teljes sötétségben tapogatódzunk. Lassan azonban világossá lesz, hogy nem vezethetők vissza egyetlen egy okra. Sok hatás összetett következményét kell bennük látnunk. Figyelembe kell vennünk a világmindenség hatásait, hegyképző mozgásokat és vulkánikus kitöréseket.

Éppily kevésbé tudjuk az általános eljegesedés összes hatásait áttekinteni. Gondoljunk csak arra, hogy a jégkorszakok alatt a szárazulatokon fekvő jégtömegek milyen óriási vízmennyiségeket képviselnek. Ezek kikerültek a víz általános körforgalmából, holott tulajdonképpen az óceánokhoz tartoznak. Ennek következtében már a földfelület tömegeloszlásában is nagy egyensúlyi zavaroknak kellett keletkezniük. Azonban ettől eltekintve, még más módon is nagy zavarokat kell a belföldi jégnek létrehoznia ebben az egyensúlyban, és ezáltal a Föld alakváltozásaiban. A jég kiterjedése a szárazulaton szükségszerűen magával hozza a tenger szintjének süllyedését; ha pedig a jég elolvad, akkor a visszaáramló víz következtében az óceán megint emelkedik. Ez nemcsak a szárazulat és a víz eloszlásában okoz jelentékeny változásokat, hanem a tenger eróziójában és ennek minden következményében is.

És ekkor még nem vettük tekintetbe azokat az óriási közettömegeket, a hegységeket, amelyeket a jég legyalult, letördelt és elszállított.

### 3. A szél.

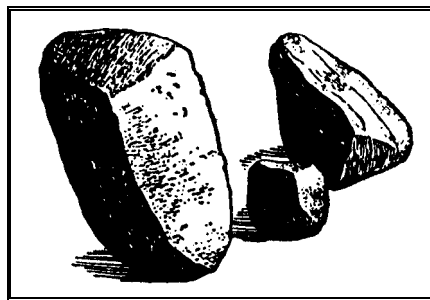
Ahol a nagy hőség miatt nincs hó és jég, ahol a nagy szárazság az egyébként mindenható víznek csak néhány oázist hagy meg nagy kegyesen (XXXIX. tábla), ahol a folyók és jégárok teljesen hiányzanak, ott a szél veszi át a hegység elpusztításának drámájában a főszerepet. A sivatagok fölött a szél a földtani erők uralkodója! Persze, ez már bizonyos mértékig beismerése a tehetetlenségnek: csak ott kormányoz, ahol a többi tényező hiányzik. Még nagyobb mértékben kell igénybe vennie a jelentéktelen törmelék segítségét, mint a víznek vagy a jégnek. Egymagában semmi, csak mozgó levegő!

Amint a víz a lejtő irányában folyik le, úgy fúj a szél is a nagyobb légnyomású helyek felől a kisebb légnyomású helyek felé, és minél nagyobb a nyomáskülönbség, annál nagyobb a szél sebessége, annál tekintélyesebb az ereje is. Viharra nőhet s a hullámokat vadul űzheti a partok felé, ezzel is növelve a hullámverés erejét. Így jelentékeny része lehet a tenger letaroló munkájában is. Mégsem ismerjük fel ebben a munkában, mert befolyásának semmiféle tanújelét nem hagyja hátra. Az általa létrehozható formákban csak akkor találjuk meg földtani nyomait, ha elegendő port és homokot ragadhat fel és szállíthat magával, s így évszázadokig tartó munkával megtámadja a szilárd kőzetet. Ezért tehetetlen a szél - mindig földtani értelemben szólva - a nedves vidékeken, ahol az eső és az elmállott kőzetet védő növénytakaró kivédi támadását. A sivatagokban azonban az erős és jelentékeny nappali és éjszakai hőmérsékleti különbségek következtében a kőzet felaprózódik, megrepedezik, védtelen meztelenségben áll a szél önkényével szemben (XL. és XLI. tábla). Felkavarja a finom elmállott törmeléket, magával ragadja a homokviharban, a sziklák falaihoz sodorja, csapja, és így kétféle módon is erodál: kifúvással (defláció) és csiszolással (korrózió). Itt tehát a lepusztítás csak a szállítás segítségével lehetséges. De ha egyszer homokot visz magával, éppúgy megváltoztathatja a száraz területeken a földfelszín képét, mint a víz a nedves vidékeken.

Természetesen magától értetődik, hogy mind a szél által felkavart és szállított szemecskék nagyságának, mind pedig annak határa van, hogy milyen magasra és milyen távolra viheti a magával ragadott homokot és port. Durvább anyagot csak nagyon ritkán szállít. Ha pedig a törmelék kivételes esetekben mégis nagy magasságba és így nagy kiterjedésű területekre jut el, akkor ez nem a szél, hanem más tényezők erejének köszönhető. A Krakatau 1883-ban

bekövetkezett kitörése alkalmával a hamufelhő legalsó részében a legnehezebb kitörési termékeket is elszállította és pedig először északkelet, azután meg délkelet felé. A finomabb részek 3000 kilométernél nagyobb távolságra is eljutottak, a legfinomabbak pedig a légkör mintegy 70 km magas részében állapodtak meg s éveken keresztül gyönyörű alkonypírként hozták létre, miközben többször is megkerülték az egész Földet. Sajátságos és akkoriban megmagyarázhatatlannak tűnő jelenségek voltak ezek. Ha a porfelhő valamilyen terület fölé jutott, ott a Nap vöröses vagy zöldes színűnek látszott, néha meg egészen elsötétedett. Csak a kutató léggömbökkel végzett vizsgálatok fejtették meg ezeknek a jelenségeknek a rejtélyét: a léggömbök a nagy magasságokban rendkívül gyorsan haladtak tova. Dehát ez az egész tünemény rendkívüli és kivételes volt. Nemcsak a tűzhányók kitörésének elemi erejét mutatta meg, hanem azt is, hogy a szél a magas légkörben rendkívül gyors szállító eszköz. Ez azonban most bennünket hidegen hagy.

A legtöbb törmelék a szél egyáltalában nem ragadja magasra, hanem csak alacsonyan, a talaj közelében fújja tova. Ezért az elszigetelten álló közettömegeket alapjukon erősebben támadja meg, ennél fogva lassan-lassan aláaknázódnak. Így keletkeznek azok a múlandó gombaalakú sziklák, amelyek töve végül annyira elpusztul az erózió előrehaladásával, hogy feldőlnek. Nem kell nagyon messzire mennünk, hogy ilyen példát közvetlen közelből figyelhessünk meg. Sós-kút közelében van ilyen gombaalakú szikla, s ezen igazán pompásan tanulmányozhatjuk a szél működésének nyomait. Persze a sós-kúti gomba egyelőre még messze van a teljes elpusztulástól. A szél azonban romboló működésében nem szorítkozik ilyen szeszélyes alakzatok létrehozására: Elegyengető és lesimító tevékenysége ugyanolyan hatékonynak látszik, mint az erodáló víz munkája a nedvesebb és rendszerint magasabban fekvő területeken. Az egyiptomi sivatagokból ismerjük a vádikát, száraz völgyeket. Ezek meredek falú, mély völgyek. Kijárat nélkül, vakon végződnek s fölfelé rendszerint amfiteátrumba mennek át. Minthogy a sivatagban sem víz, sem jég nincs, ezek csak a szél hatására jöhettek létre. Az ilyen szél által létrejött völgyeknek fejlődése és további növekedése végül éppen úgy a sivatag elegyengetésére vezet, mint a víz és jég együttes munkája a tökéletlen síkság kialakulására, ha talán ezt a végállapotot a sivatag nem is éri el. Az úgynevezett tanú-hegyekben ezért a szélről elfujt, valaha magasabban levő vidék maradványait vélik felismerni (XLI. tábla).



**39. kép. Éles kavicsok.**

A szél letaroló munkájának legfeltűnőbb termékei közé tartoznak az olyan kavicsok, amelyekre a szél három vagy több élt, illetőleg lapot csiszolt, s amelyeket azért éles kavicsoknak (39. kép) nevezünk. Sokszor olyan területen találjuk ezeket, ahol semmi más nem emlékeztet már a hajdani sivatagra. Ilyenkor ezek az éles kavicsok tanúsítják legjobban, milyen nagyarányú éghajlati változásokon ment át az illető terület. Különösen fontosak ezek a mi szempontunkból azért is, mert Magyarország területén is kimutatták az éles kavicsok jelenlétét. Ezeknek az éles kavicsoknak megjelenési formája annyira változatos, hogy még korántsem ült el egészen a harc, amely keletkezésük magyarázata körül kitört. Annyi azonban világos, hogy ezek a kavicsdarabok, görgetegek, sivatagokban feküdtek, s a szél ereje csiszolta

és simította le őket. Abban azonban a földtan művelői még nem tudtak megegyezni, hogy a kavicsokon levő - egyébként igazán nem különösebben fontos - változó számban és sajátságokkal fellépő lapok és élek keletkezése hogyan magyarázható meg. Egyesek azt vélik, hogy a szélirány minden változása következtében új lap csiszolódott a kavicsra. Mások meg azt gondolják, hogyha a kavics a földön gurulva megakadt, akkor ilyenkor a szél egyik oldalán simára csiszolta, majd aztán a kavics megint csak tovább gurult, s egy újabb megakadás alkalmával a szél megint újabb lapot csiszolt ki rajta. Ismét mások azt hiszik, hogy az éles kavics alakját eredeti alakja szabja meg, a szél csiszoló munkája csak jobban kiemeli és lecsiszolja az eredeti alakot. A negyedik magyarázat a kőzetek hasadási lapjaiban próbálja megtalálni a rejtély nyitját. Mint tudjuk, sok kőzet bizonyos meghatározott irányokban könnyen hasítható. Ezekben az irányokban tehát állítólag már eleve hajlandóságot mutatnak a lecsiszolódásra.

Dehát minden szél elül egyszer, éppúgy, mint ahogyan minden folyó egyszer csak eléri erózióbázisát, és minden jégár is valamikor mégis csak elolvad. Ha a szél valahol akadályba ütközik, vagy pedig gyengül az erózió sebessége, akkor már nem tudja többé a homokot tova szállítani. Le kell raknia a beláthatatlan sivatagban, a nagy homókóceánban, ahol csak a legmagasabb csúcsok emelkednek ki a homokból. Úgy látszik, mintha a hegyek saját törmelékükbe fulladnának bele. A szélről lerakott homok keresztrétegződést mutat, ilyen egyébként néha a folyók és folyótorkolatok üledékein is megfigyelhetünk. A ripple marks néven emlegetett szélbarázdák is a szél hatására utalnak. Ezek a szélbarázdák nemcsak a laza homok (XLIII. tábla), hanem sokszor a kemény mészkő felületét is hullámossá teszik. Még akkor is a szél hatására kell ezeket visszavezetnünk, ha nem maga a szél, hanem csak az általa mozgatott víz hullámozása hozta őket létre.

A legkisebb akadály is elegendő ahhoz, hogy feltartóztassa a homokot s lassacskán nagyobb buckákat hozzon létre (XLII. és XLIII. tábla). Alakjuk és helyzetük szerint többek közt megkülönböztethetünk ív- és sarlóalakú buckákat vagy dűnéket, külső és belső dűnéket, sivatagi vagy parti dűnéket. Mindez emlékezetünkbe hozza a nedvesebb vidékek lankás homokpartjait, ahol apály idején a homok szárazra kerül, majd beleszól a szél is, és újra dűnéket épít a homokból. Gyepesítéssel vagy fásítással szokták megakadályozni a dűnék továbbvándorlását, mert különben a szél egyik buckát a másikig fujná s végül a dűnék a homokmentes vidékre is előnyomulnának (XLIV. tábla). A Kurisches Haff vándordűnéi a XIX. század elején elborítottak egy Künzen nevű kisfalut, de a tovább haladó homoktengerből 1869-ben már újra előbukkantak első kéményei. A világ legnagyobb parti homokbucka-területe franciaországi Landes, a Biscayai-öbölben. Az ottani dűnék évenként mintegy 30 méterrel vándorolnak a szárazföld belseje felé és már sok falut elpusztítottak. A XVII. század vége felé Lège falucska templomát lebontották s 5 kilométerrel távolabb építették fel újra, hogy minden jövőendő veszélytől megmentsék. Száz évvel később azonban megint át kellett helyezniök, mert a homok újra eltemetéssel fenyegette a falut.

A szél végül finomabb port is szállít; ez messze vidékekre juthat el s minden akadály fölött tovahalad. Ezt a finom port még sehol sem találták meg a durvább homokkal együtt letelepedve, s így már sokszor felmerült az a kérdés, hogy tulajdonképpen hová lesz. Az enciklopedisták idejében, hiszen ezek minden jelenségre rögtön igen okos magyarázattal tudtak előállni, nagyon különös elmélettel feleltek arra a kérdésre, hogy a por és az élet miképpen oszlik meg az éterben és a légkörben. Később azonban, midőn Kína belsejében nagy területeken találtak minden rétegezettség nélküli, óriási vastagságban megjelenő, finom szemcséjű, sárgás agyagra emlékeztető anyagot, néhányan ebben vélték a keresett port felismerni. Azóta gyakran kétségbevonták, hogy ez a sárga anyag, a lösz valóban a szélből ülepedett volna le, ma azonban már minden kutató erre a felfogásra hajlik. Ennek bizonyítékát

nemcsak a rétegenség hiányában látják, hanem elsősorban abban a módban, ahogyan a lösz a Föld felületén eloszlik. A szél szállította finomabb por csak olyan területen rakódhatik le, ahol kevés eső esik, s a talajt mégis elég kiterjedt és sűrű gypszönyeg borítja, ami a legfinomabb porszemecskéket is megkötheti. Ez a kettős föltétel pedig, a löszkeletkezés *conditio sine qua non*-ja, épp a szárazulatok belső részeiben és a steppeövekben áll fenn, tehát ott, ahol lösz valóban lerakódik.

A kínai lösz fennebb vázolt keletkezésében, annak ellenére, hogy a lösz vastagsága jó néhány kutató szemében valószínűtlenül nagyra tűnik, nem kételkedhetünk (XLV. tábla). Sok utazó írta már le azt a jelenséget, hogy Észak-Kínában napokon keresztül elsötétítik a homokfelhők a Napot. Ez az óriási homokmennyiség a nagy ázsiai sivatagokról, a Gobiról és Ordosról származik. Az ilyen homokviharok után mindent vékony rétegben borít be a finom, sárga por. Másképpen áll azonban a dolog azzal a lösszel, amelyet Észak-Amerikából és Európából ismerünk. Ennek összetétele ugyan nagyon hasonlít a kínai löszéhez, azonban mégis nehezen fogadhatjuk el azt a feltevést, hogy ez is sivatagokban keletkezett. Mivel megfigyelték, hogy ezek a lösztömegek a hajdani glaciális morénasáncok külső peremén rakodtak le, nem egészen alaptalanul hozták kapcsolatba a diluviális eljegesedéssel. S így úgy tekintik, mint a nagy jégolvadás után a növényzetnélküli és védtelen morénákból kifújó finom por lerakódását.

A homokbuckákkal és löszlerakódásokkal szemben a szél munkájával létrehozott másféle képződmények földtani szempontból sokkal kevésbé fontosak. Egyidőben például azt hitték, hogy a grönlandi jégen meteorvasport találtak. Ezt a világegyetemből idekerült jövevénynek tekintették. Tudomásom szerint azonban ez a fölfedezés nem hiteles. Ritka dolog, hogy a szél más anyagot szállít, ilyenkor ez sokkal nagyobb feltűnést kelt, mint a közönséges lösz vagy a homok szállítása. Emlékezzünk csak vissza az 1926-ban Észak-Olaszországban esett véresőre. Ez semmi egyéb nem volt, mint az esőtől lecsapott barnásvörös vastartalmú por, amelyet a szél Észak-Afrikából ragadott magával. A megrémült olaszok azonban valami bekövetkezendő szerencsétlenség égi előjelét látták benne.

## V. A HEGYEK KELETKEZÉSE

### *Látszólagos nyugalom.*

Dicsőségteljes és magasztos hivatásuk tudatában a mindenről daloló költők már többször megénekelték, hogy a hegyek mozdulatlanok és örökkévalók. Azonban tévedtek, ami jogukban állott, mert poetis omnia licet! Tévedésük különben nagyon emberi és nagyon érthető. Hiszen a költők a hegyek fenséges nyugalmit és magasztosságát a saját rövid kis emberi életükhöz mérték. Fogékony és kivételes lelkületükben a lángoló és szent hegyek örök csúcsait a kifinomult regényesség lengi körül, amelyben az ember a mulandóságnak csak parányi kis porszeme.

A Föld bűvára azonban másképp látja a dolgokat. A múlt prófétájának szemében a költők örök hegye csak valami földtörténeti hegység töredéke. Olyan hegységgé, amely tegnap még nem volt meg, holnapra megint elmúlik, s az idők tükrében éppen olyan múlandó, mint maga az emberi test.

A geológus nagyon jól tudja, hogy MOHAMMED elmehet a hegyhez, de a hegy nem mehet MOHAMMED-hez. De azt is tudja, hogy MOHAMMED, ha nem megy a hegyhez, egyszerűen nem elég örökkévaló ahhoz, hogy bármi kis kilátással is várjon a hegy megérkezésére. A hiba tehát MOHAMMED-ben van és nem a hegyekben, mert ezek mozdulatlansága csak látszólagos!

Ha a hegyekben, mai alakjukban úgy, amint a jelenlegi oszthatatlan pillanatban szemünk előtt állanak, csak tulajdonképpen a Földön kívül fekvő okok eróziós tevékenységének eredményét látnók, még akkor is csakhamar rájövönénk a valóságban végbemenő események ilyen nagyon tökéletlen elképzelésével is, hogy a hegyeknek meglehetősen hamar kellene lepusztulniuk s a völgyeknek feltöltődniük, míg nem egyhangú elegyengetésük jön létre, mert ameddig az erózió működik, egyetlen hegy sem lehet örökéletű. A költői örökkévalóságból így lesz a földtan megvilágításában rövid élettartamú korlátozottság. Vannak azonban más, mélyebb okok is, amelyek székhelye magában a Földben van. Állandó, hol gyorsabb, hol lassúbb ütemű munkájuk megakadályozza, hogy kialakulhasson ez az egyhangúság, és így a jó öreg Föld állandóan megújul. A fiatal lánchegységek a legbeszédesebb bizonyítékai ennek az erős mozgékonyaságnak. A régebbi megújulások megmerevedett maradványait pedig a már csak belső szerkezetükről felismerhető öreg, letarolt hegységekben láthatjuk. Ha az Alpesek vagy a Himalája felé közeledünk, azonnal feltűnik, hogy ezek a lánchegységek fiatalkori üledékekből épültek fel. Ezeknek szabályszerű elhivatása az volna, hogy vízszintesen települjenek, mint ahogyan a fiatal lánchegységek aránylag csak keskeny övének kívül valóban így is látjuk őket: nagy területeken mozdulatlan, vízszintes településben. Itt azonban, a hegységekben, ezek a fiatalkori rétegek meggyűrődtek, összetorlódtak és egymásra tolódtak, mégpedig olyannyira, hogy e nyugtalan felépítés láttán még a legártatlanabb detektív is felfedezné az első szempillantásra, hogy itt valaminek történnie kellett!

A mozgékony földkéreg képe számunkra mindenesetre nem valami meghitt, nagyon is szöges ellentétben áll mind ama berozsdásodott és sziklaszilárd meggyőződésünkkel, amelyek a terra firma vagy a szárazföld fogalmával kapcsolatosak. Egyelőre tehát a felé hajlunk, hogy az ilyen történéseket a földtörténeti kódos, távoli múltba számúzzuk. Erős meggyőződésünk, hogy manapság ilyesvalami már nem történhetik meg! Az érzés és értelem azonban itt meglehetősen tévútra vezettek bennünket. Igaz ugyan, abban a kiváltságban részesülünk, hogy a Föld

történetének egy aránylag nyugodt időszakát élvezhetjük. A földfelület változásai ma valóban olyan lassan mennek végbe, hogy rövid földi létünk néhány esztendeje alatt csak nehezen figyelhetünk meg észrevehető eltolódásokat és mozgásokat. Ilyen mozgásjelenségek azonban ennek ellenére elég nagy számban ismeretesek már a történeti időkből is, és mindenesetre elegendők voltak arra, hogy belőlük a lábunk alatt ingó Föld költői kifejezése megszülethessék, vagy hogy a néplélek anyagot merítsen sok legenda számára. Így abból a földtani tényből, hogy Normandia, a Bretagne és Flandria partja ma lassan süllyed, e vidéken az a legenda született meg, hogy a Douarnezi-öbölben Ys falucska az V. században a tenger fenekére süllyedt. Ha az idő szép és a víz átlátszó, ma is láthatjuk a tenger fenekén a törmelékhalmonkat, ha pedig valaki nagyon figyel, harangok csengésének finom hangját is meghallhatja. Veurne mellett meg a babonás halász St. Idesbald elsüllyedt apátságának romjából a barátok titokzatos karéneket hallja. Pomerániában ma is mutogatják azt a helyet, ahol Vineta városa a tengerbe süllyedt.

Vannak olyan vulkánikus kitörések és földrengések, amelyek alkalmával új szigetek keletkeznek, vagy pedig meglévők eltűnnek. Mindezek a földkéreg nyugtalanságának és mozgásának világos, szélsőséges megnyilatkozásai. A Krakatau izgalmas históriája eléggé ismeretes. A Ferdinanda-sziget körül kitört politikai bonyodalom meg nem nélkülözi a dolog nevetséges oldalát sem. 1831 júliusában Szicíliától délre egyszerre csak megjelent egy kis sziget, olyan helyen, ahol addig néhány tízméteres tengermélységet mértek. Egy éber angol tengerész hamarosan ki is tűzte ott az Egyesült Királyság lobogóját. Az év elmúltával azonban mindjárt a születésekor hadászati jelentőséget nyert sziget elmúlt megint, áldozatul esve a tenger hullámának!

Nagyobb fontossága van azonban szemünkben a földkéreg lassúbb mozgásainak. Ezeket nem annyira hirtelen, helyi hatásoknak tulajdoníthatjuk; fokozatos fejlődésükkel jó bepillantást engednek azon erők természetébe, amelyek működésük hosszú ideje alatt hegységeket gyűrnek és emelnek fel. Ilyen lassú változások legjobban a partvonalak folyamatos eltolódásaiban nyilvánulnak meg. De természetesen éppúgy minden más jelenség is alkalmas ebből a szempontból, ha világosan mutatja meg a szárazföld magasságváltozásait a tenger tükréhez mérve. Persze sohasem beszélhetünk abszolút változásról, mindig csak viszonylagosról. Ha azt tapasztaljuk, hogy egy korállokból álló képződmény magasabban van, mint amely tengermélységben a korallok ma megélhetnek, akkor ebben csak annak a - nagyon meggyőző - bizonyítékát kell látnunk, hogy itt eltolódás, mozgás megy végbe. De nyitva marad a kérdés, vajjon a szárazulat süllyedt-e vagy pedig a tenger emelkedett. A geológusnak ugyan ez meglehetősen közömbös, mert hiszen a végeredmény tulajdonképpen ugyanaz.

A szárazföld emelkedései és süllyedései - vagy ami ezzel egyre megy, a tenger tükrének süllyedései és emelkedései - néhány közismert példa révén határozottan felismerhetők. A legtöbbet emlegetett példákból itt most csak kettőt szeretnék felemlíteni. Skandinávia fjordjai tulajdonképpen tengerbe fült völgyek (XLVI. tábla). Ez annyit jelent, hogy Skandinávia most körülbelül olyan állapotban van, mintha az Alpesekeket részben víz alá süllyesztenék. A süllyedés, amely ezt a tengerbefülést okozta, régebbi keletű. Ma itt már megint emelkedést tapasztalunk, s a tengerbefült völgyek lassan visszaadtnak régi, eredeti rendeltetésüknek, a folyók letaroló működésének. A skandináv partoknak ez a fiatalkori emelkedése, amely a geológusok számítása szerint évenként átlagban mintegy 50 centiméternyi, világosan mutatja a tenger hullámai által a régebbi időkben kialakított, kiemelkedett letarolási felületeket. Az emelkedést először valószínűleg halászok figyelték meg; észrevették, hogy a már ősapáik idejében is használt kikötők szűkek és sekélyek lettek, annyira, hogy már nem is használhatták ezeket a régi helyeket. S a sziklák, amelyek régebben a tenger alatt voltak, s oly sok veszélyt rejtettek magukban a halászok számára, egyszerre csak elvesztették veszélyes jellegüket. A

halászkok könnyen meg tudták kerülni őket, mert a vízből kiemelkedtek. Az egész jelenséget még más nagyon meglepő tény is igazolja: Stockholm és a finnországi Turku között jelenleg mintegy 14.000 apró sársziget (XII. tábla) emelkedik ki a tengerből, melyek száma évről-évre néhány százszal szaporodik.

Pontos mérések arra az eredményre vezettek, hogy Svédország és Finnország északi partvidéke gyorsabb ütemben emelkedik, mint a déli. Norvégia és a Keleti-tenger német partvidéke ezzel szemben ma nem mozog észrevehetően. Nagyon fontos tény ez, mert azt bizonyítja, hogy Skandinávia mozgása valóban a szárazulat emelkedése. Tehát nem csak látszólagos emelkedés, amelyet esetleg a tenger tükrének általános süllyedése okoz. Hiszen ha így volna, akkor e többi partrészetnek ugyanilyen sebességgel kellene emelkednie.

A Földközi-tenger partvidékén is megfigyeltek hasonló eltolódásokat. Itt a partvonal a rómaiak idejétől mintegy 1 métert süllyedt, újabb időkben azonban megint emelkedést figyeltek meg. Ezeknek jól ismert bizonyítékait a Nápoly melletti Pozzuoli közelében levő Jupiter-Serapis templom oszlopairól olvashatjuk le. Ezek több mint egy évszázadon keresztül voltak a tenger színe alatt, majd a Monte Nuovo 1538-ban bekövetkezett kitörése után megint a víz színe fölé emelkedtek. Az oszlopokba a kagylók lyukakat fúrtak, ezek a lyukak ma mintegy 5 méternyire vannak a tenger tükre fölött, mint a kiemelkedés mértékének pontos jele. Mindenesetre helyes, ha ezeknek a számoknak jelentőségét nem becsüljük túl, s csak bizonyos fenntartással értelmezzük őket. A szám sokkal merevebb, sokkal kérlelhetetlenebb, semhogy a földtani viszonyossághoz könnyen alkalmazkodni tudna. Mindkét felsorolt példából egyébként világosan látjuk, hogy egy és ugyanazon területen emelkedések és süllyedések figyelhetők meg. A függőleges irányú változások tehát nem mennek végbe állandóan ugyanabban az irányban, hanem inkább az emelkedések és süllyedések váltakozásában nyilvánulnak meg. Ez a tény bizonyos fokig jogossá teszi a lábunk alatt táncoló föld kissé túlhajtott fogalmát. Az abszolút számnak pedig valahogyan ingatag, időbeli jellegét látjuk. Hiszen a valóságban semmit sem mond arról a sok változásról, amelyek lejátszódtak, mielőtt a végleges és számmal jellemzett eltolódási fok előállott.

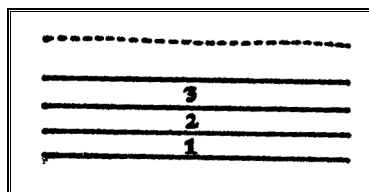
A jelenkori talajmozgások példáit Németalföldön is tanulmányozhatjuk. Az ország állandóan süllyed, úgyhogy csak a természetellenesen sok gát tudja megvédeni az elöntés veszedelmétől. A jelenleg 25 és 90 méteres mélységek között fekvő Dogger-padról a hálók már több alkalommal hoztak fel mamutfogakat. Ez bizonyíték arra, hogy a földtörténeti közelmúltban itt nagyobb szárazföldi terület volt, itt ömlött a tengerbe a Rajna és az Elba.

Elégedjünk meg ezzel a pár jelenkori példával. Világosan látjuk ezekből, hogy a földkéreg mozog, nyugalma csak látszólagos. Ezt eddig csak egy költő sejtette, JÁNOS apostol és evangelista, aki a Jelenések Könyvében ezt írja: „És minden sziget elmulék és a hegyek többé nem találhatók.” Ez nem egészen sikerül mindíg a hegyeknek, mert a Föld bűvára a földkéreg szerkezetéből és felépítéséből mégis csak elénk tudja állítani a hegységeket, még akkor is, amikor mint hegyek már régen eltűntek.

### ***Zavargások.***

Az üledékes kőzeteknek - tekintettel keletkezési módjukra - tulajdonképpen nagy területeken vízszintesen illenék elhelyezkedniük (40. kép). Alul fekszenek ilyenkor a legidősebb képződmények (1) s fölöttük a fiatalabbak lerakódásuk sorrendjében (2, 3. stb.). Ez sok területen így is van, ott, ahol egyáltalában nem, vagy - földtani mértékkel mérve - csak jelentéktelen mozgás ment végbe (XXI. és XLVII. tábla). Más területeken azonban, így a legtöbb hegységben, az üledékes kőzetek eredeti vízszintes helyzetükből a földkéreg mozgásai következtében kimozdultak. Megtörténhetik az is, hogy természetes sorrendjük szakad meg,

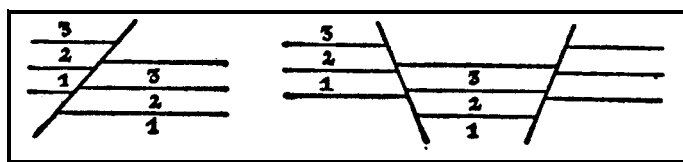
vagy pedig nagymértékben megváltozik (XLVIII., XLIX. és XIII. tábla). Ezekkel a jelenségekkel foglalkozik a tektonikus, vagyis a Földnek az a kutatója, aki főleg a Föld szerkezetét, felépítését és a rétegeknek egymáshoz való helyzetét tanulmányozza. A tektonikus feladata tehát, hogy ezeket a zavarokat tanulmányozza és belőlük azokat a mozgásokat elénk varázsolja, amelyek az idők folyamán a Föld arculatát megváltoztatták. Persze nem valami hálás feladat a földtörténeti forradalmak történetírójául felcsapni. Mert sok ilyen zavar van s a köztük levő különbségeket csak kint a természetben, ahogy a geológus mondja, a terepen lehet tanulmányozni. Ha meg a laboratóriumokban próbáljuk utánózni a természetet, és mesterséges úton akarjuk a kőzetekben a zavargásokat létrehozni, akkor ezekre csak azok a korlátozott viszonyok érvényesek, amelyeket a laboratórium tere és főleg a még jobban korlátozott kísérleti idő szab meg. Ezzel szemben a természet a végtelenség laboratóriumában kísérletezik.



40. kép. Az üledékek szabályos helyzete.

Éppily kevésbé fog sikerülni, hogy a természetes események örök változásait valamilyen felsőbb mennyiség-tani képletbe öntsük. A természet többnyire nem nagyon tartja magát a mennyiség-tan szabályaihoz. Így aztán minden szelvény, amelyet gondolataink rögzítése céljából kell megrajzolni, szükségszerűen csak vázlat. Ez pedig eszményi általánosításai miatt tulajdonképpen sehol sem illik teljesen a valóságra. Nagy általánosságban a földkéreg üledékes takarójának függőleges és vízszintes elmozdulásait különböztetjük meg.

Az első esetben a földkéreg egyes rögei úgynevezett törések mentén néha több ezer méter távolságra eltolódnak egymáshoz képest (41. kép). Ennek következtében különböző korú rétegek kerülnek egymás mellé. Sokszor azonban egyáltalában nem tudjuk megállapítani, hogy melyik része mozdult fölfelé, melyik lefelé. A függőleges elmozdulások tehát abban nyilvánulnak meg, hogy törések jönnek létre, amelyek mentén a földkéreg kisebb vagy nagyobb térhez tud alkalmazkodni, aszerint, amint a Föld belsejében fellépő feszültségek ezt megszabják. A földkéreg összenyomódása következtében létrejött törés tehát oly eltolódásokat tesz lehetővé, amelyek következtében a földkéreg megrövidülhet. A húzófeszültségek ezzel szemben arra törekednek, hogy a Föld kérgét kitágítsák, kiszélesítsék, széthúzzák. Ezek minden valószínűség szerint abban nyilvánulnak meg, hogy két helybenmaradt vagy emelkedő sávbérc között hosszúkas árok süllyed be (41. kép). Számtalan példa igazolja, hogy ez a jelenség lényeges szerepet játszik a kontinensek szerkezetében. Ilyen lesüllyedt árok a Rajna völgye is, két magasra emelt rög, a Fekete-erdő és a Vogézek között. A Holt-tenger és a Jordán irányát is ilyen árok szabja meg. A nagy afrikai tavak egyenesen lefutó vonalát húzás által létesült óriási törési vonalak határolják, amelyek mentén Afrika már szinte szétszakadással fenyeget. Időszerű az a kép, amelyet Gibraltár bevehetetlen sziklái mutatnak. Meredek falaik létét a jurakori mészkőben bekövetkezett törésnek köszönhetik. Ez a törés alakította ki Gibraltár természetes erődjét.



41. kép. Vetődés és árkos beszakadás.

A Föld valamennyi magas hegységében azonban a rétegek gyűrtek (XLVIII. tábla). Világos, hogy a gyűrődésnek a földkéreg vízszintes összenyomódásával kellett keletkeznie, amely érintőlegesen, vagyis a földgolyó érintőjének irányába hatott. Nincs elegendő helyünk itt arra, hogy a gyűrődések különböző alakjait felsoroljuk, megismertessük az egyenes és ferde, a részarányos és részaránytalan, a másodlagos és mindenféle egyéb redőket, amelyeket sok hegységben láthatunk. Elégedjünk meg annyival, hogy a legönkényesebb vázlattal a legönkényesebb gyűrődést ábrázoljuk.

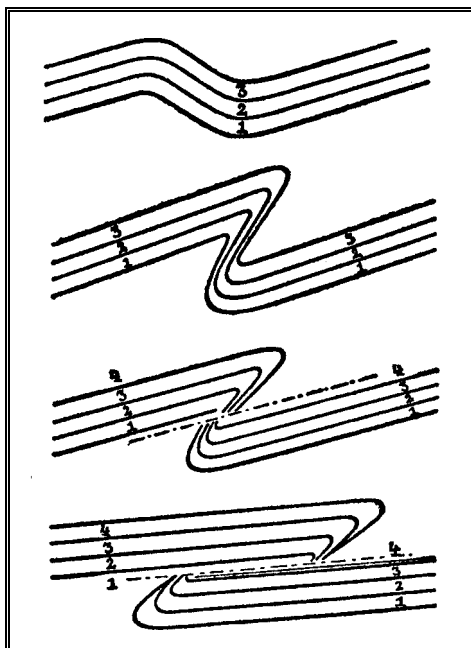
De hogy a valóságban végbemenő eseményeket jobban megérthessük, előbb végezzünk egy közönséges és egyszerű kísérletet. A hozzávaló eszközök mindenütt kéznél vannak: terítővel leborított asztal és jóakarátú, nem túl szigorúan ítélő olvasó! Képzeljük most el egy pillanatra, hogy az asztalterítő, amelyen két kezünk egymástól némi távolságban nyugszik, nem más, mint a Föld üledékes kőzetekből felépített takarója. Balkezünk nyugodtan fekvé maradjon. Ez az ütköző bak s később ebben a könyvben még mint ellentállást kifejtő szárazfölddel fogunk vele találkozni. A jobbkezünket pedig, amely WEGENER értelmében előrenyomuló kontinenst képvisel, gyöngye nyomással a terítőn a balkezünk felé toljuk. Ezzel vízszintes, érintő irányban ható nyomásfelét fejtünk ki a földkérget helyettesítő asztalterítőre. A következményekből ítélve, ez nagyjelentőségű tett! A két kéz közötti területen - később ezt majd a Föld kutatóinak elnevezéséhez alkalmazkodva geoszinklinálisnak fogjuk nevezni -, az asztalterítő összetolódik. Redők keletkeznek, ezek eleinte még egyenesen állnak, majd lassan elfekszenek s a további összetolásban egymást kölcsönösen akadályozzák. Végül is ellenállásuk felé feltornyosulnak, összenyomódnak, bonyolult redők tömegévé lesznek, és sokkal kisebb helyet foglalnak el, mint simára kiterített állapotukban. A kísérlet és a földtani valóság között persze még sok különbség van. Az asztalterítő nem különböző kőzetekből álló rétegsorozat, a kéz nem kontinens, az asztal nem kőzetalap és az emberi lassúság még egyáltalában nem földtani időmérték. A mozgás és következményei, az összetolódás és a gyűrődés azonban valódi. Az említett jóakarát segítségével mostantól kezdve az összegyűrt asztalterítőt összehasonlítjuk egy születő hegység valamely meghatározott fejlődési állapotával.

Válasszunk ki most a természetben lehetséges ezer és egy esetből egyetlen egy gyűrődési lehetőséget. Vázoljuk ennek a történetét, anélkül, hogy ezzel a többi lehetőséget kizárnánk, vagy valami módon megrövidítsük. Képzeljük el tehát, hogy valamely zavartalan településű rétegsort a földkéreg vízszintes irányú nyomása meggyűr és a képződő redők kezdettől fogva részaránytalanok. A redők meredekebb szárnyai ilyenkor a nagyobb ellentállás irányában fekszenek.

A további összenyomódás következtében az ilyen redő lassan áthajlik. Ha a kőzet arra alkalmas, akkor ebből a redőből nagy kiterjedésű fekvő redő jöhet létre. A kőzet gyűrődési képessége azonban legtöbb esetben csekélyebb. Ilyenkor a redőszárny középső részén a rétegek kinyúlnak, vagy amint a geológus sokkal tömörebben mondja, kihengerlődnék.

Még egyszer hangsúlyoznunk kell, hogy a kőzetek gyűrődése nem mehet a végtelenségig. Minden kőzet bizonyos határon túl nem gyűrhető vagy nyújtható. Ha az elmozdulás túllépi ezeket a határokat, a kőzetnek el kell törnie. Ilyenkor tehát olyan törések keletkeznek, amelyek nem a függőleges mozgás, hanem tulajdonképpen a gyűrődés következtében alakulnak ki. Ezért szakad meg a gyűrt rétegsorozat összefüggése további összenyomódás alkalmával a redő legérzékenyebb pontján, vagyis a redőszárny közepén. Ettől kezdve a rétegsor két része egymásra tolódik s létrejön végül is az úgynevezett áttolt redő, ahol a szétszakadt részek egymáson fekszenek.

Itt a kőzetek szabályszerű sorrendjéről már egyáltalában nincsen szó. Olyan rétegek, amelyek egymás mellé tartoznának, mert egy korban képződtek, olyan rétegek, amelyeknek magasabb koruk miatt a fiatalabbak alatt kellene lenniük, most - horresco referrens - azok fölött fekszenek! A szabályszerű 1-2-3-4 sorrend nem folytatódik a rendes körülmények között várható 5-6-7 rétegben, hanem az áttolódási vonal mentén megint újra kezdődik az 1-2-3-4 rétegsor. Sőt néha még azt is láthatjuk, hogy ez az új rétegsor is zavart, mert egyes részei a mozgásban valahogyan elmaradtak (42. kép).



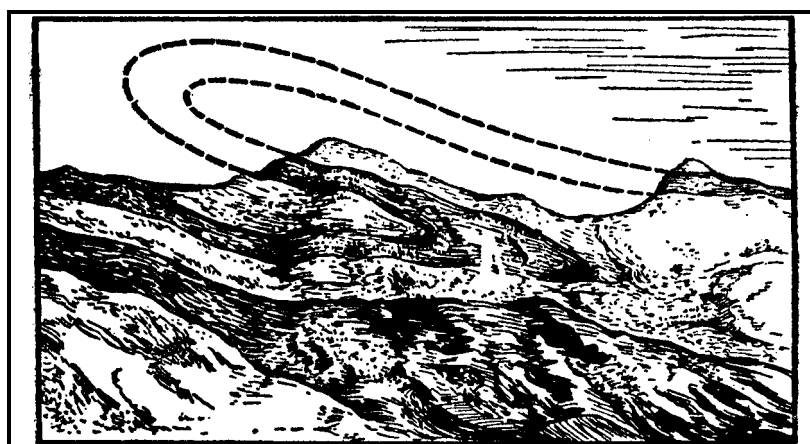
**42. kép. A vízszintes irányban ható erő következtében a rétegek meggyűrődnek, sőt át is tolódhatnak.**

A vízszintes összenyomódás következtében így kerülhetnek egymás mellé a földkéregnek olyan részei, amelyek eredetileg talán 500 kilométer vagy még nagyobb távolságban voltak egymástól. Ha a fekvő redőknek ilyen méretű eltolódásairól van szó, akkor takaróredőkről vagy röviden csak takarókról beszélünk. (L. tábla). S ezzel most már rá is találtunk arra a vázlatra, amely szerint az Alpések is felépültek (43. kép). Talán kissé elhamarkodott és szigorúan véve nem egészen pontos meghatározás ez, mert bizonyára nem helyes, ha a lehetőségek sorából egyet kiragadunk, s ezt valamilyen hegységre alkalmazzuk, a többi lehetőséget pedig figyelembe sem vesszük. A töréses és gyűrűs hegységek közötti szokásos megkülönböztetés is csak viszonylagos. Mert vannak töréses hegységek, amelyekben redőkbe gyűrűs rétegeket látunk. Azután meg alig van gyűrűs hegység, amelynek kőzeteit ne járná át számos törés. Mint már említettük, a természet nem sokat törődik a mi osztályozásainkkal, s egyáltalában nem viselkedik a merev típusok szabályai szerint. Ezeknek csak az az előnyük, hogy közülük az uralkodót mint a hegység építészeti stílusát kihangsúlyozhatjuk. Ebben a szűkebb értelemben az Alpéseket takaróredős hegységnek tekinthetjük.



**43. kép. Az Alpeselek kialakulásának vázlata.**

Ne gondoljuk azonban, hogy a hegységnek a földtani építészeti stílusát olyan könnyen felismerhetjük. Első pillantásra bizony nem igen vesszük észre a hegyekben a redők szabályszerű lefutását, sem pedig a takarókat. A hegyek, úgy, ahogy ma előttünk állanak, csak maradványai az eróziótól darabokra szaggatott és részben már el is pusztított földtörténeti hegységeknek. Csak kevés olyan redő van, amely gyökeréig jól követhető. A tektonikus nehéz feladata most már, hogy a rétegek településében és sorrendjében bekövetkezett változásokat tanulmányozza és ezek alapján a hegyeket besorozza abba a típusba, amely szerint az egész hegység felépült. Az egyes hegyek minden egyes rétegét össze kell kötnie annak a hegynek egykorú rétegeivel, melyek az előbbtől bizony néha jó egynehány tíz kilométer távolságban lehetnek. Így követi az egyes hegyeken át a fekvő redőt (44. kép) vagy a takarót, amely a gyökér nélküli töredékeket teljes és sértetlen hegységgé kötné össze, hogyha az erózió nem fejtette volna ki pusztító működését. Így tehát az Alpeselek és a Himalája hegyei csak az egymás fölé tolt takarók sorozatának szegényes eróziós maradványai, amelyek a délről jövő nyomásnak engedelmessé, az ellenálló euráziai tömb felé nyomódtak össze és préselődtek a magasba. Ma az Alpeselek teljes szélessége csak mintegy 150 kilométert tesz ki, azonban ha megint kisimítanók és kivasálnók a redőket, akkor 600-1200 kilométer széles területet fődénnek be.

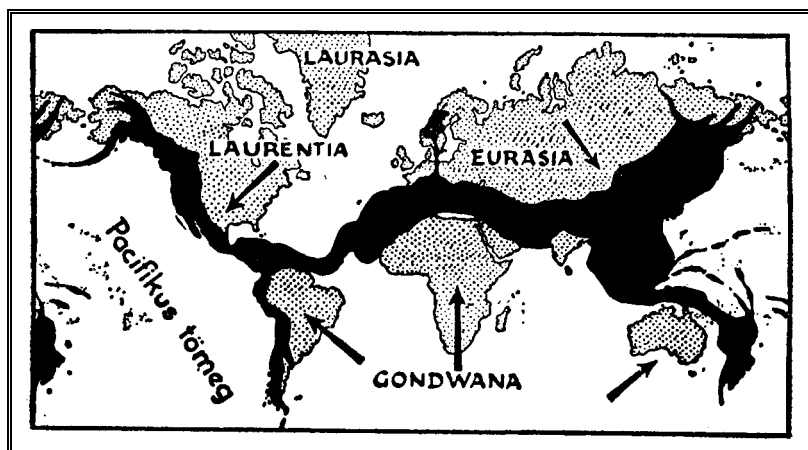


**44. kép. Fekvő redő rekonstrukciója a megmaradt képződmények alapján, a délfraanciaországi Alpeselekben.**

A földkéreg ilyen összasajtolódásának és megrövidülésének a felfedezése annyira megzavarta az addigi tudást, hogy a Földnek azon szerencsés bűvára, aki az első takarót felismerte, elhatározta, hogy jó ideig senkinek sem árulja el felfedezését. Csak a magános emberek meghitt menedékében, naplójában találták meg későbbi magatartásának azt a szerény igazolását, hogy: „az emberek bolondnak tartanának engem!” Igaza volt! Abban az időben csak függőleges irányú mozgásokat tételeztek fel, tehát a törés volt a földkéreg zavarai között a legelőkelőbb. Nagy esemény volt, amikor újabb törést fedeztek fel. Az olyan embert, aki azt hitte, hogy több száz kilométeres áttolódásokat ismert fel, és a törések mellett egyszerűen csak elszaladt, szükségszerűen bolondnak vagy legalább is álmodozónak tartották volna. S mégis, a takaró nemcsak szerkesztésekben van meg, nemcsak ábrándos kitalálás, hanem kézzelfogható valóság.

Így azután annak a meggyőző bizonyítékává lesz, hogy mennyire mozgékony Földünk kérge!

Ha most összefoglaljuk azt, amire bennünket a törések és a gyűrődések megtanítanak, akkor a földtörténeti értelemben vett hegységben kétféle mozgás okozta eredményt kell látnunk. Vannak vízszintes irányú mozgások, ezek az üledékeket összetolják, gyúrik és hegységekké tornyosítják fel, éppen ezért nevezzük az ilyeneket hegyképző, vagy orogenetikus mozgásoknak. Vannak továbbá függőleges irányban ható mozgások, ezek a meggyűrűt hegységeket lassan emelik fel, anélkül, hogy az üledékeket jobban megzavarnák, és ilyen módon nagyobb területeket tehetnek szárazföldre, ezért szárazföldképző, vagy epirogenetikus mozgásoknak nevezzük őket. Ez a kétféle mozgás nem korlátozódik a földtörténeti mult valamilyen meghatározott idejére. Napjainkban is végbemennek, észrevétlenül és talán nagyrészen észrevehetetlenül is. Lassacskán azonban megváltoztatják Földünk alakját. A földtörténetileg mozgalmas időkben, amikor a közetrétegek erősen meggyűrődnek és a nagy hegységek (45. kép) kialakulnak, ezek a mozgások bizonyára lassan mentek végbe, de mégis akkora sebességgel, hogy szemünkben, amikor már csak az eredményt, a bonyolult hegyszerkezetet látjuk magunk előtt, valóságos katasztrófának tűnnek fel.



45. kép. A mai lánchegységek elhelyezkedése.

Ez a felismerés teszi számunkra lehetővé, hogy a töréseket, gyűrődéseket és hegységeket vízszintes vagy függőleges mozgásokkal magyarázzuk, a mozgásokat pedig a földkéregben fellépő nyomó vagy húzó feszültségekre vezessük vissza. Kérdés azonban, hogy honnan származik a nyomás és a húzás, az összetolás és a feszültség? És hogyha most már valóban nem látszik kétségesnek, hogy az Alpesek a harmadkor folyamán délfelől torlódtak össze, akkor joggal kérdezhetjük, hogy miért éppen délfelől, miért éppen a harmadkorban és miért éppen az Alpesek? Kissé szokatlan módon ugyan, de felállítottuk ezzel a kérdést a hegyképződés valódi

okaira vonatkozólag. Leplezetlenül vetettük fel a megoldatlan rejtélyt, a szárazulatok keletkezésének és elmúlásának rejtélyét; a földtan alapkérdését.

### *Latet in majestate naturae.*

A kérdés régi és a felelet nehéz.

A költők persze röviden már megfeleltek erre és a felelet húsz évszázadon keresztül változatlan is maradt. Klasszikus formájában ma is gyakran idézik, sokszor talán már csak bevezető jelmondat gyanánt. Ez azonban ne bátorítson fel bennünket, mai embereket, arra a feltevésre, hogy a régieknek ez a felelete kielégítő. Hiszen ez csak a hanyatló római érzékenysége a felelete. Csak megcsodálja a dolgokat, de nem érti meg, ezért a fellengzős lírában keres menedéket: „a természet méltóságában búvik meg a hegyek titka”.

Huszedik századunk rideg anyagiassága azonban nem elégszik meg PLINIUS titkaival vagy a természet méltóságát dicsőítő költői kitételekkel. Elégge sajnálkozhatunk fölöttük, mert hiányos tárgyilagosságuk arra a kiábrándító bevallásra kényszerít, hogy ma még nem tudjuk a hegyképződésnek kielégítő magyarázatát adni.

Bizonyára nem hódolunk a klasszikus ókor megnyugtató lírájának. De éppily kevésbé oszthatjuk a mai mindent bíráló idők sötétenlátását. Igaz, hogy egymagában egyetlen elmélet sem tudja a tényeket maradéktalanul megmagyarázni. Igaz, hogy a Föld bűvárának naponta a feltevések útvesztőjében kell bolyongania. De hát valóban olyan ki nem elégítők ezek a magyarázatok? Én bizony nem nagyon hiszem ezt. TERMIER megállapítása szerint a földtan éppen a sok nagy rejtélynek köszönheti vonzóerejét, azoknak a rejtélyeknek, amelyeknek megmagyarázása és tisztázása a földtan feladata. A magunk részéről arról tanúskodhatunk, hogy TERMIER és a Föld sok más kiváló bűvara már számtalan rejtélyt világított meg kielégítő módon. Azonkívül meg a távoli igazság felé való törekvésükben minden új ténnyel az ember szolgálatába állítottak, annak az embernek a szolgálatába, aki maga is földtani rejtély.

A földtani feltevések többé-kevésbé kielégítő jellegének természetesen más jelentősége van. Mert valóban el kell ismernünk, hogy számtalan kísérletet végeztek a hegységek rejtélyének tisztázására. Annyi elméletet állítottak fel, annyira sokfélének és egymástól eltérőnek, hogy lassacskán az ember azt a benyomást nyeri, mintha itt valóban valami megoldhatatlan rejtély előtt állnánk. Ez azonban egyáltalában nem így van. Hiszen éppen napjainkban, amikor nagyobb mértékben, mint bármikor a múltban, új vagy csak módosított elméletek látnak napvilágot, úgylátszik, mintha a nagy rejtély egyre kisebb térre korlátozódnék, a kényes logika következtében egyre jobban szűkülneek határai. A különböző elméletek ellentétei lassacskán eltűnedeznek és minden új feltevés következtetéseivel tulajdonképpen olyan alapfogalmakból indul ki, amelyeket a többi elmélet is elfogad és védelmez. Ha azután valamely geológusnak helyi jellegű jelenséget kell megmagyaráznia, akkor, ha jól ismeri a Föld arculatának mélyreható különbségeit, könnyen megtalálja az elképzelések és feltevések útvesztőjében azt az utat, amely két vagy több általános elmélet alkalmazásával a helyi jellegű jelenség megvilágításához vezet. Az általános hegyképződést is valószínűleg majd valamennyi elméletből kiválasztott részek segítségével fogjuk tisztázni. Csakhogy erre senki sem vállalkozhatik. A kibékülés szelleme ma még nem elég erős ahhoz, hogy az eredmény megint csak új elmélet ne legyen. Sokkal nagyobb és fenyegetőbb ez a veszély, semhogy azt a meghitt és kipróbált módszert feladhassuk, hogy azoknak a legfontosabb elméleteknek áttekintését adjuk, amelyeket a hegykeletkezés magyarázatára előszeretettel szoktak felhozni. A régi és az új elméletek között nem is teszünk sok különbséget, mert hisz a földtanban nem mindig mondhatjuk meg, mi a régi és mi az új. A legrégebbi ma vagy holnap valami új köntösben újra felmerülhet. Nincs egyetlen olyan elmélet sem, amelynek minden állítását teljesen elvetették

volna. Csak belefáradtunk sok elméletbe, mert az alapelvek, amelyekből annak idején kiindultak, az újabban felfedezett tények világában többé már nem látszanak olyan maguktól értetődőknek, mint nagy sikereik napjaiban. Az az együgyű biztosság, amelyekkel a régít, a magától értetődőt elfogadták, lassacskán az új fölötti csodálkozásba ment át. S rendszerint ez az a pillanat, amikor új elmélet születik.

A földtani elméletek sokfélesége tehát ne nyugtalanítson bennünket. Nagy számukban tudásunk fejlődésének hősiek irama tükröződik. A Föld nyugtalankodása nyughatatlanná tette a földtanilag gondolkodó szellemet is. Végül pedig gondoljuk meg azt is, hogy egy elmélet sem képviseli a valóságot. Hiszen csak kísérlet arra, hogy a régebbi tapasztalatokat új ismereteink alapján magyarázzuk meg.

### *A plutonisták.*

Mikor a hegységek keletkezésének magyarázatára az első tudományos elméleteket felállították, mindenekelőtt vulkánikus hatásokra, különösen a központi tűzhely hatásosságára gondoltak. Ez az álláspont a múlt század elejéről származó egyszerű alakjában ma már túlhaladottnak látszik. De mégis fel kell itt említenünk, mert szokatlanul nagy visszhangot keltett a földtanban. A legszilárdabb meggyőződésű hívei és az ellenpárt között kitört elkésredett vita erősen emlékeztet két világnézet harcára, amely jóval időszámításunk előtt az egyiptomi papságot rabul ejtette. Szinte azt mondhatnánk, hogy a vita a régi babilonai Idzubar-époszhoz csatlakozik.

Ez az éposz részben valószínűleg annak a sok árvíznek, illetőleg áradási hullámnak emlékéből alakult ki, amelyek a babiloniaikat a régi évszázadokban oly sokszor meglátogatták. Benne látják sokan azt az ősmondát, amelyből a biblia özönvíz-elmélete is kisarjadzott. Történelmi jelentősége azonban sokkal mélyebb, mert hiszen a valóságban évszázadokkal Krisztus előtt a neptunista világnézetnek hódoltak vele, amely szerint minden dolog eredete a vízben keresendő. A Ra napisten papjaival folytatott dühös vitában ez a gondolat valóban tudományos rendszerré terebélyesedett. A régi görögök útján pedig a mi nyugati eszmevilágunkat is erősen befolyásolta.

WERNER ÁBRAHÁM GOTTLÖB (1750-1817) tekintélyére támaszkodva a neptunizmus rövid időre teljes szigorúságával a földtanban is érvényre jutott. A Faust Walpurgis-éjszakájában GOETHE még költőileg is felmagasztalta. A neptunisták számára a vizen kívül semmi sem létezett. Azt hitték, hogy minden kőzet a vízben képződött, valamennyi hegységet a víz hozta létre, s az üledékek gyűrődését és törését a szomszéd kőzetek rejtélyes vonzerejének tulajdonították. A plutonisták ezzel szemben, mint már említettük, a vulkanizmushoz menekültek. A hegyképződést a Föld belsejében hosszú időn keresztül felgyülemlett erők segítségével akarták megmagyarázni. Eredeti formájában mindkét elmélet megbukott, és az igazságért folytatott küzdelemben egyiknek sem jutott osztályrészül a győzelem dicsősége. Az üledékes kőzetek és az eróziós hegységek neptunista igazságok, ellenben a tömeges kőzetek és a tűzhányók a plutonisták nézeteit támasztják alá.

A plutonizmus többször is megpróbálta, hogy a felemelkedési elmélettel a mai tényekhez alkalmazkodjék. Az első elgondolás az volt, hogy az üledékek emelkedését a földkéregben lévő folyékony halmazállapotú tömegek felemelkedésével magyarázta meg, vagy pedig az ezen tömegekben felhalmozódott gázok hatásával. A plutonista eszméknek második és egyelőre utolsó fejlődési állapota pedig abban az elképzelésben nyilvánul meg, hogy a később még részletesebben tárgyalandó folyékony magmában fellépő nyomáscsökkenés következtében mindenféle vegyi folyamat létesül. E nézet szerint eközben nagy melegmennységek szabadulnak fel, amelyek hatásaként a lehülés és húzófeszültségek következtében helyileg

meggyengült földkéregre nagy nyomás gyakoroltatik. Térfogatnagobbodása következtében a magmának kisebb nyomású helyek felé kell áramlania, eközben az üledékeket felemelheti és meggyűrheti. Ott pedig, ahonnan a magma elvándorolt, a földkéreg beszakad.

A plutonizmus azonban ebben az alakjában is legfeljebb néhány helyi felboltozódást magyarázhat meg, vagyis függőleges irányú mozgásokat, amelyek a takarók kimondottan vízszintes jellege miatt semmit sem jelentenek.

A mai plutonizmus is elégtelennek látszik arra, hogy a hegységeket megmagyarázza. Teljesen azonban mégsem halt meg az eszme és SHAND amerikai túristája, aki minden magas hegy előtt így kiált fel: „Jupiterre mondom, ennek vulkánikus eredetűnek kell lennie”, a valóságban nem más, mint a régi iskola plutonistája. S valóban sok tudományos védelmezője van azoknak az elméleteknek, amelyek üdvösségüket Pluto birodalmában keresik, és a hegyképződés okait a nagyobb mélységekbe helyezik. Ezek a Föld kérgében többnyire csak élettelen takarót látnak, amely a folyékony alap minden mozgásához alkalmazkodni kénytelen, akár felfelé vagy lefelé irányuló áramlatok idézik elő mozgását, akár pedig mélységbeli áramlások, amelyeknek következtében össze kell csuklania a kéregnek. E feltevések közül több viseli magán szükségyszerűen a kiagyaltság jellegét, mert hiszen a felületre vonatkozó kérdést a megközelíthetetlen mélységekbe helyezi. A földtanban pedig minden másoldalról hozott új tényt a legnagyobb elővigyázattal kell kezelni. Igaz lehet, hogy hőmérsékleti különbségek a vegyi összetételben és a gáztartalomban levő különbségek következtében áramlások lépnek fel a folyékony magmában, s ezek Földünk kérgének mozgékonyosságát befolyásolják, hiszen oktalanság volna feltételezni, hogy amikor a felület nyughatatlan, éppen a Föld belseje legyen nyugodt, azonban a folyékony alsó réteg sokkal mélyebben fekszik, semhogy ezeknek az áramlásoknak a módját és kihatását csak valamiképpen is hihetővé tudnák tenni. Azután meg még soha senki nem látta a magmát!

### ***Zsugorodik-e a Föld?***

A Föld keletkezéséről szóló elméletekből 1850-ben új elképzelés született meg, amely a maga idejében nagy sikereket ért el, s még néhány esztendővel ezelőtt is úgy látszott, hogy számtalan földtani jelenséget kielégítően tud megmagyarázni. Hivatalosan ma talán már nem fogadják el, de sokan azt hiszik, hogy elhamarkodott volt ez a lépés. A kontrakciós vagy zsugorodási elmélet régi és első szerelme mindazoknak, akiket az új elmélet nem elégített ki, és mégis valamilyen álláspontot el kellett foglalniok. Különösen azoknak a koponyáiban dereng újból reménykedően a klasszikus tanítás, akik WEGENER-től elpártoltak, vagy őt soha nem tudták követni. Persze, némi igazuk van. Ennek a ragyogó összefoglaló elméletnek az egyszerűségében is hatalmas a vonzerő. Megjelenése alkalmával a legkitűnőbb kutatók is feltétel nélkül elfogadták s ma - még meg nem cáfolva - nagy szerénységgel vár arra, hogy az új elképzelések az utolsó tűzpróbát is kiállják. Nagyon valószínűtlen azonban, legalább is jelenleg, hogy régebbi egyeduralmának dicsőséges csúcspontját valaha is újra elérje.

Induljunk ki abból az elképzelésből, hogy a Föld nagy hőmérsékletű magból és meglehetősen vékony szilárd kéregből áll. Kívülről nem jut meleg a földmagba. Fokozatosan kell tehát lehűlnie és ugyanilyen egyenletességgel kell összezsugorodnia, amint azt a zsugorodási elmélet legegyszerűbb fogalmazásában tanítja. A magot körülvevő földkéregnek, minthogy bő lett és önmagában nem tud szilárdul megállani, szükségyszerűen alkalmazkodnia kell a zsugorodó maghoz. Az elméletnek akkori, nem nagyon bíráló alakjában a hegységeket a földkéreg ráncolódásával magyarázták, amely ennek az alkalmazkodásnak szükségyszerű következménye lett volna. Ezt az itt tárgyalt természeti jelenséget az érett alma fonnyadásával szokták összehasonlítani. Amilyen mértékben az alma leve eltűnik, olyan mértékben kell héjjának

ráncolódnia, zsugorodnia. Ez a példa mindenesetre azt igazolja, hogy az alma kiszáradása héjján észrevehető változásokat okoz, és hogy a hegyek tehát talán okozati összefüggésben állhatnak a földmag zsugorodásával. Egyébként azonban nem nagyon alkalmas arra, hogy az elméletet szemléltesse. Hiszen a ráncok lefutásában a legcsekélyebb törvényszerűséget sem ismerhetjük fel, minden elméletnek azonban, amely a hegységeket akarja megmagyarázni, elfogadható okot kell találnia, nemcsak a hegységek keletkezésére, hanem a Föld felületén való harmonikus eloszlására is. Az a tény, hogy a fiatal lánchegységek a szárazföldeket összefüggő öv alakjában ölelik körül - Európát és Ázsiát délen, Észak- és Dél-Amerikát nyugaton és Ausztráliát északon - valamint az a tény, hogy a különböző világrészeknek földtani szerkezetében is nagyfokú részarányosságot fedeztek fel, meggyőző bizonyítékot szolgáltat amellet, hogy a földkéreg ráncosodása sokkal bonyolódottabb, mint ahogyan a fonnyadó alma alapján vélnénk.

A valóságban a zsugorodási elmélet nem is annyira a ráncokat, mint inkább a földkéregnek a beszakadásait hangsúlyozza. Ezáltal süllyednek be bizonyos részek, helyet készítve az óceánok számára, ellenben mások sasbércként maradtak fenn és szárazulatokat alkotnak. Csak az óceáni medencéknek függőleges lefelé süllyedése vezethetett a földkéreg leggyöngébb részein, azaz a szárazulatok peremén vízszintes összenyomódáshoz, aminek következtében a nagy lánchegységek kialakulhattak.

A kétkedés és bírálat ebben az alakjában sem kímélte meg a zsugorodási elméletet. Lehetséges ugyan, hogy a földkéregnek a földmag tömegének csökkenésével szükségszerűen bekövetkező megrövidülése helyi nyomásokat és feszültségeket, tehát gyűrődéseket és töréseket megmagyarázhat. De nagyon kérdéses, vajon ezek felvehetik-e a takarók jellegét és méreteit. S emellett nem vettük figyelembe azt, hogy az a mód, ahogyan itt a szárazulatoknak és óceánoknak keletkezniök kellett, csak nehezen egyeztethető össze az óceánokon és a szárazulaton végzett nehézségerőmérések eredményeivel.

Még ha fel is tételezzük, hogy a zsugorodási elmélettől segítségül hívott vízszintes irányú nyomás valóban kihathat a takaróredők méreteinek megfelelő távolságokra, anélkül, hogy másféle jelenségek is létrejöjjenek, mint például, hogy a kontinentális rögök szétszakadjanak, még akkor is felmerül a kérdés, hogy a zsugorodás létesíthet-e egyáltalában ilyen eltolódásokat. Az Alpesekben a földkéregnek egy része annyira összetorlódott, hogy régebben nyolcszor nagyobb területen foglalt helyet, mint ma. Ha ezt az összetorlódást a zsugorodással akarnók megmagyarázni, azt kellene feltételeznünk, hogy a Föld a harmadkor folyamán nem kevesebb, mint 2400 Celsius-fokkal hűlt le! Az ilyen fokú lehűlés, enyhén szólva, legalább is nagyon valószínűtlen. Nemcsak a szerves életnek a Földön való elterjedésével nem egyeztethető össze, hanem azzal az aránylag csekély hőmennyiséggel sem, amely ma a Földből kisugárzik. Azután meg azt is meg kell gondolnunk, hogy a földtörténet régebbi időszakaiban még sok és talán nagyobb hegységek is kialakultak.

Ezekkel a kifogásokkal szemben a zsugorodási elmélet azt hozta fel, hogy a zsugorodás nem lehet a lehűlés mértéke. Más szóval ez annyit jelent, hogy még akkor is bekövetkeznék a földkéregnek a beszakadása, illetőleg a hegyképződés, ha a földmag melegét a körülvevő földkéreg a világmindenség felé teljesen szigetelné, ha tehát a lehűlés nagyon csekély volna, mert más okok miatt is be kellene következnie a megfelelő mértékű térfogatcsökkenésnek. A híres elmélet, ezzel a bizonytalanba tett kétes ugrással elhagyta klasszikus alakját. A zsugorodás okát most már nem csupán a lehűlésben keresi, hanem a földmag sűrűsödésében és a számos vulkáni kitörésben is, melyek folyamán a földtörténeti idők alatt óriási tömegű gáz és folyékony tömegek szabadultak ki a Föld belsejéből és ömlöttek szét felületén.

Ez a tragikus beszakadási elmélet persze azért részben még mindig a lehülésre hivatkozik. A kételkedés azonban most már váratlan oldalról is fellépett és egyre forrongóbb hangulatot teremtett. Rájöttek arra, hogy évezredeknek kellett eltelnie addig, amíg az ember végre felfedezte, hogy a Föld gömbölyű és fokozatosan hűl. Mikor azonban elült a nagy felháborodás és a kedélyek megnyugodtak abban, hogy az emberek a Föld másik felén sem szaladgálnak fejfelé, akkor a Föld gömbalakja a maga egyszerűségében annyira meglepő volt, hogy nagyon természetesnek találták, ennél fogva a lehülésben sem kételkedett már senki. A radioaktivitás felfedezése azonban a melegen a Földben való eloszlására vonatkozó elképzeléseinket nagyon összekavarta, lassan kételkedni kezdtek abban is, hogy a lehülés magától értetődő. Köztudomású ugyanis, hogy radioaktív bomlás alkalmával meleg szabadul fel. Így merül fel most már az a kérdés, vajjon Földünk rádiumtartalmú anyagainak hőtermelése nem elegendő-e ahhoz, hogy bolygónk természetes lehülését ellensúlyozza. Más szóval: vajjon tényleg lehül-e a Föld? Sokan kételkednek benne, mások meg egyenesen tagadják.

Mindkét álláspontot természetesen pusztán feltevések támogatják. Ha a Föld mélyében a közettömegek ugyanannyi radioaktív anyagot tartalmaznak, mint a földkéreg számunkra hozzáférhető kőzetei, akkor tényleg úgy látszik, mintha a Földnek egyre melegebbnek kellene lennie, tehát végül is belátható időn belül meg kellene olvadnia! Ennek a vészes feltevésnek azonban csak kevés követője van. Sokkal valószínűbbnek tartják, hogy a hőtermelő anyagok mennyisége a mélység felé csökken és hogy még mindig az általános lehülés kerekedik felül.

A kételkedés és tagadás tehát egyaránt jogosnak látszik. Az eszmék harcában azonban a kételkedésnek nem sok esélye van. Csak a szélsőségek érvényesülhetnek. A tartózkodás nélküli és határozott tagadásból, amelyet ugyan csak kevés kutató hangoztatott nyíltan, végül is új, haladást jelentő elmélet született meg. Némelyek azt hiszik, hogy a rádiumnak és kísérőjelenségeinek felfedezése határtalan lehetőségeket nyitott meg. Ezek arra törekszenek, hogy az új, sokat ígérő lehetőségek között megtalálják a hegyképződés elfogadható magyarázatát is. Abból indulnak ki, hogy a szilárd földkéreg (sial) a nyúlósan folyós bazaltos alaplapon (sima) úszik. Szerintük ebben a simában elsődleges, következményeiből ítélve nagyon hatásos szerepet játszanak a radioaktív folyamatok. A radioaktív folyamatoknál felszabaduló meleg a simát részben megolvasztja, ezáltal Földünk legfontosabb alakváltozásainak okozója.

Ennek az ellenőrizhetetlen feltevésnek ingatag alapjára nagyon csábító számítást, meggondolást építettek fel. Itt tárgyalható lerövidített alakjában sajnos sokat veszít ez az elmélet nagy vonzóerejéből. Ha lehetségesnek tartjuk a radioaktív olvadást, akkor ez valójában a sima térfogatnagyságát, vagyis az egész Földgömb kiterjedését jelentené. Ennek következtében - szöges ellentétben a zsugorodási elmélettel - a Föld sugara egyre nagyobb lesz, a kontinensek mindinkább eltávolodnak a Föld középpontjától. Ez ugyan csak viszonylagos, mert minthogy az olvadék kevésbé sűrű, mint a kezdetben nyúlósan folyós bazalt, akkor a kontinentális sial-rögöknek mélyebbre kell süllyedniük az alattuk lévő simában, mint azelőtt. Ennek az a következménye, hogy szegélyeik felületét az előnyomuló óceán előnti.

Ez kétségtelenül nagyon fontos mozzanat a hegyképződés szempontjából. A tenger előnyomulása a kontinensek peremén meglehetősen sekély tengereket hoz létre, amelyek a tulajdonképeni óceántól csekély mélységükben élesen elkülönülve a szükséges üledékképző területeket alkotják. A szárazföldről származó törmelékanyag itt nyugodt településben rakódhatott le, majd a hegyképződés legközelebbi alkalmával felgyűrődött és összetorlódott.

Az óceánok alatt pedig, ahol a sial valószínűleg hiányzik, vagy pedig csak nagyon kis vastagságot ér el, természetesen más természetűek a radioaktív felmelegedés következményei. A sima kitágulása a vékony sial-kéregben sok repedést, hasadást hoz létre. Ezek mentén a megolvadt bazalt kitódulhat és a radioaktív folyamat útján létrejött meleg kiszabadulhat. E

hővesztesség és az óceán vizének hűtő hatása következtében a sima lassan megint csak megmerevedik és összezsugorodik. A zsugorodási elmélet hívei bizonyára örülnek ennek, mert azt látják, hogy az elméletet a megfelelő pillanatban mégis csak lemásolják. A hegyképződés főszakasza, tehát a tulajdonképeni gyűrődés, így mégis csak azzal a nyomással magyarázható meg, amely a kontinensek peremén a fiatal üledékekre hat, ha a Föld sugara megint kisebb lesz.

A sima lehülése és megmerevedése végül a hegyképződésnek harmadik és utolsó fejlődési fokozatát vezeti be, mert a folyós állapotba való visszatérés megint csak a bazalt sűrűsödéséhez vezet. A könnyebb sialrögök lassú mozgással megint csak kiemelkednek a simából, a tengerek a szárazulatokról visszahúzódnak, s a fiatalkori gyűrődésekből magas hegységek alakulnak ki, aminek ma az Alpeselekben is magunk előtt látunk.

Abban a nyomtatékban, amellyel itt a hegyképződés és vulkanizmus együttműködését próbáltuk megvilágítani, valamint a hegyképződés három nagy fejlődési időszakának mai és általánosan elfogadott megkülönböztetésében, világos bizonyítékát láthatjuk e messzevezető elmélet fiatalságának (1923). Bizonyára nagy becsületére szolgál, hogy egyáltalában felvetette azt a merész gondolatot, hogy bolygónk radioaktív úton felmelegedhetik. Pedig számos ellenvetést és véleményem szerint soha meg nem cáfolt kifogást emeltek ezzel a forradalmi, korát megelőző elképzeléssel szemben. Megítélésem szerint legnagyobb érdeme ennek az elméletnek nem annyira az általa adott pozitív magyarázatokban, hanem inkább abban van talán, hogy több kutató lelkében kételyt ébresztett a régi felfogásokkal szemben.

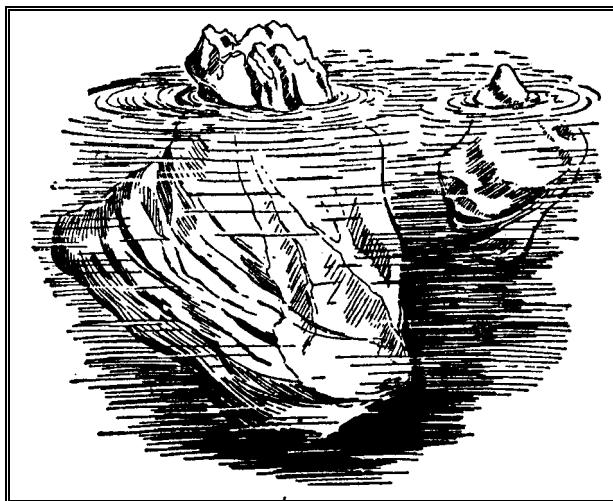
### *Egyensúly.*

Már többször hivatkoztunk arra a megállapításra, hogy a kontinensek alatt többé-kevésbé folyékony rétegnek kell lennie. Összetételében ez eltér a szilárd kéreg összetételétől és elég mozgékony ahhoz, hogy rajta a kontinentális rögök föl vagy legalább lefelé mozoghassanak, belőle kiemelkedhessenek, illetőleg belesüllyedhessenek. Ez az egész megállapítás persze nem pusztán kitalálás. Nem az egyik vagy másik elmélet kedvéért agyalták ki. Ellenkezőleg, nagyon is jól megalapozott elképzeléseken és sejtéseken alapul, amelyek épp az utóbbi évek folyamán több oldalról is kétségtelen módon megerősítést nyertek. A pontos mérések valóban azt mutatták, hogy a nehézségi erő az óceánok fölött nagyobb, mint a szárazulatokon. Különösen a fiatal lánchegységekben mért alacsony értékek feltűnőek. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a földkéreg magasabb részei, a szárazulatok, könnyebb fajsúlyú kőzetekből épültek fel, mint az óceánok fenekéje.

Ezeket a látszólag érthetetlen szabálytalanságokat, a nehézségi erőnek ezeket az eltéréseit különböző módon igyekeztek megmagyarázni. Ma csaknem általánosan az a nézet uralkodik a földtanban, hogy a földkéreg magasabban fekvő és könnyebb részei (sial) úsznak az alattuk levő nyúlósan folyós anyagban, a simában. A sima alkotja az óceánok fenekét is. Azt az egyensúlyi állapotot, amelyre a Föld a nehézségi erő következtében törekszik, izosztáziának nevezzük. Az izosztázia miatt egyetlen egy maradandó jellegű zavar sem következhetik be anélkül, hogy megint többé-kevésbé gyors alkalmazkodással létre ne jöjjön újabb, állandóbb egyensúlyi állapot. A szárazulatok és óceánok már könnyebben értelmezhetők, ha feltesszük, hogy a földkéreg könnyebb részei a Föld forgása következtében létesülő centrifugális erő hatására magasabbra kerültek, ellenben a nehezebb fajsúlyú részek alul maradtak, s most az óceánok fenekét képezik.

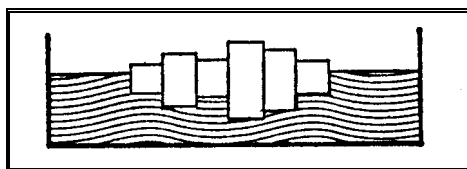
ARCHIMEDES-nek a heuréká-ról híres fürdője azonban még többre is megtanít bennünket. Jól tudjuk, hogy ARCHIMEDES fürdés közben fedezte fel általános érvényű törvényét, amelyhez minden test alkalmazkodni kénytelen, ha valami folyadékban úszik, vagy abba

alámerül. Így a földkéreg sial-burka sem vonhatja ki magát ez alól a törvény alól, éppoly kevésbé, mint HIERON király aranykoronája. Az archimedesi törvényből következik, hogy a simából magasabban kiemelkedő könnyebb fajsúlyú tömegnek mélyebbre kell besüllyednie. Ha a sial-rög a simából bizonyos számú résszel kiemelkedik, akkor a sűrűségétől függő meghatározott számú résszel kell folytatódnia a simában is. Hiszen tudjuk, hogy a jéghegynek is nagyobb része a víz alatt van s csak kisebb, kevésbé veszélyes része emelkedik a tenger tükre fölé (46. kép).



**46. kép. Úszó jéghegyek.**

Az izosztatikus egyensúlynál való felfogásukat a geológusok előszeretettel szemléltetik egyszerű vázlattal (47. kép). Ebben különböző magasságú, de azonos keresztmetszetű és azonos fajsúlyú hasábok úsznak nagyobb fajsúlyú folyadékban, s azt látjuk, hogy nagyságuknak megfelelően többé vagy kevésbé mélyre süllyednek bele a folyadékba. Hasonló módon tehát az Alpesek egy hasábjának is mélyebben kell gyökereznie a simában, mint az ugyanilyen keresztmetszetű hasábnak, mondjuk a tenger melletti, jóval alacsonyabban fekvő területen. Ezzel persze még korántsem akarjuk azt állítani, hogy a sial az Alpesek vagy Friesland alatt ugyanolyan élesen határolódik el a sima felé, mint ahogyan vázlatunkban az eszményi tömbök határolódnak el a folyadék felé. Sőt azt sem akarjuk ezzel mondani, hogy a 8840 méter Everest pontosan annyiszor 8840 méter mélységgel folytatódik a simába, mint ahányszorosra azt könnyebb fajsúlyja meghatározza, hogy eleget tegyen az izosztatikus egyensúly törvényének. Hiszen a természetben csak átmenetek vannak, azután meg annyi is elég már, ha a Himalája hegység, melyhez az Everest is tartozik, mint egész van kiegyenlített egyensúlyi állapotban.



**47. kép. Az izosztatikus egyensúly vázlatos szemléltetése.**

Ez az elképzelés magán viseli a vázlatok minden tökéletlenségét. Annyi bizonyos, hogy az izosztáziát csak nehezen képzelhetjük el, mint kevésbé változó tömbök nyugodt egyensúlyi állapotát. A valóságban ugyanis az izosztázia tulajdonképpen csak valami nagyon ingatag egyensúlyi állapot felé való törekvést és mozgást jelent. Ezt az egyensúlyi állapotot az úszó sial-rögök nagy változékonysága állandóan megváltoztatja. Néha már azelőtt is alaposan megzavarodik az egyensúlyi állapot, mielőtt az izosztázia egyáltalán bekövetkezhetett volna.

Így például feltételezhetjük, hogy a skandináviai tömb nagyjából már régen kiegyensúlyozódott. A diluviális jégtakaró terhe alatt azonban mélyebbre süllyedt a simába, mint ma. S a belföldi jég elolvadása következtében állandóan változó egyensúlyi állapothoz fokozatos izosztatikus emelkedéssel igyekezett alkalmazkodni. Ebben az esetben tehát nem mondhatjuk, hogy az izosztatikus egyensúly, vagy röviden az izosztázia zavarodott meg. Inkább azt mondhatjuk, hogy az egyensúlyi állapot, amelyre az izosztázia állandóan törekszik, változott meg fokozatosan és úgy látszik, hogy nyomon követte az izosztatikus alkalmazkodás. Úgy látszik, hogy a valóságos zavargásokat más, a Föld egyensúlyi állapotában mélyrehatóbb változások okozzák, és így jönnek létre a nehezebben értelmezhető jelenségek.

Hasonló, de általánosabb befolyást gyakorol a földkéreg izosztatikus egyensúlyi állapotára az erózió is. A hegyek letarolása és a törmelékanyag elszállítása, ha aránylag még oly csekély tömegekről is van szó, alapjában véve mégis csak a kontinens tehermentesítését jelenti. A szárazulatnak tehát, az egyensúlyi törvényeknek engedelmeskedve, fel kellett emelkednie a simában. A nagy üledékképző medencéket ezzel szemben a lerakodott közettörmelék nagymértékben megterheli. Ezeknek tehát megint mélyebben bele kell süllyedniök a simába, hogy lassú süllyedéssel kiegyenlíthessék növekvő súlyukat. Az izosztáziának ebből a következményéből arra a kétélű következtetésre jutottak, hogy ez végnélküli folyamat. Eszerint tehát sohasem alakulhatna ki tökéletlen síkság, mert a letaroló tevékenységet részben a szárazulatok emelkedése, részben meg az erózióbázis süllyedése állandóan életben tartja. Eszerint az erózió célja, a tökéletlen síkság, valóban lehetetlenségnek tűnik. Egyesek számára ez alkalom volt arra, hogy a valóságos tökéletlen síkságok létét tagadják, mások számára pedig megfelelő alkalom arra, hogy az izosztázia tanát vessék el. Azonban nagyon is elfogadható módon beigazolhatjuk, hogy a földkéreg növekvő sűrűsége következtében az erózióknak hosszú időn keresztül nagyobb mértékben kell a felszín magasságát csökkentenie, mint amilyen mértékben az izosztázia a területet felemelni tudja. Az előbb említett következtetést tehát ezzel visszautasíthatjuk. A legtöbb kutató ma mind az izosztáziának, mind pedig a tökéletlen síkságnak a létét elfogadja.

Alighogy felfedezték a földkéreg egyensúlyát, amelynek segítségével úgy látszott, hogy sok függőleges mozgást meg lehetett magyarázni, máris elhagyták a tények biztos talaját. Megkísérelték ugyanis pusztán túlzott elméleti okoskodások alapján, hogy a vízszintes elmozdulásokat, tehát a lánchegységek keletkezését is kizárólag az izosztatikus befolyások hatásával magyarázzák. DUTTON, az izosztázia gondolatának atyja (1892) az eróziós tevékenységben - itt letarolás, amott felépítés - az izosztatikus egyensúlyi állapot állandó megzavarását vélte felismerni. A chaque chase a sa place, chaque place a sa chose arany szabálytól vezettetve feltételezte, hogy a megzavart egyensúlyi állapot csak úgy állhat megint helyre, ha az üledékek visszatérnek a letarolt hegység területére. Ilyen visszatérésről persze nem igen lehet szó.

DUTTON tehát azt tételezte fel, hogy az óceánok szegélyén a fiatal üledékek a kontinensek felé törekszenek. Ebből keletkezett volna az a vízszintes irányú nyomás, amely az üledékeket meggyúri és hegységbe tornyosítja fel.

Ez az új elmélet látszólag egyszerű magyarázatául szolgál annak a ténynek, hogy a lánchegységek mindig olyan területeken alakulnak ki, ahol a fiataalkori üledékek nagy tömegben rakodtak le. Érdeklődésünkre azonban, - legalább is ebben a kizárólagosságában - sokkal inkább tarthat számot, mert számos ellenvetést váltott ki. Következései ugyanis nem nagyon meggyőzőek. A tartós állandó munka, amelyet az izosztatikus állapotra való törekvés kifejt, mint magyarázat, nehezen egyeztethető össze a földtörténeti szabálytalan ismétlődésekkel, amelyek folyamán viszonylag nyugodt idők erőteljes hegyképző mozgások idejével váltakoznak. Az izosztázia befolyása, amelynek a dolog lényegéből folyólag nagy

területeken igen egyenletesen kellene eloszlania, nem bírja megmagyarázni a nagy lánchegységek fölöttébb bonyolult szerkezetét és fontos elágazásait. Éppúgy nem lehet oka a szárazföldi sial-rögökhöz kötött izosztázia annak sem, hogy óriási hegységek egy időben a földtörténeti mult egyetlen egy meghatározott időpontjában képződjenek, hogy mint összefüggő öv az egész földgömböt átfogják.

### *A tektonikai óra.*

A történelem nyilvánvalóan kétféle. Az egyik a nyugodt, jólétben élő népek története. Ez egy régi közmondás szerint nem is történelem. Azután meg előttünk áll néhány kultúrnép nagy történelme. Ezek multja megint nem egyéb, mint kisebb-nagyobb átalakulásoknak egymásután következő sorozata. Ebből azt kell következtetnünk, hogy a nyugalomnak és a jólétnek nincs történelme. A történeti mult valóságos nagyságát tulajdonképpen azoknak a forradalmaknak a száma és jellege szabja meg, amelyek ezt a multat időszakonként felélénkítik. Ez a végkövetkeztetés azonban csalódást okoz. Hiszen ha a geológusok örökösen azt mondják, hogy a hegyképződés lényegében nem más, mint a földtörténelem valóságos forradalma, akkor a szikláknak, vagy pedig az élet nyugodt fejlődésének története semmi esetre sem lehet az a bizonyos nagy történelem, amelyet a Földtől mindenestre elvárnánk. Mostantól kezdve tehát történelmi kíváncsiságunkat csak olyasvalami nyugtathatná meg, mint a hegyek története.

Az emberi történelem forradalmai azonban nem olyan egyszerű dolgok, mint ahogyan mi, avatatlanok, az első pillanatra gondoljuk. ROBESPIERRE, DANTON és MARAT, DUPLAY asszony és DESMOULINS LUCILE a történelem sötét vagy hősi alakjai, akiknek többkevesebb szerepet tulajdonítunk a francia forradalomban, amelyet nagyon helytelenül az egyetlen 1789-es évszámmal hozunk elválaszthatatlanul kapcsolatba. A történész számára azonban a francia forradalom nem korlátozódik erre a tragikus társaságra, sem pedig erre a vészterhes esztendőre. Hiszen beható és fáradságos kutatásai révén rájött arra, hogy a forradalom már sok évvel ezen időpont előtt előkészülőben volt, és utána még évtizedekre kihatott. Ami pedig az említett személyiségeket illeti, azt mondhatjuk, hogy a történész oly történelmi személyek egész sorát hozza kapcsolatba a francia forradalommal, akik már 1789 előtt régen eltűntek, vagy pedig csak sokkal később jelentek meg a történelem színpadán. A történész minden valóságos forradalomban rendszerint három nagy fejlődési időszakot különböztet meg. Az elsőben a forradalmi eszmék rajongó híveinek földalatti és titkos munkája megismerteti azokat a nagy tömegekkel. A másodikban, a tulajdonképeni forradalomban, a felgyülemlett elégedetlenség kirobbanása felborítja a fennálló társadalmi rendet, a harmadik hosszantartó és utolsóban pedig a győzedelmeskedő eszme új, felfogása szerint jobb rendszert teremt. A történésznek igaza van ezzel a beosztással olyankor, ha a forradalmat valóban valamilyen eszme irányítja és győzedelmeskedése után nem sekélyesedik el abban, hogy a régi renddel óvatosan kiegyezik.

Több, mint egy szempontból azonban a földtörténeti forradalommal való összehasonlítás mégis csak jogosult. A hegyképződés nem szorítkozik kizárólag a rétegzett üledékek többé-kevésbé erős összenyomására, a fennálló nyugalom erőszakos felborítására. A hegyképződésben más erők is szerepelnek, mint azoké, amelyekből a tulajdonképeni gyűrődés megmagyarázható. Történetírója, a geológus, éppúgy, mint a történész, számos jelenség alapján három nagy fejlődési szakaszt különböztethet meg a hegységek növekedésében.

Az elsőben, az előkészítő állapotban, a tenger alatt fekvő, nagyon jellegzetes medencék, az úgynevezett geoszinklinálisok feltöltődnek azokkal az üledékekkel, amelyeknek később a tulajdonképeni hegyképződés következtében össze kell majd torlódniuk. Sajnos a geológusoknak még nem sikerült egészen, hogy a földkéreg ezen sajátosság, előre meghatározott

öveit, amelyekből egykor a hegyek kinőnek, pontosabban körülírassák. Ez valószínűleg nem annyira a geológusokon múlt, mint inkább a geoszinklinálisoknak rendkívül bonyolult jellegén. HALL JAMES már régen felismerte azt a szabályt, hogy a gyűrt hegységek nagyjából azokkal a területekkel esnek össze, amelyeken a lerakódott üledékek leghatalmasabb vastagságukat érték el. Ezt a nagy vastagságot azonban nehéz egyszerűen, minden további nélkül, a mély tengerben való nyugodt, hosszantartó leülepedéssel magyarázni. Hiszen az Alpok némely részében több ezer méter vastagságban találunk mészköveket. Ezek legfelsőbb rétegeikben nagyjából ugyanolyanok, mint legalul, számbajövő változásokat hatalmas vastagságukon belül nem igen figyelhetünk meg. Ha azonban a mély tengert zavartalan ülepedés töltene fel, akkor joggal várhatnók, hogy a, mondjuk, 300 méter mélységben leülepedett rétegek más tulajdonságokat mutassanak, és más életnyomokat tartalmazzanak, mint azok a kőzetek, amelyek, mondjuk, 1000 méter mélységben ülepedtek le.

Ezért tehát azt tételezték fel, hogy az ilyen óriási vastagságú kőzetek a valóságban tulajdonképpen meglehetősen sekély tengerben ülepedtek le, s ahogy új üledékek rakódtak le, ugyanolyan mértékben süllyedt állandóan a tengerfenék is. Régebben a geológusok ebben vélték a nagy medencék legjellegzetesebb tulajdonságát felismerni. Így azt mondták, hogy a geoszinklinálisok a földkéregnek olyan területei, amelyek állandó gyors süllyedésben voltak. Később azonban hovatovább mind több jelenséget fedeztek fel, amelyek ennek az egyszerű elképzelésnek teljes szigorúságát valamelyes enyhítették. Néhány gyűrt hegységben ugyanis helyenként, minden valószínűség szerint mélyebb tengerben lerakódott, vékony üledékréteget találtak. Másutt meg az ülepedés időszakos megszűnésében találtak bizonyítékot arra vonatkozólag, hogy időnként emelkedéseknek is végbe kellett menniük. Így azután a süllyedésnek sem az állandó, sem egyenletes jellegét nem fogadhatták el korlátlanul. Csak ha figyelembe vesszük a geoszinklinálisok törvényszerű összefüggését a nagy lánchegységek keletkezésével, csak akkor nyerünk világos bepillantást tulajdonképeni lényegükbe.

A második, a hegyképződés úgynevezett orogenetikus időszakában a geoszinklinálist vízszintesen ható erők összenyomják. A benne lerakódott üledékek összegyűrődnek és egymásra tolódnak. Ennek a folyamatnak nem kell okvetlenül a felszínen végbemennie, hanem valószínűleg a tenger színe alatt, a lerakódott üledékek nyomására indul meg. A hegyképződésnek ebbe az aránylag rövid forradalmi időszakába teszi a geológus az eredetileg vízszintesen települt üledékes sorozat minden szerkezeti megzavarását.

Az utolsó, úgynevezett epirogenetikus időszakot, a meggyűrt rétegsorozatnak a felemelkedését az izosztázia szabja meg. Ebben az időszakban tehát nem igen mutatkoznak forradalmi események. Az egyensúlyi állapotot a gyűrődés és ennek folytán a könnyű üledékeknek a megkétszereződése megzavarta. A izosztázia elmélete szerint most megint helyre kell állania a megzavart egyensúlyi állapotnak. Ez csendesen, lassan végbemenő folyamat, a nagy rögök lassan, fokozatosan felemelkednek, így jönnek létre a tulajdonképeni magashegységek. A gyűrt hegységek fiatalkori epirogenetikus emelkedésének bizonyítékát megtalálták néhány lánchegységben, ahol a harmadkori és negyedkori rétegek elütő településsel rakódtak rá a régebbi, meggyűrt rétegekre. Ebből az következik, hogy ezek a rétegek csak akkor rakódtak le, amikor a tulajdonképeni gyűrődés már befejeződött, és hogy ezek csak újabban, minden különösebb megzavarásuk nélkül, az egész hegységgel együtt emelkedtek fel. Az a tény, hogy a magas hegycsúcsok mind a Himalájában, mind pedig az Alpésekben bizonyos meghatározott magasságokhoz vannak kötve, szintén a fiatalkori emelkedések bizonyítékául szolgál. Ezekben ugyanis régi abrázíós felületek maradványait látják, amelyek a gyűrődés után felemelkedtek és ma az erózió végzi rajtuk pusztító munkásságát.

Mindebből az következik, hogy a hegységek a geoszinklinálisokból erednek, de egyúttal az is, hogy a geoszinklinálisokat ma már csak a gyűrt hegységekben ismerhetjük fel. A többi

geoszinklinális, amint azt már előbb említettük, ma a tenger alatt fekszik, tehát minden megfigyelés számára hozzáférhetetlen. Ha összehasonlítjuk a geoszinklinálisok helyzetét a földtörténeti mult különböző időszakaiban, akkor rögtön szembetűnik, hogy csodálatosképpen a geoszinklinálisok meglehetősen állandóak, permanensek voltak. A földtörténet egész folyamán keresztül a Föld felületének nagyjából ugyanazon pontjain voltak geoszinklinálisok. Ezzel persze még korántsem akarjuk azt mondani, hogy az a keskeny csík, amely például a mezozoikum térképén geoszinklinálist jelent, ennek valódi méreteit tükrözi vissza. Az ilyen rekonstrukciókban nem lehet kellőképpen figyelembe venni azt a tényt, hogy a geoszinklinálisok a hegyképződés alkalmával összesajtolódnak. Valódi szélességüket tehát csak akkor ítélnék meg, ha a hegységeket megint laposan szétteríthetnők.

A geoszinklinális öveknek ez a feltűnő állandósága a hegységek keletkezési módjával együtt maguknak a geoszinklinálisoknak jobb és pontosabb meghatározásához vezet: a geoszinklinálisok a földkéregnek rendkívül mozgékony részei, melyek az úgynevezett ciklikus fejlődés folyamán, hol hegységek, hol pedig ismét mély tengerek és ilyenkor néha hosszú földtörténeti korokon át állandóan süllyedő állapotban voltak. Ebben a nagyfokú mozgékonyaságukban élesen különböznek a merev, kontinentális tömegektől.

A hegyképződésnek ez a taglalása, amely három, időben is egymástól távol eső állapotot különböztet meg, lett a hegyek történetének kiindulási pontjává. Valóban azt próbálták meg, hogy a földtörténeti multat azon orogenetikus forradalmak szerint osszák be, amelyek a Föld arculatát egymás után megváltoztatták. Ez a kísérlet annál inkább jogosnak látszik, mert a hegyképződés üteme nemcsak Földünk anyagi fejlődésére, hanem a szerves élet változásaira is kihatott. Mivel pedig éppen ezeket a változásokat tették meg a földtani időszámítás alapjává, most úgy tűnik fel, mintha fordítottan az okozatokat választották volna az okok időmértékéül.

Úgy látszik tehát, hogy a földkéreg közeteiben jól felismerhető bélyeget találtak, amelynek segítségével régebbi hegyképződés orogenetikus időszakának a nyomait felismerhetjük és az egész földfelületen át követhetjük. Erre vonatkoztathatnók most már az összes többi földtani jelenséget is. Épp ily módon mérték az élet fejlődését a kövület szervezetségi fokával, amelynek segélyével egy bizonyos történés korát meg lehetett állapítani. Minden orogenetikus időszak tehát szükségszerűen valamely elütő településhez kapcsolódik. Az elütő település ennél fogva már kezdettől arra hivatott, hogy mint megkülönböztető jellegzetes bélyeg szerepeljen. Ezért azt tételezzük fel, hogy az elütő települések az egymástól nagyon távol eső vidékeken is nagyjából egyidőben keletkeztek és minden időben megint felismerhetők.

Habár ezt a feltételezett egyidejűséget egyáltalában nem bizonyították még be, ami különben csak a kövület segítségével volna lehetséges, mégis teljesen biztosnak látszik ez a felfogás mindaddig, amíg a földtörténeti multban csak három nagy orogenetikus forradalmat tudtak megkülönböztetni. Úgylátszott, hogy ezeket éles és határozott diszkordanciák választják el egymástól, és valóban a földtörténet különböző fejlődési időszakait rögzítik nagyon is világos módon. Az élet története alapján kialakított beosztást, amelyben ó-, középső- és újkort (paleo-, mezo- és kainozoikumot) különböztettek meg, talán be lehetett volna illeszteni valamilyen orogenetikus időskálába. Ez utóbbinak az időszakait a hegységekről lehetett volna elnevezni, hiszen mi sem egyszerűbb, mint új neveket kitalálni. A kaledoniai hegyképződés, amely a szilur és devon között a régi Ős-Európát Skócia (Kaledonia) és Skandinávia hegységeivel szegélyezte, nyithatta volna meg azt a nagy korszakot, amelyben a halak és a kétélűek megjelentek és virágzásnak indult az első kezdetleges szárazföldi növényzet. A variszki forradalom, amelynek következtében a karbonkorszak vége felé szintén nagy hegységek alakultak ki, vezette volna be a mezozoikum csodás növény- és állatvilágának kialakulását. Az Alpeselek és a Himalája alpesi kialakulása pedig a kréta- és harmadkor között megrövidítette ezt

a rejtélyes életet és hozta létre azokat a feltételeket, amelyek az emlősök fejlődésének kedveztek és lehetővé tették az első ember megjelenését a teremtés színpadán.

Ma már ott tartunk, hogy nem kevesebb, mint 32, azaz harminckét diszkordanciát ismerünk, s ha következtetések akarnánk lenni, akkor ezekhez most már 32 kéregmozgási időszakot kellene kapcsolnunk. Ebből tehát azt látjuk, hogy az orogenetikus időskála a valóságban sokkal bonyolultabb, mint amilyennek kezdetben látszott. Ennélfogva nemcsak arra a kiábrándító tapasztalatra jutottunk, hogy ezek a diszkordanciák úgy látszik nem mindenütt lépnek fel egyidőben és korántsem ismerhetők fel minden területen, hanem még más nehézség is mutatkozik, u.i. az azoikum közetei mozgalmass történetük folyamán annyira megváltoztak, hogy úgyszólván teljesen lehetetlen ezeknek a legrégebbi időknek a különböző orogenetikus időszakait egymásból megkülönböztetni.

Ez azt a látszatot keltheti, hogy a Föld nyugtalansága állandóan növekedett, mert a fiatalabb, rövidebb időszakokban több hegyképződést jegyezhetünk fel, mint az archaikum megmérhetetlen hosszú idejéből. Mindez okoknál fogva tehát a földtörténeti multnak az orogenetikus folyamatok alapján való beosztása, enyhén szólva, még legalább is korainak látszik. Semmi esetre sem tagadhatjuk, hogy a Föld története erősen és hallhatóan visszhangzik a hegyképződések gongútéseitől. De ezek csak az órákat jelzik. Amit nem hallunk, az a nyugodtabb időszakok időmérőinek, a kövületeknek percekkel jelző gyenge, finom ketyegése.

## VI. Az ingatag kéreg.

### *Bazalt, gránit és magma.*

A neptunisták és plutonisták között folyó harc legelkeseredettebb vitái néhány kőzet körül zajlottak le, amelyek keletkezését és eredetét a két párt különböző módon, de egyenlő meggyőződéssel és makacssággal igyekezett megvilágítani.

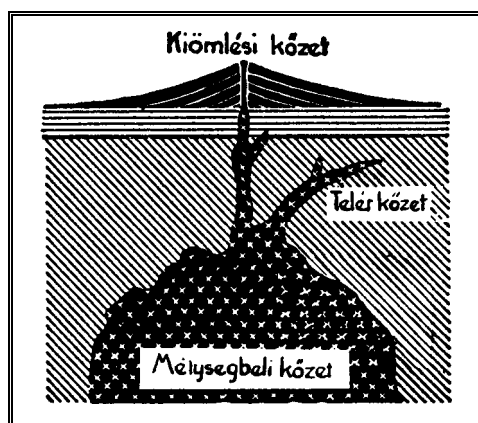
Nem szabad csodálkoznunk azon, hogy mindenekelőtt a bazalt, amelyet ma oly természetesen és egykedvűen használnak gátak, töltések és úttestek kikövezésére, állott több mint fél évszázadon keresztül a nagy tudományos harc központjában. Földtani előfordulása, összetétele, külseje s az a csodálatos tulajdonsága, hogy öt vagy hat oldalas oszlopokban válik el, mindannyian olyan sajátságos tulajdonságok voltak, amelyeket egyetlen más üledékes kőzeten sem tudtak felfedezni. A földtan akkori helyzetében mégsem gondolhattak másra, mint üledékes eredetre! Így az oszlopos elválásban sem láttak mást, mint a bazalt sajátságos kristályosodási szokását. Azt gondolták, hogy minden vidék, ahol ma szálban álló bazaltot találunk, tenger alatt volt valamikor, s ebből csapódott ki a bazalt ilyen alakban.

A földtan első művelői hasonló magyarázatot adtak a gránitra vonatkozólag is, amelynek előttünk úgy látszik, sok szempontból nagyon rejtélyesnek kellett feltűnnie. Eltekintve attól, hogy egyáltalában nem fordulnak benne elő kővületek, már csak szerkezeti felépítésében is vajmi kevésbé emlékeztet ez a kőzet valódi üledékre. A gránit szabad szemmel is jól és világosan felismerhető, különböző alakú és színű kristályok rendszere. A benne látható kristályokat sem a letaroló, sem a szállító erők nem támadták meg és nem gömbölyítették le, mint az üledékek összetapasztott szemcséit. Természetes alakjukban oly szorosan helyezkednek el egymás mellett, hogy ezáltal a gránitot minden további kötőanyag nélkül nagyon szilárd, teljesen kristályos kőzetté teszik. Ennek a sajátságos kőzetnek szelvényhosszában való elterjedése és földtani helyzete kezdetben nem látszott nagyon rejtélyesnek. A gránit minden rétegzés nélkül többnyire az üledékek alatt fekszik és csak a kontinensek belsejében, ahol a fedő üledékes rétegeket az erózió már nyilván letarolta, találjuk meg nagyobb kiterjedésben a felületen is. Így azután a neptunista iskola tanításának következetes alkalmazása ahhoz a hamis végkövetkeztetéséhez vezetett, hogy a gránitoknak és a vele rokon kőzeteknek a legrégibb üledékeknek kell lenniök, amelyek bolygónk fokozatos lehülésével, az első meleg ósocéánból csapódtak ki, és amelyekre később az összes többi üledékes kőzet meghatározott sorrend szerint rakódott le.

Az új megfigyelések és tények ma már ugyan teljesen kiszorították ezeket a felfogásokat, most már csak történeti jelentőségük van. De még sem hagyhatjuk említés nélkül, mert WERNER és követői a tömeges kőzeteknek ezzel a szélsőségesen neptunista magyarázatával valóban a neptunizmus utolsó védelmi vonalát tartották annak a tragikus ténynek teljes tudatában, hogy annak elvesztésével iskolájuk sokkal nagyobb területei is veszendőbe mennek. A bazalt elvesztésével a neptunisták végre is megadták magukat, így megszűnt a földtan tudományában az a nagyon is termékeny vita, amely HUMBOLDT ALEXANDER szerint - már pedig az ő bizonyágtétele ugyancsak fontos - „az emberi éleseszűségnek egyik emlékköve” marad minden időben.

Ma már tudjuk, hogy a gránit mélységbeli kőzet, a földkéreg biztonságos mélységeiben abból az izzónfolyós kőzetpépből szilárdult meg, amely Földünk mélyebb és magasabb hőmérsékletű részeiből felnyomulva, erőszakkal foglalta el helyét a szilárd földkéregben és ezzel a

rendkívüli nagy erő kifejtéssel korai fagyhalált szenvedett. Ezzel most már a plutonisták örökségén építünk tovább. A vegytan törvényei igazolják, hogy a gránit teljesen kristályos szerkezete annak a lassú és teljes lehülésnek következménye, amely a földkéreg illető mélységében tényleg uralkodó meghatározott nyomás és hőmérsékleti-viszonyok közepette ment végbe. A kontinensek magvát alkotó központi gránittömegekben az erózió által a napszínre jutott batholitokat látjuk, azaz a mélységbeli kőzeteknek olyan óriási tömegeit, amelyek átmérőit több száz kilométeresek. Úgy látszik, mintha ezek az örök mélységek felé folytatódna és lenn a nagy mélységben a Földnek talán még folyékony részével is kapcsolatban állanának. Egyébként úgy látszik, mintha ezeknek az ősi tömzsöknek legnagyobb része a kambriumnál idősebb volna. A központi batholitokon kívül azonban a mélységbeli kőzeteknek sok olyan megjelenési alakját ismerjük, amelyek oldalelágazásaikkal keresztül hatolnak a fiatalabb üledékeken is, tehát egyáltalában nem áll meg az a feltevés, hogy valamennyi gránitnak szükségszerűen idősebbnek kell lennie a legősibb üledékeknél is. Ellenkezőleg, a földtörténet minden pillanatában keletkeznek mélységbeli kőzetek, és bizonyára létrejönnek még ma is az elérhetetlen mélységekben (48. kép).



48. kép. A mélységbeli-, telér- és kiömlési kőzet összefüggése.

A bazaltot ezzel szemben kiömlési kőzetnek ismerjük. Keletkezését fölöttébb kedvező körülményeknek köszönheti. Ezek lehetővé tették, hogy a folyékony kőzetanyag a földkéreg hasadékein és törésein vagy pedig az önmaga által létrehozott utakon elérhesse a Föld felszínét és ott kiömlhessék, majd a hideg légkörrel való érintkezés következtében hirtelenül lehűljön és megmerevedjék. Az oszlop-képződés közvetlen következménye ennek a gyors lehülésnek. Keletkezésüket nagyjában legjobban talán a kiszáradó iszapnak zsugorodás által képződött repedezettségével hasonlíthatjuk össze. Hasonló módon repedezett össze a kiömlött kőzet felülete is öt- vagy hatszögletű darabokra és abban a mértékben, ahogy a lehülés a mélység felé is lassan továbbhaladt, fokozatosan létrejöttek a gyakran nagyon szabályos oszlopok. Legtöbbszörre merőlegesen állanak a kihülési felületre, az először és leggyorsabban kihült részre. Pompás kifejlődésű oszlopokat találunk a Somoskői Várhegyen és a Balaton melléki bazaltvidéken (Szent György hegy, Badacsony). A rajnai bazaltvidéken helyenként harmincméteres vagy még nagyobb hosszúságokat is elérhetnek. (LII. tábla.)

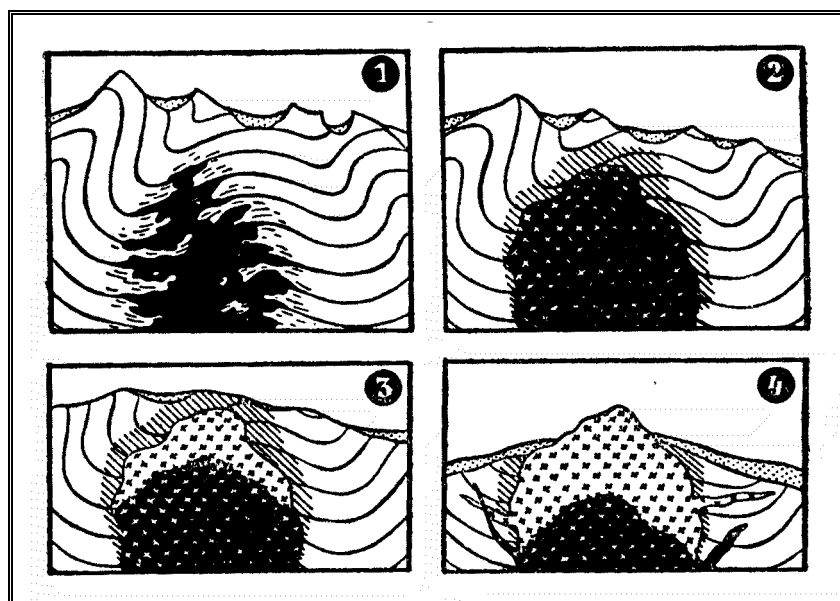
Az oszlopoknak és zsugorodási repedéseknek mértani sajátosságait és csodálatos szabályszerűségét itt, sajnos, figyelmen kívül kell hagynunk. Mindenekelőtt nyíltan kell hagyni azt a kérdést, vajon a lehülési jelenségek miért éppen az öt- vagy hatszögletű keresztmetszeteket részesítik szemmel láthatólag előnyben akkor, amikor a sokkal kisebb számban előforduló három- vagy négyszögletes alakok éppen annyira alkalmasak volnának arra, hogy a legtömöttebb csoportosulásukkal meghatározott felületet teljesen kitölthessenek.

A megmerevedett tömegben keletkezett hasadékokat és töréseket, amelyekbe benyomul a még folyós magmamaradék, ill. amelyeken át a mellékkőzetbe esetleg egész a felületig nyomulhatott, természetesen kőzet tölti ki, s magától értetődik, hogy ennek a kőzetnek megint saját neve és külön helye van azokban a rovatokban, amelyekbe mindent beosztanak, ami a Földre vagy a Földből való. A geológusok ezen kőzetek földkéregben való előfordulási módjuknak megfelelően telérekőzetekről beszélnek. Ezeknek szélessége magasságukhoz és hosszúságukhoz viszonyítva nagyon csekély.

Az általánosan ismert porfirok szöveti szerkezetét - nagyobb kristályok, kisebbekből álló alanyagba ágyazva - jellemzőnek tartják azokra a kőzetekre, amelyek a Föld felületén vagy ahhoz közel merevedtek meg. Mint mindenütt a természetben, itt is vannak átmenetek. Ezek valamennyijének helyét megint csak nem határozhatjuk meg pontosan abban a merev osztályozásban, amelyre korlátozott felfogó képességünk mindenkor rákényszerít. Ebben a tágabb értelemben a felületen képződött kiömlési kőzetet és a batholitban megjelenő megfelelő mélységbeli kőzetet, tehát az ugyanolyan vegyi összetételű két szélsőséges megmerevedési terméket, a legkülönbözőbb átmenetek kötik össze. Jellemző tulajdonságaiknak sokféleségében azokat a környezet által megszabott különböző és változatos körülményeket tükrözik vissza, amelyek közben az izzón folyó kőzetanyag megmerevedése végbement. S minthogy a mikroszkóp a kőzetek vegyi vizsgálatával karöltve néhány lehetőséget ad arra, hogy ezeket a körülményeket és a környezetet rekonstruáljuk, a tömeges kőzetek (kevésbé helyesen megmerevedési kőzeteknek is nevezik) valóban az első, rendkívül fontos és értékes segítséget nyújtják ahhoz, hogy egy pillantást vethessünk a szilárd földkéreg alatt bizonyos mélységben már régen sejtett és feltételezett folyékony tömeg természetére.

Ezt az izzón-folyós tömeget a geológusok magmának nevezik. Nyilvánvalóan jogos ez az elnevezés, mert a görög magma szó olyasvalamit, mint gyúrható tésztát jelent. A geológusok a magmán valóban nyúlós-folyós, nagyon magas hőmérsékletű, olvadt kőzetsépet értenek, mely valahol a szilárd földkéreg és az ugyancsak szilárd, nikkelt és vasból álló földmag között helyezkedik el. Ezzel a korlátozó körülírással csak azokkal akarok szembehelyezkedni, akik éppen fordítva, folyékony földmagra gondolnak vagy pedig ezt a szót EMPEDOKLES (492-432-ig Kr.e.) tanával kapcsolatban kissé más értelemben már olvasták. Ezeknek a megnyugtatóra felemlítem, hogy a magma kifejezést talán a görögöktől vettük át, de ennek a fogalomnak a tartalma és terjedelme azóta többször és lényegesen megváltozott. Őszintén szólva, saját története van, hiszen EMPEDOKLES óta természetesen nagyon sokat tanultunk. A Földközi-tenger körül ismert vulkánokon végzett megfigyelései alapján EMPEDOKLES arra következtetett, hogy a Föld belseje folyékony állapotban van. Hogy az élő magmát közvetlen közelből tanulmányozhassa, leereszkedett az Etna egy kráterébe. Ez a meggondolatlanúság azonban életébe került. Mi óvatosabbak lettünk, és a még folyékony mélységbeli tömegek tulajdonságait a holt, kihűlt magma áhítatos tanulmányozásával igyekszünk megismerni. Hiszen ezt az erózió föltárta és ma telér és mélységbeli kőzetek alakjában nagy változatosságban látjuk szemünk előtt a Föld felszínén. A vulkánokat ma fokozott tevékenységük néhány tanulságos pillanatában többnyire biztos megfigyelő helyről, meglehetősen távolságból tanulmányozzuk. Ha pedig valaki az azbesztpáncélok és oxigénes készülékek kétes védelmére bízva magát mégis lemerészkedik a működő tűzhányók kráterébe, akkor állíthatjuk, hogy az illetőt sokkal inkább hajtotta az amerikai feltűnésvágy, mint a dicséretre méltó tudásszomj. Ezzel csak annyit akarunk mondani, hogy EMPEDOKLES tudásszomjától hajtott tudatlanságának összehasonlítása a technikának az európai szellem számára idegen amerikaiasságával - e tekintetben nagyon amerikaiak európaiak is vannak - nem mindig jelenti EMPEDOKLES hátrányát.

Már elméleti megfontolásokból, ilyen kísérletek nélkül is, tudjuk, hogy nem kell túlságosan mélyre mennünk ahhoz, hogy elérjük azokat a régiókat, ahol az állandóan növekedő hőmérséklet következtében minden kőzet megolvad. Minthogy azonban a mélységgel a nyomás is állandóan növekedik, ez végül is megakadályozza, hogy a megolvadt kőzettömeg valóban folyni kezdjen. Ez vezet bennünket a magma sajátos állapotához: nagy nyomáson szilárd, de magas hőmérséklete következtében megvan az a potenciális sajátosága, hogy folyós lehet. Kiszámították, hogy már harminc kilométer mélységben körülbelül tízezer kilogrammos nyomás hat minden négyzetcentiméterre, vagyis ott tízezer légköri nyomás uralkodik. Ilyen nyomási és hőmérsékleti feltételekkel szemben laboratóriumaink csődöt mondanak.<sup>3</sup> Így most már megérthetjük, miért beszélnek a geológusok inkább plasztikus, képlékeny tömegről, mint folyékony anyagról. Ennek a plasztikus, képlékeny állapotnak a következménye, hogy a magma valóban rögtön folyni kezd, mielőtt a nyomás megszűnik, vagy helyileg csökken. Mozgásba jön és a mozgás természetesen felfelé irányul, minthogy a nyomás ebben az irányban a legkisebb és az ellenállás is errefelé a legcsekélyebb. Így lesz az 1000 fokonál magasabb hőmérsékletű magma felszállása aggasztó valósággá. Riasztó képek vonulnak el szemünk előtt, amelyeken a vörösen izzó láva - így nevezzük a kiömlött magmát - a Föld felületére ömlik. Ezeket az elméleti megfontolásokat a valóság is támogatja. Mert akármilyen a Föld belsejének az összetétele és bármilyen viszonyok uralkodnak a nagy mélységben, tény az, hogy mindenütt, ahol a földkéregnek gyenge övei vannak, magas hőmérsékletű folyékony kőzettömegek lépnek napvilágra.



**49. kép. a földkéreg üledékes kőzetei közé benyomuló izzón folyós magmatömegben végbemenő változások. 1. az üledékek egy részét a magma beolvasztja, miáltal összetétele megváltozik. 2. az izzón folyó magma hatására kialakul a kontakt udvar. 3. megindul a magma széthasadása, a nehezebb, vas-magnéziumban dús magmarészek a mélység felé húzódnak, a könnyebbek fönt helyezkednek el s megkezdődik a magma megszilárdulása illetőleg kikristályosodása. 4. a 3. alatti folyamatok tovább folytatódnak lefelé, miközben a batholith felső része a letarló erők működése következtében a felszínre kerül.**

<sup>3</sup> Az amerikai BRIDGMAN laboratóriumában újabban ötvenezer légköri nyomást is elért. Kísérletei talán a mélységbeli tömegek viselkedésére is felvilágosítással szolgálhatnak. (Fordító.)

Nagyon bonyolult a kérdés, hol és hogyan keletkezik a magma, és milyen a magmában rejlő, vagy idegen erők teszik számára lehetővé, hogy a földkéregben felfelé törhessen. Erre a kérdésre csak kevés ténnyel, de annál több elmélettel lehet felelni. A tömeges kőzetek és a földfelület vulkánikus jelenségei mégis csak néhány használható támpontot nyújtanak a magma feltételezhető összetételéről. Helytelen volna azonban, ha az egymástól különböző tömeges kőzetek nagy számából azt következtetnők, hogy ugyanannyi különféle magma van. Inkább úgy kell elképzelni az egész folyamatot, hogy a magma a földkéregben megtett útja folyamán megváltozik, vagyis differenciálódik és így nyújt módot a különböző kőzetek alakjában való megmerevedésére, illetőleg azok keletkezésére (49. kép).

Az itt is működő, általános nehézségi erő hatására a nehezebb alkatrészek lesüllyednek, a könnyebbek pedig felemelkednek, és talán eme erő hatásában láthatjuk a legfontosabb okát annak, hogy az ősmagma különböző összetételű magmákra hasad szét. Azt is meg kell gondolnunk, hogy a magma magas hőmérséklete és a benne oldott sok gáz következtében nagy mértékben képes arra, hogy a földkéreg szilárd kőzetein átnyomuljon, azokat megtámadja, letörje, megolvassza és feloldja. Sőt, nagyon is elfogadható megfontolások alapján azt is felteszik, hogy a magma éppen a felette levő kőzettömegek fokozatos felemésztésével, beolvasztásával tör magának utat a Föld szilárd kérgén keresztül. Az pedig elképzelhetetlen volna, hogy eme falánksága, az asszimiláció mellett, amellyel oly sok idegen és különmű kőzetet emészt meg, a magma maga változatlan maradjon. Akárhogy álljon is a dolog, a geológusok a tömeges kőzeteket családokba osztályozták és az egyes családok között igen szoros kapcsolatot fedeztek fel (a kőzetan egyes ágaiban a kőzetek vérrokonságáról is beszélnek), amelyek alapján valószínűleg el kell fogadni azt a feltevést, hogy körülbelül húsz kilométer mélységben (de lehet, hogy harminc kilométernyiben!) a gránittal azonos összetételű magma volna, ezalatt egy második, nehezebb, bazalt-összetételű. Ezek szerint a gránit az első magma mélységbeli kőzete, a bazalt pedig a másodiknak a kiömlési kőzete.

Az is lehetséges, sőt nagyon valószínű, hogy a gránitos és a bazaltos magma csak ugyanazon ősmagmának hasadási terméke s így az eszményi burokszerkezetben ezek alatt még nehezebb, más összetételű és más sűrűségű magmák helyezkednének el. Azonban ezzel az egyébként elég elfogadható elképzeléssel megint csak a terra incognita, ismeretlen föld ama hatalmas birodalmába jutunk, amely bolygónk szilárd kérge és a vas-nikkel-mag között fekszik.

Több mint hatezer kilométert burkoló titok ez annak, aki tudásával dicsekedni akar...

### ***Tűzhányó-hegyek.***

A természet nagy jelenségei között, amelyek magukkal ragadó szépségben és fölülmúlhatatlan hatalomban nyilvánulnak meg, már a legrégebb idők óta különös vonzerővel hatottak az ember képzelőerejére a vulkánok. A tűzhányó-hegyek rejtélye és végzetes hatásai mindig nagy mértékben foglalkoztatták az ember képzeletét. A zoltárok misztikuma Isten mindenható hatalmának tanuivá teszi a tűzhányókat: „Ha Ő ránéz a Földre, megrázkódik a Föld; ha Ő megérinti a hegyeket, füstölögnek a hegyek”. Az ókor hitregéinek realizmusában néhány nagyon is emberi istennek lakóhelyül szolgálnak. Babonás félelemmel és tiszteletteljes távolságtól nézték az Etnát, az akkoriban ismert kevés működő vulkán egyikét. Krátere volt a bejárat PLUTÓ földalatti birodalmába, mélyében meg ott volt VULCANUS kovácsműhelye, ahonnan izzó szikrák repültek ki, mikor JUPITER villámaival kovácsolta.

Az újabb idők újabb elképzeléseket hoztak magukkal. A gyermeteg, mindenütt isteneket sejtő emberiség új nemzedéknek adta át helyét. A régi és az új tudás összeütközött. Különösen világosan mutatja ezt azoknak a spanyoloknak elbeszélése, akik 1520. körül Nikaraguába jöttek s a Massayát, amely ma már csak krátertő, még működni látták. Mindent jobban tudni

akaró elbizakodottságukban nézniök kellett, miként lökték be a bennszülöttek a törzs legszebb lányait az izzó kráterbe, hogy ezzel a tetszetős áldozattal jóindulatúvá tegyék a vulkán haragos isteneit. Mikor azonban közelebb kerültek a spanyolok a vulkánhoz, akkor az olvadt lávában izzó aranyat véltek felfedezni. A különös jelenség ismeretlen volt számukra és nagy kapzsiságukban leereszkedtek a kráterbe.

Az ész védelme és zászlaja alatt az Enciklopédia adta az első természetes magyarázatot a vulkánok működésére. A szalonok tudományos kacérkodása számtalan elméletben nyilvánult meg, amelyek a Föld jelenségeit igyekeztek megmagyarázni. A tűzhányók kitöréseiben a mélyebb földrétegek hatalmas égését látták s úgy vélték, hogy ha ezek véletlenül egyszer már lángralobbantak, akkor földalatti szelek égésüket tovább élesztik. Úgy képzelték, hogy a Földben nagyon sok éghető anyag van. A tűzhányóhegyek jelenségeit kísérletekkel is igyekeztek utánózni. Néhány centiméterrel a Föld színe alatt könnyen lángralobbánó anyagokat robbantottak fel s minden egyes eredményből új elmélet született. Minden egyes elmélet arra hivatkozott, hogy csakis az illető kísérlethez alkalmazott vegyi anyag alkalmas a természetes vulkánok magyarázatára. A geognóziának - ahogy a gyermekcipőben járó földtant nevezték - még komoly tanítványai is feltételezték, hogy vannak olyan vulkánok, amelyek a földi olaj égéséből táplálkoznak, és olyanok, amelyek működését a kőszén tartja fenn. Ezek az együgyű elméletek végül is oly messzire mentek, hogy az elektromosság felfedezése után ezt a titokzatos erőt tartották a tűzhányók jelenségeinek egyetlen lehetséges okául. Sőt teljes komolysággal még azt is javasolták, hogy ezt a földalatti égháborút sok villámhárító segítségével vezessék le, hogy ezzel megmentsek a tűzhányó-hegyek pusztításaitól gyakran sujtott területeket. Felismerünk azonban már olyan kísérleteket is, amelyek a vulkánokat a Föld felületén elfoglalt földtani helyzetük alapján igyekeztek megmagyarázni. A Vezuv sokkal közelebb fekszik Sziciliához, semhogy ne próbálták volna meg benne az ottani kénmezők füstölgő kéményeit felismerni. Más elméletek meg a tűzhányók működését és a közben kitörő gázokat azzal magyarázták, hogy mikor a felszíni víz érintkezésbe kerül az izzó földmaggal, akkor robbanásszerűen gőzölög el. Ez az elmélet a valóságban, ha nem is mindig világosan, de arra az egyébként helyes megfigyelésre támaszkodott, hogy a legtöbb tűzhányó a partok közvetlen közelében vagy pedig a víz alatt van.

A Föld felszínének vulkanizmusa, amint azt ma saját megfigyeléseinkből vagy közvetett tapasztalatok árán ismerjük, csak kis része annak, amit a geológusok vulkanizmusnak neveznek. Hiszen ez utóbbiban mindazokkal a jelenségekkel foglalkozni kell, amelyek a magmának a földkéregben való felemelkedésével kapcsolatosak. A vulkánokban pedig Földünk testének égő sebeiben, a természetes csatornák vagy kémények nyílásait látjuk, amelyeken át a mélységbeli magma összeköttetésben áll a légkörrel. A szemünk előtt lejátszódo vulkánikus jelenségeket, nem törődve azzal, hogy a jövő nemzedékek talán a mi együgyű elméleteinket is mosolyogva fogják idézni a történeti áttekintés fejezetében, ezidőszerint a magmában oldott sók és különböző gáz nyomásával magyarázzuk.

Hogy ezek a gázok honnan jönnek, egyelőre még nagyon rejtélyes. A mi feladatunk szempontjából nem nagyon lényeges, vajjon ezek azok a hírhedt földalatti szelek-e, amelyek ARISTOTELES és STRABO szerint nagy fáradsággal keresnek maguknak kivezető utat, vagy pedig, mint azt ma sokan feltételezik, a még gázalakú Földnek szegényes maradékai-e, amelyeket a képlékeny magma magába zár és fogva tart. Számunkra elég annyi, ha tudjuk, hogy valóban léteznek és befolyást gyakorolnak a magma mozgékonyására.

Mindenütt azt látjuk, hogy a működő tűzhányókból hamu és láva, mindenekelőtt azonban és csaknem állandóan gázok törnek elő. Azokon a vidékeken pedig, ahol a vulkanizmus látszólag kialvóban van, tevékenységének utolsó rezzenései rendkívül nagy gáztömegek termelésében nyilvánulnak meg. Nem kételkedhetünk tehát abban, hogy a magmában gáz van. Sőt felmerült

az a kérdés is, vajjon a felszíni vulkánosságnak nem a gázok-e a legfontosabb termékei, és az összes többi anyag, illetőleg jelenség csak mint melléktermék ill. mellékjelenség értelmezhető? Azt nem tudom, hogy erre a kérdésre teljes bizonyossággal válaszolhatunk-e. A földtan költészetében azonban él a szállóige: ahol nincs gáz, tűzhányó sincs. Világos és határozott megállapítás!

Épp ily kevésbé kételkedhetünk a gáz befolyásában is. A gáz nem tétlen anyag, jelenlétét azonnal elárulja, mégpedig rendszerint meglepő tevékenységgel, mihelyt erre alkalma nyílik, bár hatását régebben meglehetősen lebecsülték. A tűzhányók gázainak nagy jelentőségét egyébként a laboratóriumi vizsgálatok is kimutatták. Folyó láva hőmérsékletét vizsgálva 750 fokot mértek, ahhoz azonban, hogy a megszilárdult láva megint folyékonnyá legyen, már 1200 fokra kell felhevíteni! Pedig a lávával semmi más nem történt, csak az, hogy a lehűlés alkalmával a benne lévő gáz kiszabadult és hátrahagyta azokat a jellemző üregeket, amelyeket lyukacsos lávákban megfigyelhetünk. Ebből az világlik ki, hogy a bezárt gáztömegek a magma fizikai viselkedését rendkívül nagy mértékben befolyásolják.

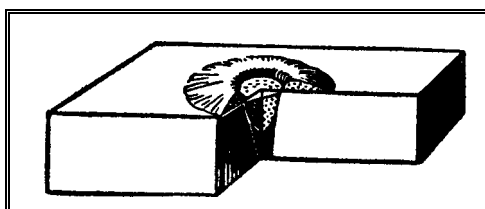
A természet kísérleti utánzása azonban még egy fontosabb eredményt is szolgáltatott. Nagynyomású gázt hajtottak keresztül szilárd kőzetek apró repedésein és hasadékein. Ezek a kísérletek arra a megdönthetetlen eredményre vezettek, hogy ezek a gázok a legjelentéktelenebb, hajszálfinom repedéseket és kis hasadékokat is kiszélesíthetik és hengerszerű csatornákká fújhatják ki. E csatornák falain a lecsiszoló működés világos nyomait ismerhetjük fel. A kőzet, amely előbb ezeket a csatornákat kitöltötte, szétaprózódott, szétmorzsolódott. Hasonló jelenségeket látunk nagyban a természetben is. Ennélfogva azt kell képzelnünk, hogy a magma fokozatos lehűlésével és kristályosodásával - hiszen a kristályokban nincs keresnivalója a gázoknak - a nagy mélységben felszabaduló gázok, természetükhöz híven, a magmatartályok legmagasabb részeiben gyűlnek össze. Ott elég nagy nyomást és feszültséget érhetnek el ahhoz, hogy, mint a laboratóriumi kísérletekben is, a földkéreg hasadékait és töréseit robbanásszerű kitörésükkel szélesítsék és csatornákká vagy kürtökké alakítsák. Régi vulkános területeken mindenütt felismerhetünk ilyeneket, ahol az erózió szabaddá tette őket. Nagy nyomásuk és magas hőmérsékletük következtében a kőzeteket részben megolvasztják! A gázok, úgy látszik, tényleg képesek arra, hogy a Föld kérgének áttörésével és kifűvésével utat építsenek, amelyek mentén a magmát magukkal ragadhatják, ennélfogva ez felemelkedhetik, kifolyhat és vulkánokat építhet fel.

Ezek szerint azt látjuk, hogy a tűzhányók alakja és tevékenysége nemcsak annak a helynek felszíni viszonyaitól függ, ahol a magma felszínre lép, hanem sokkal inkább a magma összetételétől és mindenekelőtt gáztartalmától. A gránitos és bazaltos magma megkülönböztetésével voltaképp már alapot teremtettünk a tűzhányók egy lehetséges osztályozására. A gránitos magma, amelyet magas kvasav tartalma miatt általában savanyú magmának is szoktak nevezni, gázokban gazdagabb, mint a bázikus bazaltos magma, mert a Föld belsejében magasabban helyezkedik el, mint emez. A kvasav- és gáztartalommal kapcsolatban, úgy látszik, nagy különbség van a magma viszkozitásában, nyúlékonyságában és folyási képességében. A savanyú, gázban gazdag, nyúlósam folyós magma egyrészt és a lúgos, gázban szegény, higan folyó magma másrészt, két szélsőséget képvisel, amelyekkel rendszerint két szélsőséges kitörési típus és ezeknek megfelelően különböző vulkánalakok is kapcsolatosak.

A gázban szegény magmák nyugodtan emelkednek fel a kürtőkben és a higan folyó láva minden hevesebb kitörés és minden katasztrófálisabb következmény nélkül nyugodtan ömlik szét a felületen. A láva folyási sebessége néha nagyon tekintélyes lehet. A kiömlési termékek közvetlenül a magmából szilárdulnak meg, és hosszú összefüggő lávafolyamokat alkotnak. A kráter körül felépülő vulkáni kúpok, lávakúpok általában enyhén lejtenek. Legvilágosabban a

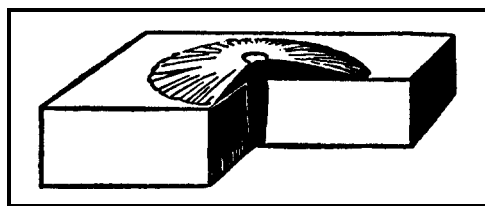
pajzsvulkánokban nyilvánul ez meg, amelyek az ilyen, úgynevezett effúzív vulkánizmus eszményi felszíni formáját testesítik meg.

A gázban gazdag magmák nagy nyomás alatt, heves kitörésekkel és robbanásokkal lépnek a Föld felszínére. A kitörés folyamán kidobott vulkáni termékek itt általában laza törmelékből állnak, mert a sűrűn, nyúlósan folyós láva kitöréskor szétszakadozik és lávatömbök, salakdarabok alakjában, vagy mint kisebb szemcsék vagy finom por röpül tova. A vulkáni tufa, amely tulajdonképpen semmi más, mint a vulkáni hamu nagymérvű felhalmozódása, benne szétszórt néhány nagyobb tömbbel, néha tekintélyes nagyságú területet borít be és a vidéknek később, ha az erózió már elvégezte munkáját, nagyon jellegzetes képet kölcsönöz. Az explozív vulkáni tevékenység legegyszerűbb és egyúttal egyik szélsőséges megjelenési formája nem egyéb, mint kerek lyuk. A gáz olyan erővel tör ki a Földből, hogy a széttört kőzetdarabok és vulkáni termékek, ha ilyenek egyáltalában vannak, minden irányban szétszóródnak és nem jutnak kellő mennyiségben a nyílás köré, hogy ott megfelelő méretű vulkáni kúpot építhessenek fel. Ilyen kirobbanási krátereknek tekintik már régóta a németországi Eifel-hegység tavait, az úgynevezett maar-okat (50. kép). Mélységük néha több száz méter is lehet, csak a légköri csapadékok táplálják, egymással egyáltalában nincsenek kapcsolatban és különböző magasságokban helyezkednek el egymás mellé. Az Eifel-hegység olyan vidék, amelynek összes sajátságaiban a korábbi erőteljes vulkanizmus nyomait ismerhetjük fel.



**50. kép. Maar vázlatos képe.**

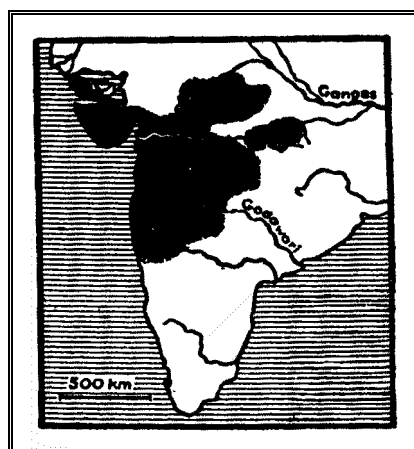
A maar-ok azonban a ritkaságok közé tartoznak. A legtöbb explozív tűzhányó tölcséralakú kráter. Köröskörül kúpalakú, meredek lejtőjű sánc övezi (LIII., LVII. és LVIII. tábla), amely a vulkáni működés termékeiből épül fel (réteges vulkánok).



**51. kép. Pajzsvulkán vázlatos képe.**

Az effúzív vulkánosság legismertebb példái a Hawaii-szigetek hatalmas pajzsvulkánjai (51. kép). Széles és alacsony krátereikben úgy fortyog az izzó magma, mint valami pép a fazékban, hol felemelkedik, hol megint lesüllyed és csak ritkán ömlik ki. A kráterben a láva tetején néha kéreg is alakul, de azért mindig megmarad egy hasadékhálózat, amelyen keresztül kísértetiesen világít át az izzó anyag. (LIV. tábla) Ehhez az első típushoz tartoznak egyébként az úgynevezett hasadékvulkánok is, a láva itt a földkéreghasadékok mentén nyugodtan ömlik ki a környező területre. A történeti időkből főleg Izland szigetéről ismerjük ezt az utóbbi típust (1783). A földtörténeti multban azonban az ilyen hasadékok mentén történő kitörések valószínűleg sokkal gyakrabban következtek be; a higanfolyó bázikus lávák rendkívül nagy területeken ömlöttek szét. Ilyenkor gyakran jön létre a kötélláva (LV. tábla). Észak-Amerika

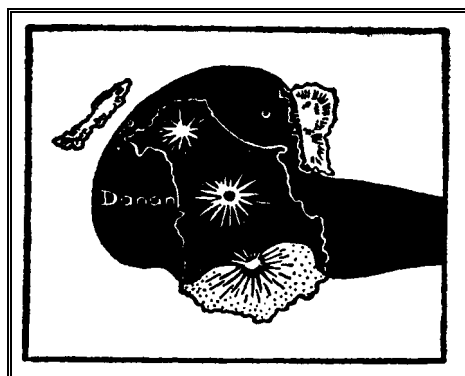
és Arábia bazaltterületei, az előindiai nagy Dekkan-fensík (52. kép), az Arktist övező izlandi, grönlandi és szibíriai bazaltos kiömlések a tanui ennek a tevékenységnek. Ugyanezt bizonyítják a Farői szigetek is, amelyek egy hajdani nagy, valaha 4000 méter vastag bazaltplatónak szegényes maradékai.



**52. kép. A Dekkan-fensík.**

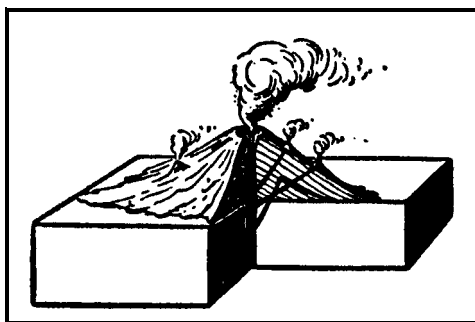
A vulkanizmus másik alakjához, az explozív típushoz tartozik az újabb idők minden nagy katasztrofális kitörése. Ilyen volt például a Temboro (Soembawa) 1815-ben bekövetkezett kitörése, amely a legnagyobb vulkáni kitörések egyike volt, amelyet fehér ember valaha is látott. Ez nagyon szerencsés kifejezés, mert sok kitörés volt és van még ma is, amelyet emberek sosem láttak. Talán ezek tartják a rekordot, de szerencsére nem volt tanujuk, aki ezt bizonyíthatná. Így például az alaskai Katmai-hegy 1912 júniusában egy magános, lakatlan vidéken tört ki. A feltevések és az akkori működésére vonatkozó későbbi megfigyelések azonban bizonyossá teszik, hogy kitörésével kapcsolatosan egyáltalában nem volt lávaömlés, ellenben a Katmai vulkáni hamuja a 10.000 füstoszlop völgyét feltöltötte. De bizonytalanságban hagynak bennünket sok fontos részletkérdésben. Nincs egyetlen tanu sem, aki az emberre gyakorolható hatást vázolhatná; pedig az ember még mindig hajlamos arra, hogy minden történés nagyságát ehhez mérje, még akkor is, hogyha ezek a benyomások a maguk alanyi mivoltában mégoly zavarólag hatnak.

Akárhogy álljon is a dolog, azt szintén tudjuk, hogy a Temboro kitörése alkalmával láva nem ömlött ki. VERBEEK azonban kiszámította, hogy körülbelül 150 köbkilométer laza termék röpt a levegőbe; a vulkáni hamu a szomszédos Lombok-szigeten több mint félméter vastagságban feküdt. Ennek a katasztrófának persze még más következményei is voltak, ezeknek a földtani fontossága azonban kevésbé számottevő. Három napon keresztül teljes sötétség uralkodott, a nagy hő következtében ciklon keletkezett, amely embereket és állatokat, házakat és fákat ragadott a magasba, egy óra hosszat kavargott velük és végül a tengerbe ejtette azokat. Egészen valami 66.000 ember pusztult el! A király és kísérete a kincsesládával együtt - mert hisz melyik király menekül kincs nélkül? - egy ember kivételével mind elpusztult a „tüzes kövek esőjében”.



**53. kép. A Szunda-szoros képe a Krakatau 1883-iki kitörése előtt és után.  
A fekete rész a legnagyobb részt tengertől borított mai kalderát mutatja.**

A Krakatau szomorú hírnevét is ilyen explozív folyamatoknak köszöni. 1883-ban több mint két évszázadig tartó nyugalmi időszak fejeződött be irtózatossággal (53. kép). Mint hatalmas központi vulkán eleinte körülbelül 1000 méterre emelkedett ki a tenger színe fölé, de 1883 augusztusában a sziget kétharmada hirtelen a levegőbe repült és később már 300 méteres és még nagyobb mélységeket mértek ezen a helyen. A kitörés robaját Ausztráliában is hallották, a légköri zavarokat a világ valamennyi barométere megérezte. Jáva és Szumátra partjait szökőár borította el, amely 36.000 áldozatot követelt. Láva nem ömlött, a hamu azonban 80 kilométer magasra repült fel.



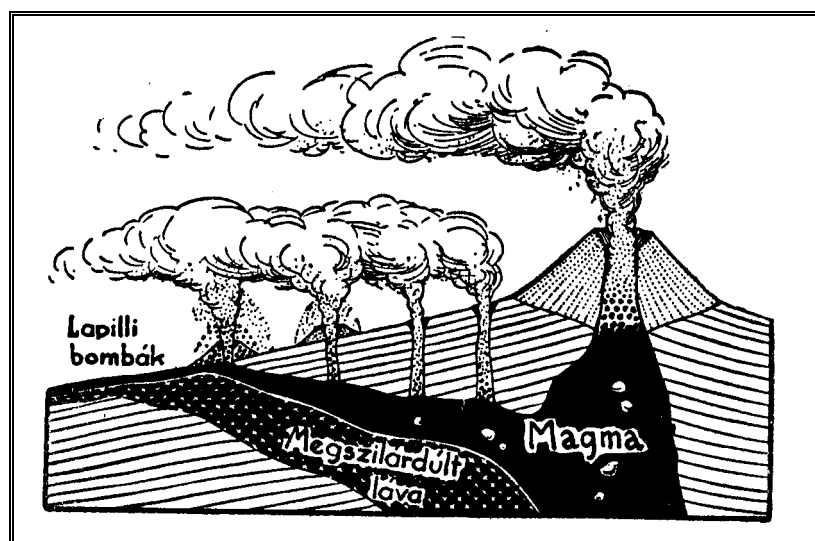
**54. kép. Réteges vulkán vázlatos képe.**

A lávaömléssel vagy anélkül bekövetkező effuzív, illetőleg explozív vulkánoknak ez az elméleti megkülönböztetése, amelyhez a gázban szegény és gázban gazdag magmák közti okozati összefüggésük révén jutottunk el, a valóságban nem mindig elégséges. Hasznos és áttekinthető, célszerű, sőt szükséges is, azonban felmondja a szolgálatot, mihelyt átmenetekre bukkanunk, márpedig a természet ezek segítségével erősen védekezik a szigorú rendszerezésekkel szemben. Kétségtelenül helyes az a megállapítás, hogy a heves kitöréseket általában a gázban gazdag magmák hozzák létre. De az is megtörténhetik, hogy a csökkent tevékenység idejében a bázikus magma a kráterben lehül és a gáznyomás explozív növekedése ezt a vulkánt erőszakkal szétrobbantja. Lehetséges, hogy az egyik típus különös előszeretettel lávaárat termel, a másik tevékenysége meg abban nyilvánul meg, hogy kecses, laza vulkáni kúpokat halmoz fel. Sokkal gyakoribbak azonban az olyan vulkáni építmények, amelyekben a lávaárat gondos rétegezésben váltakoznak tufákkal és hamuval (54. kép). A Föld történetében bizonyára százszámra voltak tűzhányók, amelyek szabályszerűen és tisztességesen viselkedtek. Kaliforniában van azonban egy külön is, a Lassen Peak; Washington, Kalifornia és Oregon vulkánjai között az egyetlen működő. Ez néha lassan ontja magából a lávát, máskor robbanásszerűen; lávájának összetétele a legkülönbözőbb. Működése hol nyugodtabb, hol meg nagyon heves. Kétségtelen, hogy vannak általános érvényű törvények, mihelyt azonban

rendszert építünk fel rajtuk, ezerszámra bukkannak fel az átmenetek, amelyek meggondolásra és szerénységre késztetnek. Mégpedig nemcsak a földtanban!

A vulkánok és kitörések osztályozása valóban nem szorítkozhatik két szélsőséges típusra. Az a sok mellékkörülmény, amely a felszíni vulkanizmust megszabja, oly különböző, hogy tulajdonképpen minden egyes tűzhányót önálló típusként kellene tekintenünk. A valóságban minden egyes vulkán működésének sajátos jellege van, és ezzel kapcsolatban szükségszerűen változik kúpjának alakja és a kidobott termékek összetétele is. Így tehát az általánosított típusok felállítása tulajdonképpen helytelen.

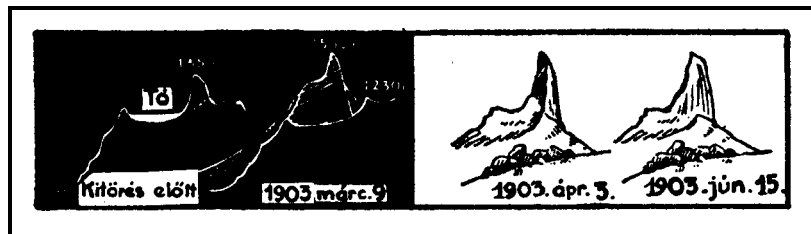
A Fujiyama kecses, szabályos alakját (LVII. tábla) a vulkánok eszményi formájának gondolták. Végül azonban felfedezték, hogy a Popocatepetlnek, a füstölgő hegynek más a körvonala, amelyet azonban éppen olyan jól lehetne sok más tűzhányó alaktípusának tekinteni. Világos egyébként, hogy az a teljesen zavartalan kúpalak, amelynek kedvéért a Fujiyamát olyan előszeretettel használják fel vázák és kis terítők díszítésére, csak kivétel, eszmény, amely csak akkor valósulhat meg, ha a vulkán állandóan és megszakítatlanul, vagy legalább is csak nagyon rövid szünetekkel, mindig egy és ugyanazon kráternyíláson keresztül dolgozik. A vulkáni működésben azonban mindenkor és mindenütt nem várhatjuk el a magmától és a benne lévő gázoktól ezt a nyugodtságot, rendszerint sem a kráternyílás helye nem állandó, sem pedig a vulkáni működés mértéke nem elég egyenletes (55. kép).



**55. kép. Tűzhányóhegy. Főleg robbanásos működésű vulkán (vázlatos keresztmetszetben) főkráterrel és oldalkitörésekkel. A lejtőjén parazita-kráterek sorakoznak; ezek részben valódi robbanási kráterek, részben pedig hamukúpok. (Sieberg nyomán).**

Gyakran megtörtént már például, hogy a felszálló lávában a gáznyomás annyira megnövekedett, hogy szétfeszítette a vulkán falait, még mielőtt a láva a csúcsot elérhette és nyugodtan kiömölhetett volna. Ilyenkor rendszerint egész hasadékrendszer keletkezik, amelyen kisebb, ún. parazita kráterek települnek. Ezek a régi vulkán eszményi körvonalát hallatlanul elcsúfítják. A Geloengoeng oldalain állítólag nem kevesebb, mint ezer ilyen apró kis kráter van, a nagy Smeroe pedig, úgy mondják, nem egyéb, mint ilyen másodlagos kúp a csunyán tönkrement Tengger-hegység legkülső lejtőin (LVI. tábla). Más vulkánok, mint például a Slamet, Tjerimai és Merapi, hogy jávai példánál maradjunk, kráterük nyílását már többször áthelyezték. Az eltolódás néha tekintélyes méretű volt. Ezek persze az eszményi felszín alak símaságát nagymértékben zavarják. Az áthelyezkedés rendszerint arra vezet, hogy többé-kevésbé szabályszerű vulkánegyüttes keletkezik, amelyben az új kúpok összenőnek a régiekkel vagy pedig ha az áthelyeződések nagyobb méretűek, látszólagos függetlenségre és

önállóságra tehetnek szert. Áthelyeződés legtöbbször nyilván azáltal jön létre, hogy hosszabb nyugalmi idő alatt a vulkán kürtője eldugul és a működés újraéledése alkalmával a láva könnyebben tör magának új utat, mintha a megmerevedett akadályt útjából eltávolítaná. Így az Ixtacihuatl, a Fehér asszony, nyugvó ikertestvére a működő Popocatepetlnek, a Mahameroe pedig régi erodált hamukúpja Jáva legnagyobb vulkánjának, a Smeroenak (LVI. tábla).



56. kép. A Pelé-hegy a kitörés előtt és után. (Lacroix szerint.)

Ha a krátercsatornában többé-kevésbé megszilárdul a lávadugó, utóbbi jelenléte a vulkán további életére nézve rendkívül nagy jelentőségű lehet. Csak futólag említjük meg, hogy oly mélyreható esemény, amilyen egy ilyen dugónak a képződése, nemcsak a tűzhányó alakjára, vagy a vulkáni ikrek kialakulására van hatással, hanem megváltoztathatja a kitörések jellegét is. Gyakran nagyon eltérő jelenségek léphetnek fel ilyen módon, amilyeneket azelőtt még sehol sem figyeltek meg, és így ezek a kitörésnek, valamint magának a vulkánnak is sajátos, önálló jelleget kölcsönözhetnek. Legyen elég, ha itt csak Martiniquen, az Atlanti-óceán egyik szigetén emelkedő Mont Pelé vulkánnak sajátságos, robbanásszerű kitörését említjük fel (56. kép). A sziget valószínűleg híresebb a Napoleon-époszból ismert kreol szépségről, mint tűzhányójáról, de igazságtalanul, mert az említett vulkáni kitörésnek valóban nem ismerjük párját. Meglehetősen nyugalmas időszak alatt a sűrűn folyó láva felső része elkérgesedett a krátercsatornában, s alakját és magasságát gyakran változtató túszerű dugóként emelkedett ki a hegyből. Az újabb kitörés alkalmával azonban a gázok más utat kerestek és a hegy oldalát meghasították. Ennek a kitörésnek az volt a legfőbb jellemvonása, hogy láva nem ömlött ki, hanem csak sötét, izzó felhő gomolygott alá a vulkán oldalán. Az izzó felhő túlhevített gőzökből, gázokból és kisebb közetrészecskékből állott és Saint Pierre városát néhány perc leforgása alatt teljesen elpusztította. Az újabb időben hasonló, bár nem ilyen katasztrofális működést fejt ki egyebek között a Merapi is. Erre különösen az jellemző, hogy a sűrűn folyó lávából képződött kettős dugó, amely a Merapi kráterében létrejött, és a vulkáni gázoknak aránylag csekély nyomása következtében lassan fölfelé nyomul, állandóan széttöredezik, és így laza tömbökből áll. Ezek láva-lavina alakjában gyakran legurulnak, és falvakat meg erdőket gyujtanak fel, vagy pedig nagy esőzések idején iszapfolyamok formájában a síkságokra jutnak.

Végül még arra is nyomatékosan kell rámutatnunk, hogy sok vulkán életében a hosszantartó aránylagos nyugalmi időszakokkal többé-kevésbé szabályosan váltakozó heves kitörések a vulkán alakjára maradandó bélyeget ütnek. Azok az ideális kúpok, amelyek az egyenletes működés idején felépülnek, vajmi kevésbé szilárd építmények, mert a vulkán egyetlen egy explozív lélekzetvétele elég ahhoz, hogy könnyörtelenül szétrombolja őket. Így például a Bandai-San gázai váratlanul, minden előzetes figyelmeztető jel nélkül ezerszertendős nyugalmi időszakot zártak le és 1888-ban egy kitöréssel 670 méter magas hegyet pusztítottak el. Végül pedig a már említett kitörések némelyike alkalmával (Temboro és Katmai) a hegy csúcsát a kitörés egyszerűen elfujta úgy, hogy csak a vulkán széles alapja maradt meg gyűrű alakú sánc képében. A mélyen lenyesett kúp, a hajdani nagyság és szabályosság romja, meredek falakkal, széles és lapos krátert övez körül. Ebben a nyugalmas tevékenység következő időszakában új kúpok alakulnak ki a vulkán csatornájának központosan fekvő nyílása körül. Így dolgozik

például a Bromo, egy régi nagyobb tűzhányó kráterének a fenekén, s a Vezuv is egy félkör alakú sáncon belül nőtt ismét nagy magasra (LVI. és LVIII. tábla).

Az ilyen, csaknem vízszintes fenekű, üstalakú krátert a geológusok, ha méretei már oly nagyok, hogy nem igen lehet kráternek mondani, kalderának nevezik. Némelyek kaldeirának írják. Ez azonban csak jelentéktelen különbség, amely talán abból magyarázható, hogy az üstöt olaszul és spanyolul calderának mondják, de a Kanári-szigetek lakói, ahol a kalderák prototípusa van, néha kaldeirá-nak ejtik ki. A kaldera-kérdés azonban - mert hiszen kaldera-probléma még ma is van - sokkal bonyolultabb, mint a szó írásmódjának eldöntése. A kalderák keletkezésére vonatkozó vélemények főleg azok óriási méretei miatt térnek el, hiszen a Tenerife-szigeten emelkedő Pico de Teyde lábánál elterülő kaldera legnagyobb átmérője nem kevesebb mint 19 kilométer; az északamerikai Oregon államban lévő kráter-tó (LIX. tábla), amely, amint az amerikaiak mondják, a legszebb és a legnagyobb a világon, 608 méter mély, a Japánban lévő Aso-kalderában, a száz falu vulkánjában pedig körülbelül 50.000 ember lakik!

Ezek olyan tiszteletreméltó számok és méretek, hogy kezdetben sokan vonakodtak elhinni, hogy egyetlen egy, ha még oly hatalmas kitörés is, elég legyen ahhoz, hogy ilyen méretű krátereket létrehozzon. Ezek ezért azt gondolták, hogy a kalderák tulajdonképpen beszakadással keletkeztek, amelyet a krátercsatornában felszállt magma oszlopnak a kitörési periódus végén bekövetkezett visszaesése okozott. Mások viszont ennek a visszaesésnek a lehetőségében is kételkedtek. Ezek a nagy kalderák keletkezését inkább a megszokott földtani tényezőkkel, így például a már meglévő kisebb kalderákban, vagy valami kráterben a hátráló erózió munkájával igyekeztek megmagyarázni. Ma úgy látszik, hogy a szakkörök középutat választottak, és így végeredményben valamennyi lehetőség érvényesülését elfogadják. Ma tehát a nagy kérdés még mindig arra a kényes pontra vezethető vissza, hogy vajjon valamely kaldera robbanás által, beszakadás következtében, vagy pedig az erózió munkája folytán kialakult képződménynek tekintendő-e. Egyetlen egy megfigyelés tévútra vezethet. Ez kivüláglik a Madagaszkár melletti Nossi-Bé-sziget bennszülöttjeinek határozott válaszából, akik egy kalderának, krátertónak a közepén álló fiatalabb vulkáni kúpot egyszerűen Tani-Lastak-nak neveznek, amivel azt mondják, hogy a hegy gödörbe esett. Ez a meghatározás tulajdonképpen nem nagyon különbözik a mai geológusok beszakadási kalderájától, és mindenesetre gondolkodásra késztet. A hegyet már beláthatatlan idők óta Tani-Lastak-nak nevezik.

A kráterekben és kalderákban sokszor tavak alakultak ki. Némely esetben, midőn megvolt az összeköttetés a tengerrel, a krátérsánc mögötti védett helyzetet kihasználták, és kikötőket építettek. Ilyen például a nápolyi öbölben a Porto d'Ischia és a görög szigettengerben Santorin. Ez egyáltalában nem csodálatos, viszont azonban nem is biztosíték arra, hogy az illető helyen a tűzhányó működése végleg megszűnt. A Kloet kitörései gyászos hírüket éppen annak a ténynek köszönhetik, hogy a két Kloet-kráter közül a nyugatiban, a működőben, tó volt. Hírneve éppen a pusztító lahar-ok, vagyis iszapfolyamok révén került be valamennyi földtani tankönyvbe. A tó víztömegét 44 millió köbméterre becsülték. Ezt az óriási víztömeget a kitörések részben gőzzé változtatják, nagyobb részt azonban a kráter peremén túl lezúdítják, tehát a Kloet robbanásszerű kitörése tulajdonképpen hatalmas vízbetörés jellegét viseli magán. Vad iszapfolyamok zúdulnak alá, amelyek egyes zuhatagszerű árákban 60 méter magasságot is elérhettek (1901) és a lakott területeket hihetetlen sebességgel elpusztították (1909). A Kloet-tavat ma már alagút segítségével részben lecsapolták, hogy a jövőben ezeknek az iszapfolyamoknak szörnyű pusztításait csökkentsék. Azt hiszem, hogy ezzel keresztülhúzták az öntözőszolgálat nemes célkitűzéseit. Régebben ugyanis a kráterperem legkisebb hasadékait is azonnal eltömték, mert a keleti monszun idején a tó szolgált víztartályul a körülötte fekvő síkságok öntözéséhez.

Ha meggondoljuk, vajjon célszerű-e ilyen gondoskodás, amelyhez a mai műszaki tudományok kétségtelenül hatalmas eszközökkel állanak segítségünkre, - gondoljunk csak arra, hogy nem egy esetben bombázták már a vulkánokat, csak azért, hogy az esetleges lávaáramokat olyan irányba tereljék, ahol kevésbé nagy pusztításokat végezhetnek, - akkor felmerül az a nagyon emberi kérdés, vajjon nem lehet-e a tűzhányók kitörését kellő biztonsággal előre megjósolni? A tudományos tapasztalatokból leszűrt válasz nem nagyon biztatóan hangzik. A legtöbb kitörést kevéssel előbb ugyan általában előre jelzik nagyobb gáztömegeknek vagy erősebben sűrűsödő füstfelhőknek kilökései, vagy a vulkáni rengések, amelyek néha hirtelen lépnek fel. Ezek az előjelnek vélt jelenségek azonban néha csak vaklármának bizonyultak, máskor meg, mikor tényleg nagy a veszély, esetleg teljesen el is maradhatnak. Ezekre tehát nem sokat adhatunk. A vulkánok egy tapasztalt ismerőjének, aki évek hosszú során tartó tanulmányok és pontos megfigyelések alapján egyetlen alkalommal illetékesnek tartotta magát arra, hogy megnyugtató kijelentéseket tegyen, amikor a Vezuv fenyegető jelenségei után hirtelen nyugalom következett be, azt kellett látnia, hogy számításait egy hatalmas kitörés már néhány nap múltával halomra döntötte (1872).

A hosszabb nyugalmi időszakoknak ilyen kiszámíthatatlan megszakításával jelentkező heves vulkanizmus mellett a Stromboli-típusú vulkánok meglehetősen csendes és egyenletes működése nagyon érdekes. A jávai Smeroe (LVI. tábla) és az említett típus előkelő mintaképe, a Stromboli, már emberemlékezet óta állandóan működik, és néhány ritka és nem nagyon veszélyes kitöréstől eltekintve, sajátságos szakaszosságot és szabályszerűséget mutat. Ezeknek a vulkánoknak krátercsatornájában a láva lassan felemelkedik, majd bizonyos magasságban a kiszabaduló gázok nyomására felhólyagosodik és hatalmas dörrenéssel szétpukkan. E robbanásszerű lélekzetvétel után, miközben csak kisebb darabok és salak röpülnek ki, a láva ismét lesüllyed, majd néhányperces nyugalom után a folyamat megismétlődik. Ez az ütemes működés évszázadok óta változatlan. A görögök és rómaiak nagy tisztelettel tekintettek a Stromboli csodálatos hatalmára, és istenségre gondoltak, amely ezt a működést okozza. A mai idők geológusa naponta száz kitörését számlálja meg és az ütem időtartamának csekély ingadozását a légnyomás megváltozásának tulajdonítja.

### ***Haldokló vulkánosság.***

A Földön semmi sem örök! A magma hőmérséklete lassan csökken, egyre inkább közeledik a magmának megmerevedés okozta halála s ezzel kapcsolatban a felszín vulkánossága is lassacskán haldoklik. A rabulejtő szépség és a legyőzhetetlen hatalom az utolsó kitörés erejével megszűnik s az utolsó lávafolyam megszilárdulásával megkezdődik a nyugalom új korszaka. Talán csak átmeneti lesz ez az állapot, de éppúgy lehet végleges is. Hiszen a kitörések látható tanújele és a folyékony láva jelenléte nélkül nem sok bizonyossággal következtethetünk arra, hogy valamely területen a vulkánikus működés csak alszik-e, vagy pedig végleg kihalt.

A működési időszak utolsó kitörése után a tűzhányó kürtőjéből, lejtőinek lazább anyagából vagy pedig környezetének talajából még hosszú időn át nagymennyiségű gőz és magmatikus gáz távozik el. Ezeket szükséges és nagyon szerencsés általánosítással fumaroláknak nevezték el. Ez az elnevezés azért nagyon helyes, mert a fűstszerűségük (fumea) az egyetlen közös ismertetőjele ezeknek az egyébként összetételt és hőmérsékletet illetőleg nagy különbségeket feltűnítő anyagoknak. Abban az esetben, ha elegendő mennyiségű kénvegyületeket tartalmaznak és kén válik ki belőlük, az olasz solfo (= kén) szó nyomán szolfatárának szokták nevezni. A név egyébként kapcsolatban van a nápolykörnyéki Phlegrei mezők kialudt Solfatara-kráterével is, ahol az e gázokból kicsapódott kén már régi idők óta kitermelik.

A vulkánikus kitörési termékek utódainak a sorában a fumarolák az elsők, és már ezért is megérdemlik azt a figyelmet, amellyel az ember minden időben feléjük fordult. Az utódok, még a hanyatlók is, mindig lebilincselően hatnak, és gyengeségüket rendszerint mohón kihasználjuk. A fumarolákat például igazán szószerint minden részükben kihasználják: melegüket, kiáramlásukban megnyilvánuló kisebb-nagyobb erejüket, összetételüket, sőt egy esetben még az általuk keltett gyanút is. Hőmérsékletük igen magas lehet, általában széles határok között váltakozik és még ugyanazé a fumaroláé is szabálytalanul ingadozik. A Tízezer-füstoszlop völgyében a gázforrásban 600 C fokot és még nagyobb hőmérsékletet is mértek. A gázok energiáját hasznos hajtóerővé alakíthatjuk át. Még Firenzében és Pisában is felhasználják azt a 30.000 lóerőt, amelyet a toskánai fumarola-mezőkön (LX. tábla) nyernek. Két legfontosabb alkatrészükön, a vízgőzön és a kénen kívül a kiáramló szolfatára-gázok fémek, réz, vas és ólom vegyületeit is tartalmazzák. Sőt a Vezuv kitörései alkalmával egyszer az is megtörtént, hogy egy méter széles hasadék néhány nap alatt vasércel töltődött ki, amely ezekből a gázokból vált ki. Ez a tény különösen történeti szempontból érdekes, mert ebből a megfigyelésből született meg később az ércek földalatti előfordulására vonatkozó az a fölöttébb hasznos és termékeny gondolat, hogy gyakran a tömeges kőzetekhez kötve kell lenniök. Néhány nyersanyag kutatását ez a meggondolás jelentékeny mértékben egyszerűsítette és megkönnyítette.

Ha a vulkán működésében kizárólag arra szorítkozik, hogy fumarola- és szolfatára-gázokat lök ki magából, akkor a geológusok azt mondják, hogy szolfatára-állapotban van, mint például a Papandajan is, 1772-ben bekövetkezett kitörése óta. Szigorúan véve, átmeneti állapotot értenek ezen, a tulajdonképeni vulkáni működés és a vulkanizmus tágabb értelemben vett utóhatásai között, melyek nemcsak egyes vulkánok környezetére korlátozódnak, hanem nagy területeken léphetnek fel, mint a halódó vulkanizmus utolsó vonaglásai, letűnt nagyságának szegényes maradékai.

Az ilyen vulkáni utóhatásokhoz, vagy amint a földtani szaknyelven mondani szokták, posztvulkáni jelenségekhez tartoznak egyebek között a híres mofetták, a hőforrások és szökőforrások (gejzirek), továbbá részben az iszapvulkánok is, ha ezeket nem más, mint vulkáni kigőzölgések táplálják és tartják fenn (LXI. tábla). A mofettákban szénsavgázok áramlanak ki, ezek nehezebbek a levegőnél, ennél fogva a völgyek legmélyebb részein gyűlnek meg. Minthogy színtelen és szagtalan voltuknál fogva nem feltűnőek, azért e völgyek veszélyessé válhatnak. El is nevezték a őket „Halál”-völgyeknek vagy „Fojtó”-völgyeknek. Bennük még az olyan nagy állatok is, mint a grizzli-medve, megfulladhatnak. Esős időben vagy bőséges talajvíz esetében kevésbé veszélyesek. Ekkor igen gyakran különböző minőségű természetes savanyúvízforrásokat szolgáltatnak. Hazánkban a torjai Bűdösbarlangot kell megemlítenünk. ILOSVAY LAJOS szerint évente 734.800 m<sup>3</sup> széndioxid és 2850 m<sup>3</sup> kénhidrogén tódul ki belőle.

A meleg- vagy forróvízü források a kialvó vulkánosság területén szinte maguktól értetődő jelenségek. Hiszen a víz a természetes, maguktól értetődő dolgok között amúgyis a legközönségesebb. Hogy hőmérséklete itt a szokottnál magasabb, meg az a körülmény, hogy a víz itt más anyagokat tartalmaz és választ ki, mint az idillikus erdei források, egyáltalában nem kell, hogy nagyobb csodálatot ébresszen bennünk, ha meggondoljuk, hogy a magma érezhető közelségében fakadnak. Nagy változatosságuk sem különösen csodálatos. Találunk kristálytiszta forrást és zavaros pocsolyát, amelyekben a víz többé-kevésbé nyugodtan bugyborékol, ismerünk jelentéktelen, néha színes iszapforrásokat, amelyek vize nagyobb mértékben párolog el, mint amekkora az utánpótlódó víz tömege, tehát a vízük által magával ragadott közettörmelék a felületen iszapkúp alakjában rakódik le, amelyen még kis kráter is kialakulhat. Mindez azonban sokkal kevésbé csodálatos, semhogy itt sok figyelmet - és

helyet - szentelhetnénk neki. Hiszen átmeneteket mindenütt találunk, s a hőforrások szeszélyes alakja és előfordulása aligha igényel bővebb magyarázatot. Éppoly magától értetődik, mint a forrás léte.

Egészen jelentékteleneknek azonban mégsem tekinthetjük őket. Fontosak azért, mert a hőforrások és lerakódásaik sokat megmagyaráztak az ércek keletkezésére vonatkozólag és a látszólag maguktól értetődő dolgok egyszerűségében nagyon érdekes kérdést rejtenek. A geológusok már megfejtették a hőforrások hőmérsékletének és működési módjának kérdéseit, akár vulkános területeken, akár azon kívül, esetleg gyűrt hegységek területén voltak a források, akár csöndben forr a vizük, akár erősen buzog. Az iszapvulkánok sárga, barna vagy egyéb színének keletkezését visszavezették az iszaphoz kevert ásványi anyagok, mint kén vagy vas jelenlétére, illetőleg vegyi sajátságaira. De végül az a kérdés is felmerült előttük, hogy tulajdonképpen honnan jön a forrásokat tápláló víz és gőz. S ezzel aztán már megint olyan kérdést érintettünk, amely semmi esetre sem szorítkozhatik csupán a hőforrásokra.

Annyi biztos, s ebben már nem is kételkedik senki, hogy e víz legnagyobb része a felszínről származik. Legnagyobbrészt esővízből, amely beszivárgott a Föld kérgébe, ott a felszálló magmatikus gázokkal került érintkezésbe, ennek következtében felmelegedett, s megint a felszínre tört föl. Ez kiviláglik abból a tényből, hogy a hőforrások a nagy szárazság idejében fumarolákká lesznek, vagy hogy vízhozamuk mindenestre nagymértékben változik az illető vidék csapadékviszonyai szerint. De épp ennyire biztosan tehetjük fel azt is, hogy e vulkáni kutak vizének és gőzének egy része előzőleg még sohasem volt a Föld felszínén, hanem a magmából szabadult fel s úgy szállt a felszínre. Ez a víz csak akkor kapcsolódhatik be először a víz körforgalmába, ha már egyszer a felszínre jutott. SUESS, bécsi geológus, 1902 körül nagy lelkesedéssel és meggyőződéssel hirdette ezt az elgondolást és élénk érdeklődést keltett iránta. Hiszen magmatikus eredetű víz valóban meglepő újság volt. Sokkal meglepőbb, semhogy ne fűztek volna hozzá azonnal messzemenő következtetéseket. Mindjárt el is látták valami eddig szokatlan névvel. SUESS ugyanis juvenilis-nak nevezte, nyilván azért, mert ezzel akarta kifejezésre juttatni érintetlenségének, ifjúságának jellegét. A Föld felületének régi, közönséges vizét ezzel szemben vadózusnak nevezte. Logikusnak vagy világosnak ez az utóbbi név ugyan nem mondható, a nagy embereknek azonban gyakran valóban különös ötleteik támadnak! Azt pedig igazán mindenkinek be kell látnia, hogy a vadózus név még mindig sokkal reményteljesebben hangzik, mintha szenilis-t mondanánk.

SUESS tehát azt vélte, hogy a vulkáni kitörésekben, a hőforrásokban és a szökőforrásokban nagyon nagy tömegű juvenilis víz lép először a felszínre s így arra a meggyőződésre jutott, hogy az óceánok, sőt a légkör is nagy részben juvenilis eredetű. Az a régi föltevés azonban, hogy az óceánok bolygónk állandó és fokozatos lehülése alkalmával a légkörből csapódtak le, SUESS „juvenilis” lelkesedése ellenére sem veszített sokat eredeti érvényességéből.

Az újabb időkben a pontos megfigyelések alapján sikerült ugyan a földtannak kimutatnia (1912), hogy a vulkáni kitörések alkalmával valóban bizonyos mennyiségű hidrogén és vízgőz válik szabaddá. Valószínűnek kell tehát tartani, hogy a Föld kérgében juvenilis víz még ma is előfordul. Azonban ezen megfigyelések ellenére is vonakodik a földtan, hogy ennek a víznek olyan nagy fontosságot és szerepet tulajdonítson, amint SUESS vélte. Olyan forrást ugyanis, amelyből kizárólag juvenilis víz folynék ki, még soha, sehol sem találtak s az a föltevés, hogy a szárazulatok belső, száraz területein előforduló - egyébként ritkaság számba menő - hőforrásokat, ott ahol a vadózus víz szemmel láthatólag hiányzik, legnagyobb részt magmatikus eredetű víz táplálná, nem egyéb, mint merész és alaptalan elképzelés. Mert egyvalaminek látszólagos és lehetséges hiányából még nem következtethetünk másvalaminek szükségszerű jelenlétére. Végül pedig, gyakorlatilag teljesen lehetetlen pontosan megállapítani, hogy valamely forrásban mennyi a juvenilis és mennyi a vadózus víz.

A legjobb indulatú kutatók eddig még a szökőforrásokban sem tudtak 15%-nál több juvenilis vizet kimutatni. S minthogy az efféle számítások hitelességéhez sok szó férhet, joggal tehetjük fel, hogy a szökőforrásokat tápláló víz és gőz a valóságban vadózus eredetű. Ez egyébként a szökőforrások hírnevét semmiként nem csökkenti. Hiszen a gejzírek a PLUTO birodalmából származó juvenilis víz nélkül is olyan népszerűsége tettek szert, amely a többi vulkáni utóhatását nagyon felülmúlja.

A gejzír szóval egyébként Izland lakói, úgy látszik, mindama kedélymegnyilvánulásokat illetik, melyek a düh és örvény között esnek - vagy ami ezzel egyre megy, - mindent, ami a forrás és túlhevítettség között van. Az olyan hőforrásokat, amelyek szakaszosan fortyognak, nevezetesen szabályos időközönként vizet és gőzt lövelnek ki, először Izlandban tanulmányozták (LXII. tábla). Az előbb elmondottakból érthető hasonlat alapján ezeket gejzírnek nevezték el. Kezdetben a gejzírek időszakos „dühének”, vagy ahogy a tudományos nyelvben mondják, intermittáló működésének természetes magyarázatát nagyon valószínűtlen feltevésekben keresték. Ezek többnyire sokkal eszményibbek voltak, semhogy sokat megmagyarázhattak volna. Végül is BUNSEN 1846 körül tett megfigyelései szolgáltak magyarázattal. Elmélete annyira valószínű, hogy még ma is, csaknem kivétel nélkül, kielégítőnek tartják. Népszerűségéhez az is sokban hozzájárult, hogy a feltevést mesterséges szökőforrások hatásos bemutatásával lehet alátámasztani. BUNSEN feltételezi, hogy a magmatikus gázokból származó meleg a szökőforrás csatornájának biztonságos mélységében felhalmozódik. Nagyfokú túlhevítettség következtében ott robbanásszerűen gőzfejlődést okoz s a gőz a gejzír csatornájában levő vizet oszlop alakjában kilöki. Ahhoz, hogy ez a helyi melegfelhalmozódás létrejöhessen, szükséges, hogy a vizet a felületre juttató hasadéknak, vagy a kivezető csatornának a keresztmetszete ne legyen mindenütt egyenlő. Szűkületeknek és szeszélyes kanyarulatoknak kell benne lennie, amelyek a víz szabályos mozgását, ú.n. cirkulációját lehetetlenné teszik. Ezen követelmény nélkül a víz egyszerűen forrna csak, a gejzír nem volna szökőforrás, hanem csak közönséges hőforrás.

A Bunsen-féle elmélet világában a szökőforrások tüneténye érthetővé válik. Az intermittálás, az időszakos fortyogás szinte magától értetődő szükségszerűséggé lesz: a nyugalmi időszakban a gejzír csatornájának meg kell telni, hogy újból megindulhasson a gőzképződés és bekövetkezhessék az újabb kitörés. A rendkívüli szabályosságot, amellyel a folyamat végbemegy, a mindenkor kilökött vízmennyiséget, a víz és gőz által elért magasságot, valamint a kitörés tartamát elsősorban a gejzírcsatorna alakja és az a sebesség szabja meg, amellyel a csatorna a kitörés után megint megtelhetik vízzel. A szökőforrások működésében megnyilatkozó ezer meg egy különbség arra az ezer meg egy különbségre vezethető vissza, amelyet a földkéreg hasadéka alakja mutathat.

Az a hűség, amellyel a Yellowstone Nemzeti Park öreg hűséges szökőforrása, az Old Faithful minden 65 másodpercben hatalmas vízoszlopot dob föl 80 m magasságra már fölfedezése óta, csak addig maradhat meg, amíg a szökőforrás csatornájának alakja a kioldódás és lerakódás - kovazugorék - következtében meg nem változik. Ehhez pedig nem szükséges túlságosan hosszú idő! (LXIII. és LXIV. tábla.) Az izlandi Öreg gejzír 1772-ben még 30 percenként működött. Később, 1883-ban, már csak minden huszadik napon tört ki. Van egyébként sok szökőforrás, amelyek léte még sokkal szabálytalanabb, ezek hirtelen valamely hőforrásból alakulnak át szökőforrássá. Akkor aztán éveken keresztül szabályosan működnek, majd éppoly hirtelen megint beszüntetik tevékenységüket. Az újzélandi Waimangu, a világ legnagyobb ismert szökőforrása, a Taravera vulkán egy kitörése következtében szétröpült. 1890-ben azonban ismét működni kezdett, újra megkezdte egyedülálló, páratlan munkáját. A kilövelt vízoszlop súlya a becslések szerint mintegy 800.000 kg-nyi volt! S ez az óriási

víztömeg 460 m magasságra lövellt fel! A Waimangu 1904-ben újra beszüntette működését, ezúttal minden vulkáni kitörés nélkül, úgy látszik, szabad elhatározásából.

Valamely hőforrásról pedig, amikor egyszer egy jámbor kínai belemosta a kezét, mégpedig szappannal, kiderült, hogy szökőforrás. E gejzírt azóta is Kínai embernek nevezik. Véletlen felfedezése megtanította a turistákat arra, hogy a szökőforrásokat szappandarabok vagy hasonló anyagok bedobásával idő előtt is működésbe lehet hozni. Az amerikai kormányzat egyébként megtiltotta a Yellowstone Park területén az ilyen látványosságot, mert attól tartott, hogy a szökőforrások elszappanosítása végül végzetessé válhatik. A geológusok egyébként a jelenséget azzal magyarázzák, hogy a szappan elősegíti a nagyobb gőzbuborékok keletkezését és így gyorsítja meg a kitörést.

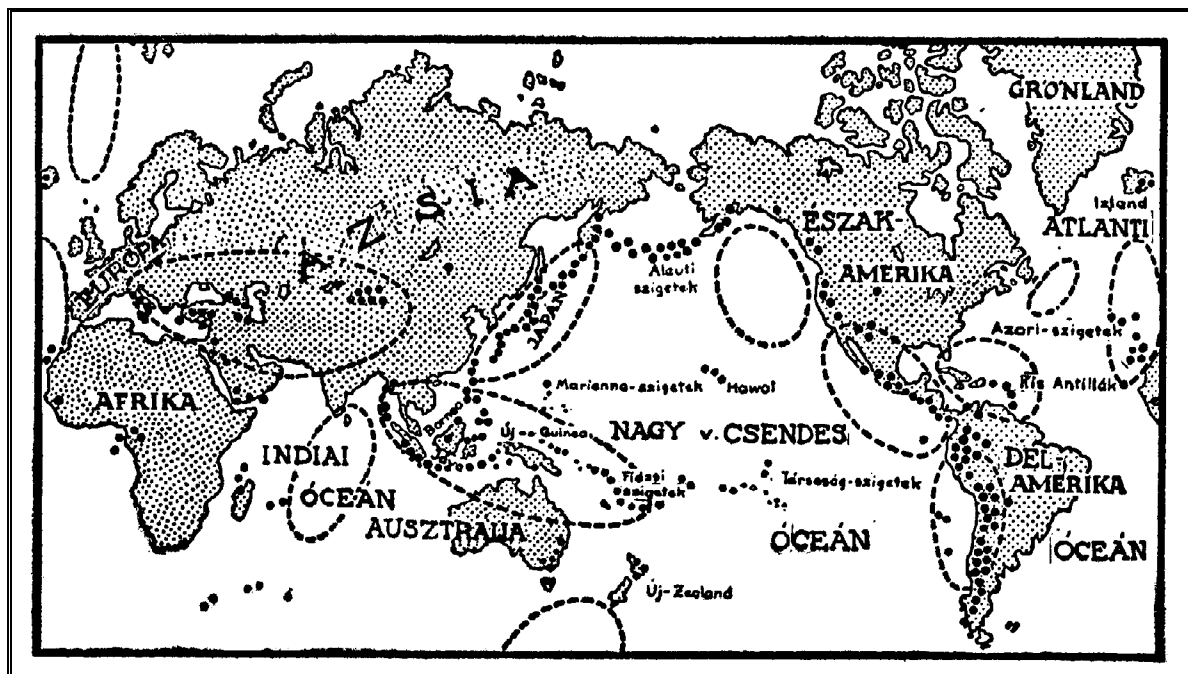
### *A tűzöv.*

Sajnos, nem tudunk itt végleges feleletet adni arra a kérdésre, mennyire követhetjük a földtörténeti multban visszafelé a vulkanizmust úgy, ahogyan ma a Föld felületén ismerjük. A bolygónk keletkezését és lehülését magyarázó Kant-Laplace-féle elmélet szerint arra kellene következtetnünk, hogy az archaikum legrégebbi időszakaiban a vulkanizmus sokkal elterjedtebb és hevesebb volt, mint ma. Ez a feltevés arra hivatkozik, hogy a földkéreg vastagodásával egyre nehezebben ömölhetett a magma a felszínre, a felszíni vulkánosságnak tehát szükségszerűen gyöngülnie kellett. A magma a Föld plutói fiatalságának idejében még nagy felületeken könnyen törhetett fel és a vékony földkéreg nyugodtan és csöndben olvaszthatta meg (felületi, areális erupciók), ellenben a későbbiek folyamán a kitöréseknek már egyes gyöngébb övekre kellett szorítkozniuk (hasadék-kitörések), és robbanások erejével kellett maguknak utat törniük a felszínre (központos kitörések). A megfigyelés és tapasztalat valóban alátámasztja ezt a következtetést annyiban, hogy az azoikum legrégebbi képződményeiben mindenütt a heves vulkánikus működés nyomait találhatjuk meg. A földtörténet fiatalabb időszakaiban azonban a tűzhányók működésének mindinkább a földfelület meghatározott területeire kellett korlátozódnia. Helytelen volna azonban, ha azt gondolnánk, hogy ez a hátrálás és gyöngülés állandó és fokozatos folyamat volt, amely közben a tűzhányók működésereje is állandóan és tartósan csökkent. A földtörténet folyamán ugyanúgy váltakoztak a nyugodtabb időszakok a hevesebb vulkáni működés időszakaival, amikor a magma aktivitása a felületen is jobban megnyilvánult és a vulkáni kitörések is nagyobb számban fordultak elő, amint azt az egyes vulkánok életében látjuk. Így a geológusok azt tanítják, hogy a harmadkor óta mind máig tartó olyan időben élünk, amelyben a vulkanizmus sokkal erőteljesebb, mint a földtörténeti középkor jóval nyugalmasabb időszakaiban. Azonkívül meg azt is meg kell jegyeznünk, hogy ma a vulkánok működése más vonalak mentén történik, mint a heves vulkáni működés régebbi időszakaiban.

Persze nincs megfelelő mértékünk, amellyel a magma mai nyugtalankodásait vagy a tűzhányók működésének erejét jellemezhetnők. A működő vulkánok száma ezirányban semmit sem mond, vagy legalább csak nagyon keveset. Hiszen ez a szó, működő, csakis attól függ, hogy tudomást szerez-e az ember valamely vulkán működéséről, illetőleg, hogy vannak-e birtokunkban erre vonatkozó történelmi adatok. E szó tehát nem sok bizalmat érdemel. Arról sem kezeshetünk senki, hogy valamely tűzhányó, amely a történelmi időkben még nem adott magáról életjelt, valóban kialudt-e. Mert hátha csak alszik? Helytelen volna, ha azt mondanánk, hogy 1902-ben a Föld tűzhányóinak nyugtalankodása hirtelen megnövekedett, csak azért, mert ebben a kitörésekben gazdag esztendőben adott magáról először életjelt a guatemalai Santa Maria vulkán is, amely felfedezése óta ebben az esztendőben tört ki először, s ezzel a működő vulkánok számát eggyel gyarapította. Éppoly kevés biztonsággal állíthatjuk, hogy az

Ararat valóban kihalt, csak azért, mert a vízözön után NOÉ nyugodtan köthetett ki csúcsán, s azóta sem árulta el semmiféle hevesebb, nagyobb tevékenység nyomait. Mindössze néhány iszapvulkánt hozott létre s néhány gyenge vulkáni rengést okozott. Már nem egyszer megtörtént, hogy kialudtnak vélt tűzhányó hirtelenül ismét működni kezdett, és pedig annál nagyobb kirobbanással, minél hosszabb ideig tartott nyugalmi állapota. Az ókorban például senkinek sem jutott volna eszébe arra gondolni, hogy a Vezuv tűzhányó. Egyedül STRABO - iste Graecus! - előtt volt gyanús a hegy alakja. Csak a Krisztus utáni 79. évben bekövetkezett kitöréssel, amikor egyebek között Herculanéumot és Pompejít hamueső borította el, lépett a Vezuv a működő vulkánok sorába. Így tehát húsz évszázaddal hamarabb került a működő vulkánok jegyzékébe, mint a Santa Maria, csak azért, mert ez utóbbi nem a római birodalom területén feküdt s nem akadt PLINIUS, aki korábbi működéséről, a kitörésével okozott rémületről beszámolhatott volna.

Akárhogyan is álljon a dolog, annyi tény, hogy HUMBOLDT és SAPPER ama néhány ezer vulkánon kívül, amelyek emberi számítás szerint végleg kialudtak, mintegy 430 olyan vulkánt jegyzett fel, amely a történelmi időkben működött vagy még ma is működik. Ezek közül 275 az északi, 155 pedig a déli féltekére esik. A működő tűzhányók száma azonban, természetesen, jóval nagyobb. Hiszen úgylátszik, a tenger fenekén sem hiányzanak mind kiömléssel, mind pedig csak robbanással kapcsolatos kitörések. Ezeknek a tengeralatti kitöréseknek a méreteit egyáltalában nem tudjuk megbecsülni. Annyit biztosan tudunk, hogy az óceánok legtöbb szigete vulkánikus eredetű. Tudjuk, hogy a legtöbb atoll és korálsziget szintén vulkáni kúpokra épült, amelyek a tenger vize alatt védve vannak az erózió romboló munkájával szemben. Azonban sok körülmény szerencsés összetalálkozása szükséges ahhoz, hogy valamely tengeralatti kitörést észrevehessünk. Legfőljebb olyankor történik ez meg nagy ritkán, ha a kitörés nagyon heves s újabb szigetek jelennek meg a tenger tükre fölött (Hawaii, Krakatau, Santorin).



57. kép. A vulkáni és földrengéses vidékek eloszlása a Földön. A pontok a ma is működő vagy a harmadkor után még kitört tűzhányóhegyeket, a szaggatott vonallal körülhatárolt területek pedig a gyakori tektonikus rengést szenvedő területeket jelzik.

A vulkánok számánál sokkal jobban érdekelte a geológusokat mindenkor az, hogyan helyezkednek el, hogyan oszlanak meg a Föld felületén (57. kép). Már kezdettől fogva, mielőtt még a tűzhányók igazi jellegzetességeit megismerték volna, világosnak látszott, hogy a vulkánizmus tüneiményeit nem lehet egyedülálló jelenségekként fölfogni, hanem ezek szervesen kapcsolódnak a földkéreg nyugtalankodásaihoz és mozgásaihoz. Csodálatos, hogy ezt a törvényszerű összefüggést már régebben a tűzhányóknak a Föld felületén való helyzetével és eloszlásával hozták elsősorban kapcsolatba. Világosabban fogalmazva: már régi idők óta ismeretes, hogy a tűzhányók működése párhuzamosan halad sok más olyan jelenséggel, amelyek a Föld arculatának szintén jellemző vonásai.

A működő vulkánok, valamint azok is, amelyek a közelmúltban aludtak ki, néhány kivétellel két nagy övben fekszenek, amelyek az egész földgömböt átölelik. Az első, a hatalmasabb, mondhatnók, a Csendes-óceán tűzkoszorúja, a működő kráterek égő sorozatával veszi körül ezt az óceánt. Patagóniából kiindulva, egyenesen halad az Andesek mentén, majd Mexikón, Észak-Amerika nyugati partvidékein, Kanadán és Alaskán át vonul tovább az Aleuti-szigeteken keresztül Ázsia felé, majd Kamcsatkánál megint dél felé fordulva, Japánon és a Fülöp-szigeteken áthaladva végül is eltűnik a Csendes-óceánban. A másik, az atlanti öv, nem követhető ilyen feltűnő összefüggésben. Közép-Amerikából kiindulva áthalad az Atlanti-óceánon (Azori, Zöldfoki, Kanári szigetek), majd keresztül vonul a Földközi-tengerre, Olaszországon, Arábián, Kis-Ázsián és végül a Keletindiai szigettengerben egyesül a Csendes-óceán körül fekvő övezettel.

A tűzhányók imént tárgyalt eloszlásának egyik legjellemzőbb vonása kétségtelenül az, hogy a működő vulkánok csaknem kivétel nélkül szigeteken vagy a szárazulatoknak közvetlenül a tengerpart közelében fekvő részein emelkednek. Az a szembetűnő elővigyázat, amellyel a tűzhányók a szárazföldek belsejét elkerülik, már a geognoszták figyelmét is magára vonta, de, sajnos, hamisan értelmezték. Azt következtették ugyanis ebből, hogy az óceánok vize és a tűzhányók kitörései között okozati összefüggésnek kell lennie. Pedig a legegyszerűbb bíráló is meggyőzhette volna a Föld akkori tudósait, még a földtan akkori ismeretei birtokában is arról, hogy tételük helytelen. Kezdetleges elméletük nem ad feleletet arra a kérdésre, hogyha mindez így van, miért kedvez annyival jobban a Csendes-óceán vagy a Földközi-tenger vize a vulkánikus jelenségeknek, mint az Atlanti-óceáné, s hogyan lehetséges, hogy a tengerparttól több száz kilométernyi távolságban a szárazulatok belsejében is vannak működő vulkánok. Hiszen ilyen vulkánokat is elég szép számmal ismerünk. Ilyen például a Teleki-vulkán, a Virunga-csoport, a kialudt Kilimandzsáró Kelet-Afrikában, és messze benn Mandzsukuóban a magában álló Ujong-Choldoni, amely a XIX. század elején még működött.

Hasonlóan hamis magyarázatra vezetett kezdetben a tűzhányók keskeny övének lefutása is, amely igen nagy távolságokon át egyenesen halad (Andesek) és nagyon szabályos ívekben simul a szigetek és partok vonalaihoz (Japán, Aleuti-szigetek). S minthogy továbbá bizonyos területeken, mint Jáván és Izlandon kisebb hosszukiterjedésben is az egyes vulkánok lineárisan helyezkednek el, valóságos vulkán sorokat képeznek, az a meggyőződés érlelődött meg, hogy a felszíni vulkánosság olyan többé-kevésbé nyílt hasadékokon át táplálkozik, amelyek mélyen lenyúlnak a Föld kérgébe és az egész Földet körülfogják. Az a szélteben elterjedt meggyőződés pedig, hogy a magma saját erejéből nem tudja elérni a felszínt, bizonyára csak még jobban megerősítette a hitet ezekben a vulkáni hasadékokban. Ez befolyásolta egyébként a kutatók állásfoglalását a hasadékok körül kialakult vitában is, amelynek folyamán sokszor túllőttek a célon.

E vitában azok képviselték az ezen felfogással ellentétes álláspontot, akik hittek a magma saját erejében és joggal utaltak arra a párhuzamosságra, amely a tűzhányók öve és a fiatal lánchegységek lefutása között mutatkozik. Ez az összeesés sokkal szigorúbb, semhogy a

véletlen művének minősíthetnők. Ebből a vita folyamán, megint csak nagy túlzással - legalább a mi szemünkben tűnik ez túlzásnak, hiszen mindent jobban akarunk tudni elődeinknél - arra következtettek, hogy a vulkánosság vagy a magma az elsődleges és általános hajtóerő, amelynek következtében a hegységek létrejönnek. E kutatóknak nagy plutonista buzgalmukban nem tűnt fel, hogy a hegy és tűzhányó között lévő párhuzamosság éppen megfordítva is magyarázható!

Ámbár nem gondolom, hogy ez a merész következtetés volt az utolsó tévút, amelyre a kutatók léptek, és hogy az utolsó botlás lett volna az igazság felé vezető fáradtságos úton, mégis az az érzésem, mintha a földtan éppen e sok bukdácsolás révén e kérdéscsoportban végül az igazi utat találta meg.

Azzal az új és határozott fogalmazással, hogy a működő tűzhányók öve egybeesik azokkal a nagy tektonikus vonalakkal, amelyek mentén az újabb földtörténeti időkben a földkéreg mozgásai végbementek, vagy párhuzamos velük, az újabb földtan valóban megalapozta egyszerű és világos álláspontját. Ez más szóval annyit jelent, hogy a földtan a felszíni vulkánosság összes jelenségét, keletkezését és elterjedését, az egyenes vonalú és görbe lefutást ugyanazon erőkre vezeti vissza, mint amelyek a hegyeket és az óceánokat is kialakítják.

A tűzhányók övének és a tektonikus irányoknak az összeesése vagy párhuzamossága sokkal feltűnőbb, semhogy a köztük fennálló okozati kapcsolatban kételkedhetnénk, mint a mellékelt térkép mutatja. Az a tény, hogy a működő vulkánok nagyobb részt a szigetekre és a tengerek partjaira szorítkoznak, már egymagában is érdeklődésre tarthat számot. Az óceánok azonban lesüllyedt rögök, tehát a partvonalak a földkéreg fontos törési rendszerei közé tartoznak.

A Csendes-óceánnak tűzhányókból álló koszorúja egyébként nagyon jól összeegyeztethető azzal a tapasztalattal, hogy ennek az óceánnak a feneké még a legutóbbi időkben is süllyedő (vagy emelkedő?) mozgásokat árult el. A földközi nagy harántöv meg legnagyobbbrészt már kialudt vulkánok kettős sorával kíséri a Pireneusok, az Alpések és a Himalája alpin irányait. Az a tény, hogy a bonyolult szerkezetű Alpésekben nem fordulnak elő működő vulkánok, a fennálló törvényszerűségnek egyáltalában nem mond ellent, hiszen más lánchegységekben az összefüggés annál világosabban szembe tűnik. Jól tudjuk, hogy az Andések vulkánjai alkotják éppen az egész hegység legmagasabb csúcsait is. A szárazulatok belsejében levő vulkánokról, valamint azokról, amelyek nem esnek a nagy vulkánikus övbe, s amelyeket eleinte megmagyarázhatatlan kivételeknek kellett tekinteni, ma már jól tudjuk, hogy szintén kapcsolatban vannak a földkéreg nagy törési vonalaival, amelyek a kísérő vulkánok nélkül is többnyire jól felismerhetők. Így például Kelet-Afrika tűzhányói is nagy hasadék mentén fekszenek. Említettük már, hogy itt hosszú árkos törés vonul végig, amelynek mentén az afrikai kontinens szétszakadással fenyeget. Ilyen az Ujong-Choldoni csoport is, amely a széttört Ázsia két elmozdult röge közé eső „kificamodott” övben helyezkedik el.

Az a tény tehát, hogy a vulkánok a földkéreg rögmozgás- vagy hegyképződés- okozta törésvonalaihoz kapcsolódnak, nemcsak azt világítja meg, hogy miért sorakoznak a vulkánok egyes vonalak mentén, hanem egyúttal megmutatja a vulkánoknak magukkal e mozgásokkal való okozati összefüggését is. Csak az nem állja meg helyét, hogy e kapcsolatban a vulkánoknak kell az elsődleges szerepnek jutnia, s hogy ezek okozzák a hegységek létrejöttét. Ellenkezőleg, sokkal inkább kell arra gondolnunk, hogy a mozgások nyitják meg a földkéreg eresztégeit, csökkentik a nyomást, ennél fogva a magma fölemelkedhetik és kifejtheti explozív hatását.

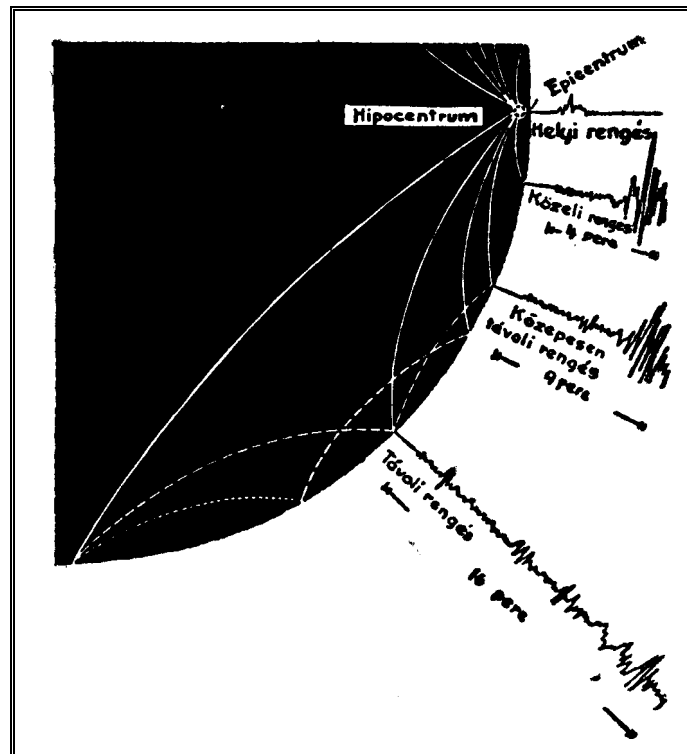
Mindebből tehát azt látjuk, hogy a tűzhányók is a mozgásjelenségekkel kapcsolatosak. Számos más tüneménnyel együtt ezek is a hegyképződés hűségei közé tartoznak.

### *Megremeg a Föld.*

Valamelyik statisztikai kimutatás egyszer nagyon rossz megvilágításba helyezte a földrengéseket. S talán ez az oka annak, hogy a világ végét emlegető jóslatokban nagy szerepük van. A nagy földrengések (Messina 1908, Tokió 1923, Kansoe 1933, Anatolia 1939) szokásos felsorolása, a napi és heti lapok hírei, amelyek e rengések gyászos következményeit heteken keresztül szélteben-hosszában tárgyalják, az áldozatok számára vonatkozó (100.000, 142.000, 150.000, stb.) vastag betűkkel szedett adatok a cikkek hasábos címeiben, mind azt a téves felfogást kelthetik bennünk, mintha a földrengések a ritka természeti tűnemények közé tartoznának. Szinte úgy látszik, mintha a Föld ingatag kérge - e híradásoktól eltekintve - egyébként még igen nyugodtan viselkednék. Ez azonban korántsem igaz. Hiszen azok a szellemes készülékek, amelyeket a földrengések jelzésére találtak ki, évente mintegy 10.000 rengést jegyeznek fel. S ez csak egyrésze a rengések valóságos számának. Viszont emberi érzékszerveinkkel a feljegyzett rengéseknek is csak mintegy felét tudjuk észlelni. A szeizmográfok - így hívják ezeket a jelzőkészülékeket - kétségtelenül sokkal érzékenyebbek, mint a hírlapok, amelyek csak akkor vesznek tudomást az eseményekről, ha lakott területeket pusztítottak el. Sőt, sokszor csak akkor kezdenek velük foglalkozni, amikor az elpusztult emberi áldozatok száma már elég tekintélyes ahhoz, hogy az ujságok egyhangú híreit nagy szenzációval tarkítsa. A földtan szempontjából az áldozatok száma - ezt a földtantól nem is vehetjük zokon - csak mellékes dolog. Bizonyos számok összehasonlítása talán menti ezt a körülményt. A számítás ugyan nem tudományosan szabatos, azonban mégis meggyőző. Az emberi történelem utolsó 400 esztendejében MALLETT szerint mintegy tizenhárom millió emberélet esett áldozatul a földrengéseknek. Az ilyen becslésnek persze kevés az értéke, hiszen szinte már az örültség statisztikájához közeledik. Ha azonban a történelem lapjait forgatva, azt nézzük, hogy az emberek vallási türelmetlensége vagy babonája hány áldozatot szedett, akkor látnók, hogy az emberi katasztrófák között talán nem is a földrengések a legveszedelmesebbek. Úgy látszik, hogy a természet mindenesetre sokkal gyengédebben és enyhébben oldja meg konfliktusait, mint ésszel megáldott teremtménye, az ember. (Gondoljunk csak a francia közmondásra: *qu'il vaut souvent mieux, ne pas discuter la statistique.*)

Akárhogyan áll is a dolog, annyi tény, hogy a Föld állandóan megremeg, egyszer itt, másszor ott, egyik területen jobban, mint a másikon. Egyrészt ezért, másrészt meg az emberi szempontból tekintett közvetlen következményei miatt a földrengések adják legkézzelfoghatóbb tanúbizonyságát annak, hogy Földünk kérge ma is mozog.

Durván meghatározva azt mondhatjuk, hogy a földrengés a Föld kérgének többé-kevésbbé erős megrázkódtatása. Ezt a Föld belsejében fellépő hirtelen lökés váltja ki, amelyet a rugalmas közetek rezgése továbbít hullámok alakjában (58. kép). A közvetlen megfigyelés számára csak az epicentrum legközelebbi környéke hozzáférhető. Ez a Föld felületének az a helye, ahol a rezgés erőssége a legnagyobb és ahol a földrengés katasztrófális következményei ennek folytán a legjobban érezhetők. A rezgés eredetének a mélyben való tulajdonképeni helyét, a hipocentrumot, korszerű és érzékeny természettani eszközeinkkel, meggondolásaink és számításaink észszerű okfejtésével, részben pedig sejtésekkel és csak kis mértékben ellenőrizhető feltevésekkel határozhatjuk meg. Ez utóbbi kijelentés főleg arra vonatkozik, hogy már 700 kilométernél mélyebben fekvő hipocentrumokat is kiszámítottak. Abból, hogy a felületen a zavargások helyileg elhatárolódnak, arra szoktak következtetni, hogy a rengéseknek szükségszerűen igen élesen körülhatárolt pontból kell kiindulnia, amely nem túl nagy - mindössze néhányszor tíz kilométernyi - mélységben fekszik az epicentrum alatt, sugár irányban mérve.



58. kép. A földrengési hullámok terjedése vázlatosan.

A földrengést a felületen kísérő jelenségek nagyon különböző természetűek. Pontos megfigyelésük hidegvért és lélekjelenlétet követel meg, ami azonban a rengések váratlan fellépése és rövid tartama következtében legtöbbször nincs meg. A földrengéskutató szinte mindennapos tapasztalata, hogy a szemtanúk vallomásai rendszerint nagyon eltérnek, sőt sokszor egymásnak ellentmondanak. A földrengések erősségének meghatározására szolgáló egyik skála szerint például a rengés alkalmával észlelt hangtüneményekből igyekszünk a rengés fokára következtetni. De megtörtént, hogy egy megfigyelő morajló mennydörgést hallott, a másik csattanást, a harmadik meg csak süvítést; a negyedik határozottan hallotta, amint a Föld nagyot roppant, az ötödik meg egyáltalán semmit sem hallott. A földrengések alkalmával gyakran fényjelenségek is fellépnek. Ezeknek ugyan talán semmi közük sincs a földrengésekhez. Néhány esetben azonban olyan erők voltak, hogy az elpusztított területek álmából felriasztott és tehetetlen lakossága csak a „guruló tűzhullámot” vette észre, s magából a tulajdonképeni rengésből semmit sem érzett. A földrengéseknek a geológus számára lényeges jelenségei sokkal kifejezettebbek, észlelésük szerencsére kevésbé alanyi. Nem egyszer vélték már a talaj hullámzó mozgását is látni. Ezt a mozgást meanderszerűen összenyomott vasúti sínek örökítették meg látható módon. Ebben egyébként, a földrengési hullámok természetét és tovaterjedését tekintve, nincs semmi különös. Az eltolódások, hirtelen fellépő szintváltozások, a hasadékok és repedések, amelyek csaknem minden nagyobb földrengés alkalmával keletkeznek, a geológus számára sokkal maradandóbb bizonyítékok, mint a rendszerint rövid ideig tartó légköri zavarok. Ez még nem jelenti azt, hogy ezeknek a változásoknak méreteikben földtani jelentőségük is van. Hiszen csak különlegesen ritka esetekben történik meg, hogy például egy völgy felgátolódik, s ezzel egy egész folyóhálózat is tartósan megváltozik.

Az 1933. évi kanszui földrengés alkalmával olyan óriási löszmennyiségek mozdultak meg, hogy a kínaiaknak úgy tűnt fel, mintha a hegyek vándoroltak volna. Az 1906. évi sanfranciscoi földrengés alkalmával meg egy nagy törésvonal mentén hatalmas rögök mozdultak el egymás felé. Ez a törésvonal Kaliforniától Mexikóig halad és Szent András-törésvonal néven még ma

is jó útmutató az amerikai légivonalak számára. A rögök függőleges irányú elmozdulása következtében három méter magas meredek fal jött létre. A Szent András-törésvonalnak már a földtanban is nagy híre van. A talaj mozgása ugyanis a törés két oldalán ellentétes irányú volt. Egy kerítés szétszakított részei vízszintes irányban öt méterre tolódtak el egymással szemben. Ez a jelenség a vízszintes rögmozgás lehetőségét szemlélteti kicsiny méretben.

Eddig még nem sikerült megállapítani, hogy a tengerfenék függőleges elmozdulásai miért nagyobb méretűek, mint a szárazföldiek. Minthogy a tenger saját fenekét nem erodálja, az ilyen hirtelen szintváltozások hosszabb ideig maradnak meg a tenger fenekén, mint a szárazföldön, ahol a letaroló erőknek csakhamar áldozatául esnek. Az 1893. évi októberi földrengés után Görögország nyugati partjain egy lejtő 500 méter magasságról 700 méter magasságra emelkedett. Az 1878-iki tengerrengés Kréta környékén a tengeralatti vezetéket két helyen is elszakította. A tengerfenék a rengés következtében annyira megváltozott, hogy az elszakadt vezeték összekötését csak nagy kerülővel tudták helyreállítani. A tengerfenéknek eme hirtelen, 10 méternek többszörösét elérő függőleges irányú elmozdulások következtében létrejövő, sokszor nagyon is tekintélyes szintváltozásai magyarázzák meg részben a szökőárak jelenségeit. A nagyobb tengerrengéseket rendszerint ezek a fölöttébb veszélyes szökőárak kísérik, amelyek többnyire nagyobb károkat okoznak, mint maguk a rengések. Így például az 1868. évi perui földrengés olyan szökőarat okozott, amely huszonnégy óra alatt átszágulzott a Csendes-óceánon és a japán partokon óriási károkat okozott. Egy, a part közelében lehorgonyzott jelzőhajót a szökőár ereje több mint három kilométernyire dobta be a szárazföld belsejébe.

Egyébként a tengerrengések lényegileg nem nagyon különböznek a szárazföldi rengésektől. Ama néhány adatból, amelyet a tengerrengésekre vonatkozólag ismerünk, csak a következő fontos közléseket említjük fel. Azok a hajósok, akik a tengerrengés ritka jelenségét megérték, valamennyien lökést éreztek; az volt az érzésük, mintha hajójuk sziklára futott volna. Az érzés és a benyomás persze magában még nem sokat ér. Az ugyanazon rengésre vonatkozó különböző jelentésekből azonban néha kiderült, hogy a lökés a térképen egyenes vonal mentén követhető, más szóval, hogy a rengést azok a hajók érezték meg, amelyek a rengés pillanatában valamennyien egy egyenes vonalon voltak. Ebből a megfigyelésből először látjuk, hogy az epicentrum egyenes vonal is lehet, és hogy a földrengésnek nem kell szükségszerűen egy pontból kiindulnia.

A vulkánizmus keletkezésének kutatásában a tűzhányóknak a Föld felületén való törvényszerű elhelyezkedése volt segítségünkre. Éppen így világított rá mindenekelőtt az epicentrumoknak az eloszlása is azokra a zavaros és gyakran fantasztikus elképzelésekre, melyekkel a földrengések módját és okát magyarázni igyekeztek. A rengéstől sujtott területek, vagyis a szeizmikus övek, nagyrészen egybeesnek a tűzhányók övével. Minthogy pedig a kitöréseket gyakran előzték meg rengések és földlökések, a kutatók már régóta arra a következtetésre kényszerültek, hogy a vulkánikus kitörések és a földrengések között okozati összefüggésnek kell lennie. Mindenesetre elég eltérést ismerünk, amelyeknek alapján be kell látnunk, hogy a két jelenségnek nem kell szükségszerűen egymással kapcsolatban lenniök, egymástól függetlenül is felléphetnek. Kétségtelenül igaz azonban, hogy a magma heves kitöréseit és váratlan mozgásait gyakran kíséri földrengés. Ezek hatása azonban rendszerint a működő tűzhányók közvetlen szomszédságára korlátozódik, s csak ritkán vannak olyan katasztrofális következményeik, amilyeneket a nagy földrengések okoznak. A Mauna Loa vulkán 1868-iki kitörését, amely egyike volt a világ leghatalmasabb vulkáni kitöréseinek, néhány nappal előbb gyenge rengések jelezték, amelyek fokozatosan erősbbödték, végül pusztító erővel léptek fel. Rögtön megszűntek azonban, mihelyt a tulajdonképeni kitörés megkezdődött. A Vezuv 63-ban Kr.u. bekövetkezett felébredését hasonló módon földrengések jelezték, amelyek Pompejit

annyira elpusztították, hogy már az egész lakosság menekülésre gondolt. A római szenátus azonban - ille illustrissimus senatus! - maradásra bírta a lakosságot és megígérte, hogy a várost újra felépíti. A felépítés még idejében meg is történt: a 79-ben bekövetkezett kitörés hamuesője megint virágzó várost temetett be! A vulkánok kitörését megelőző rengések hirtelen megszűnése erősítette meg talán STRABO-t abban a meggyőződésében, hogy a működő vulkánok tulajdonképpen olyan biztonsági szelepek, amelyeken keresztül a Föld szeizmikus nyugtalansága kiegyenlíthető. Utalással arra a hagyományra, hogy Szicíliát egy földrengés választotta el Itáliától, azt állította, hogy ott sokkal kevesebb földrengés van azóta, mióta az Etna és a Lipari-szigetek „nyitva” vannak, a földalatti szélek a vulkánon keresztül most már könnyen kivezető utat találhattak.

Az a tény, hogy a tűzhányók és földrengések nagyjából azonos területeken helyezkednek el, még nem bizonyíték kölcsönös, közvetlen összefüggésük mellett. Sokkal inkább tekinthetjük ezeket egy és ugyanazon ok, nevezetesen az általános hegyképződés, vagy még általánosabb szemlélettel a tengerek és szárazulatok keletkezése különböző megnyilvánulásainak. A földrengési központok is, ugyanúgy, mint a működő tűzhányók, meghatározott módon, bizonyos szerkezeti vonalak mentén helyezkednek el a Föld felszínén, hasonlóan a tengerpartok és a fiatal lánchegységek lefutásához. Az epicentrumok több mint a fele a Csendes-óceán körül helyezkedik el, és több mint egyharmada feltűnően összefüggő sorban a földközi övben, (Himalája, Alpések és Antillák). Lényegileg a földrengések a harmadkori hegységek övében a leggyakoribbak, vagy pedig olyan területeken, ahol a szárazföld hirtelen, meredek letörésekkel megy át a mély óceánba, mint például a Japán melletti Tuscarora mélység környékén. Más szóval a földrengések a földkéregnek főleg gyenge öveiben észlelhetők, ahol a kőzetek állandó feszültség alatt állanak, és pedig mind a fiatal gyűrődések területén, mind pedig a Föld süllyedő rögeinek peremén. Így az egyébként kevésbé fontos vulkánikus eredetű földrengésektől meg kell különböztetnünk a tektonikus eredetű földrengéseket. Ezeket a földkéregben felgyülemlett feszültség idézi elő, amely végül is annyira megnövekszik, hogy a kőzetek összefüggését hirtelen lökéssel megszakítja, ennek következtében rugalmas hullámok és így földrengések keletkeznek.

A legtöbb földrengés tehát a földkéregben bekövetkezett töréseknek, vagy pedig már fennállott törések mentén fellépő mozgásoknak (eltolódásoknak) következtében létesül. Ezeknek a felszínen nem kell mindig láthatóknak lenniük, az epicentrumok egyenes vonalak mentén való elhelyezkedése azonban kis mélységben való jelenlétüket könnyen elárulja. Az 1868., 1872. és 1906. évi kaliforniai földrengések mind összefüggenek a Szent András-törésvonallal. Az ilyent élő törésnek nevezzük, mert a felszínig ér és az epicentrumok rajta foglalnak helyet. A sasbércek és árkos süllyedések területén a törések maguktól értetődő jelenségek, hiszen ezek szükségesek a sasbércek és árkok kialakulásához. A gyűrt területeken az epicentrumok hosszanti töréseken fekszenek, amelyek mentén a gyűrődés eleinte haladt. De haránt törések mentén is elhelyezkednek, amelyek olyankor jönnek létre, ha a gyűrődés az útjába eső ellenállást nem tudja legyőzni, anélkül, hogy a földkéreg ne törjék. Ahol tehát a törési rendszerek egymást metszik, a heves földrengéseknek szükségszerűen gyakoribbaknak kell lenniük.

Az elmondottak után felmerül végül az a könnyen érthető kérdés, vajjon nem lehet-e a földrengéseket előre megjósolni és katasztrófális következményeiket valamiképpen kikerülni. Sajnos, a válasz elszomorító. A földrengéseket még kevésbé előzik meg figyelmeztető jelek, mint a tűzhányók kitöréseit. S mikor egyetlen alkalommal, szakértő oldalról megjósolni merték a földrengést, a figyelmeztetés csak pusztába kiáltó szó maradt. OMORI földrengéskutató 1921-ben megjósolta, hogy Tokiót a huszas években nagy földrengés fogja elpusztítani. Az emberek csak mosolyogtak és vállukat vonogatták. És 1923-ban bekövetkezett a katasztrófa!

Minden figyelmeztetés ellenére a Japán-öböl legveszedelmesebb haránttörése mentén nagy iramban fejlődik jelenleg is két nagy város, Osaka és Kioto. Nem kell nagy bölcsesség annak megjósolásához, hogy ezt a két várost is belátható időn belül földrengés fogja elpusztítani.

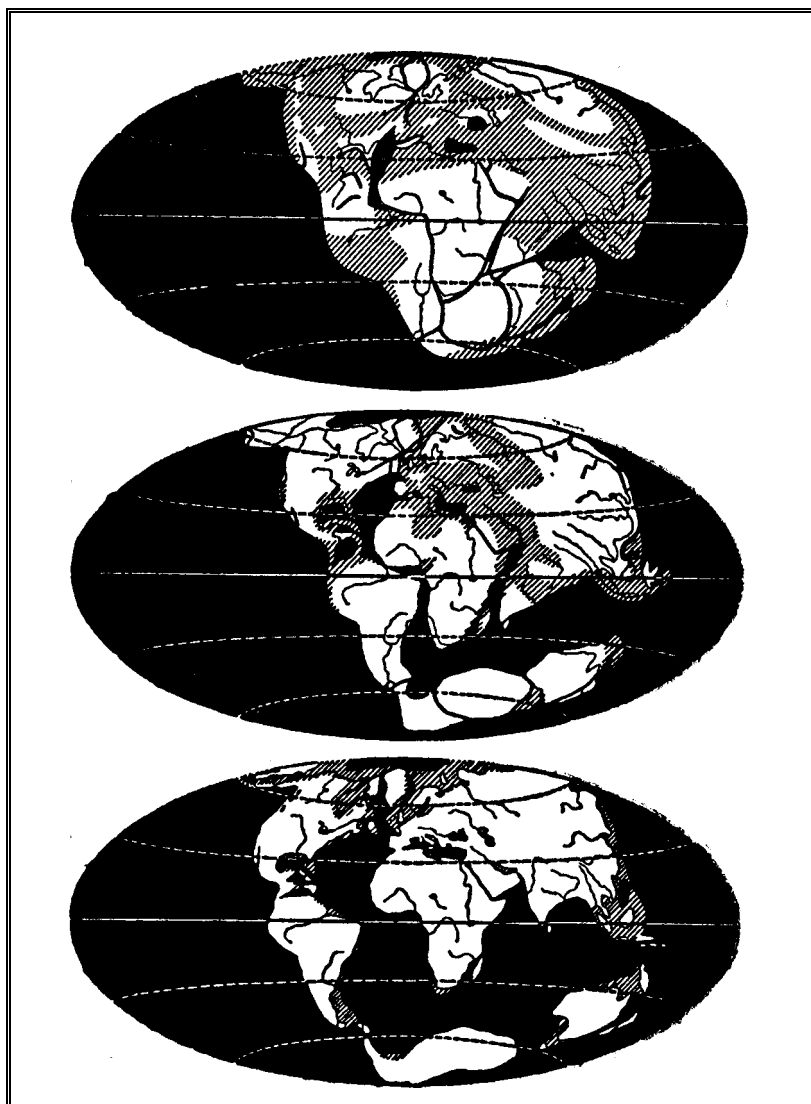
### *Úsznak a világrészek!*

Az eddigiek folyamán azokkal a földtani elméletekkel foglalkoztunk, amelyek megkísérelték, hogy a Föld nyughatatlanságát képletekben és törvényekben fejezzék ki. A hagyománynak megfelelően elsősorban azokat az elméleteket említettük meg, amelyek a tapasztalaton alapuló bírálatot több-kevesebb eredménnyel már kiállották, tehát kétségtelen jogot szereztek maguknak ahhoz, hogy az általános földtannal foglalkozó tankönyvekben megfelelő oldal-számmal szerepeljenek. Vannak azonban más elméletek és elképzelések is. Ezek még nem örvendezhetnek általános közkedveltségnek, csak akkor emlegetik őket, de akkor is látható előítélettel, ha követőiknek a száma annyira nagy, hogy már nem igen lehet felettük elsiklani. Hiszen a tankönyv tulajdonképpen a már kipróbált törvények és történeti igazságok kátéja, s új elméletekkel szemben tanúsított ellenszegülést sokszor azzal magyarázhatjuk meg, hogy a kutatók húzódoznak attól, hogy valamely még el nem döntött vitában túlkorán állást foglaljanak. Ama feltevések között, melyek nem jutottak még el a dicsőségnek arra a fokára, hogy a tankönyvekben külön fejezetet szenteljenek nekik, s melyek ítéleteik fiatalos szenvedélyessége miatt állanak az érdeklődés központjában, és az elméket éppen ezért állandóan foglalkoztatják, kétségtelenül első helyen kell említenünk az úszó kontinensek elméletét. Ez az elmélet ma a földtanban rendkívül élénk vita központja és WEGENER ALFRÉD nevét és hírnevét a tudomány határain messze túlra is elvitte.

Legegyszerűbb és legtömörebb fogalmazásában ez az elmélet azt állítja, - és itt lényegileg az izosztázia fogalmán nyugszik -, hogy a kontinentális sial-tömegek eredetileg egyetlen egy összefüggő őskontinenst, az úgynevezett pangeumot alkották, ma pedig a nehezebb alsóbb rétegen (sima) mint roncsok úsznak. Ennek a szétszakadásnak és egymástól való eltávolodásnak a történetét WEGENER ragyogó összefoglalásban 1910-ben írta meg (59. kép). Művében rendkívül sok bizonyítékot sorol fel. Ezeket mesteri bírálattal mindama tudományokból vette, amelyek a Földdel, az élettal és az éghajlattal foglalkoznak. Ezenkívül példátlan tökéletességgel hozta összhangba a Föld forgását és a sarkok vándorlását a kontinensek úszásával és ebben az úszásban olyan biztos törvényszerűségeket fedezett fel, amelyek azóta a sarkoktól való menekülés és nyugat felé való úszás elnevezések örökítenek meg és szemléltetnek.

WEGENER szerint az úszó kontinensek homloki részén a geoszinklinálisok lánchegységekké gyűrődnek fel. Így alakultak ki Észak- és Dél-Amerika Kordillerái, az amerikai rögnék nyugat felé való úszása következtében; az úszó rög mögött pedig az Atlanti-óceán, mint szélesen tátongó hasadék jött létre. Az ázsiai lánchegységek az észak felé úszó Gondwana-szárazulat homloki részén torlódtak fel. Ennek a déli szárazulatlak a töredékei ma Afrikában, az Indiai félszigetben és az Antarktiszban állanak előttünk.

A Wegener-féle elmélet nemcsak a hegyek keletkezését és ennek kísérőjelenségeit, a földrengéseket és vulkanizmust magyarázza meg, hanem érthetővé válik ennek az elméletnek a segítségével az egymástól távol fekvő szárazulatok földtani felépítésében jelentkező feltűnő összefüggés, a partoknak, éghajlati öveknek és jégkorszakoknak a megegyezése, az élőlények elterjedése és sok más egyéb jelenség is, amelyet eddig csak szárazföldi hidakkal, az Atlantisz elsüllyesztésével tudtak megmagyarázni.



**59. kép. A Föld arculata a felső karbon (fönt), az eocén (középen) és az idősebb negyedkor (lent) folyamán WEGENER nyomán.  
A fekete terület mélytengert, a vonalkázott sekélytengert jelez.  
(A mai partvonalak és folyók csak tájékoztatásra valók.)**

Az ilyen összefoglaló elmélettel szemben, amely a képzeletet és valóságot, az eszmét és a megfigyelést ilyen könnyed és zseniális módon tudja egyesíteni, hogy egyetlen egy egyszerű elképzeléssel az egymástól legtávolabb fekvő jelenségeket is megmagyarázza, a bírálat természetesen rendkívül nagy feladat előtt áll. Annak a merev elutasítására, hogy a rögek vízszintes mozgásáról szó sem lehet, a kontinensek úszásáról szóló elmélet rendkívül szellemes megvédése következett. És az amerikaiak fölényes elfogultsága mellett, „hogy WEGENER elmélete még nem jutott túl egy érdekes spekuláció állapotán”, ott ragyog TERMIER lírai latinsága, aki, anélkül, hogy WEGENER-t követné, elméletének varázsa alatt áll, mert „mint valami szép álom” tűnt fel neki. A bírálat, mai legtárgyilagosabb fogalmazásában, elismeri, hogy az úszó kontinensek elmélete sok jelenségre ad észszerű magyarázatot, csak nem terjeszthető ki minden részletkérdésre és kétségtelenül még sok részlet bizonyításra szorul. Ezzel tehát a bírálat pozitívista álláspontot foglalt el.

WEGENER maga tagadja az elméleti kifogások értékét, s a megfigyelést helyezte mindenek fölé. Azt mondták, hogy ez nagyon veszélyes az olyan feltevés számára, amely csak kevés megfigyeléstől függ. S ezzel tulajdonképpen már el is jutottunk az elmélet magvához: vagy

szilárdan fekszenek a kontinentális tömegek, amint ezt WEGENER előtt természetesnek tartották, vagy pedig úsznak a kontinensek, és ekkor az évszázados kontrakciós elmélet magától értetődősége a hamis következtetések és történeti tévedések tömegével együtt eltűnik. Ha két kontinens közti távolságmérések kimutatják és bebizonyítják a rögek vízszintes elmozdulását, akkor a földtanban új korszak kezdődik. A történelem új fejezeteinek küszöbén mindig megrázó pillanatokot kell megélni!

WEGENER azt állította, hogy Grönland jelenleg nyugat felé úszik. 1823-ban, 1870-ben és 1907-ben végrehajtott távolsági mérések valóban nagy különbségeket mutattak ki. Ezekből az tűnnék ki, hogy Grönland jelenleg évenként mintegy 32 méterrel közeledik Észak-Amerika felé. A régi készülékek hibáinak lehetősége több kutatót tartott vissza és kétségtelen, hogy elég megokolt kétely számára nyújt elegendő alapot. Mikor az újabb mérésekben megint ugyanilyen különbségeket találtak és WEGENER-nek ezt az örömhírt megmondták, zavar-talanul tovább dolgozott és hallgatott. A bíráló azonban ezeknek a méréseknek a helyességét is kétségbevonta és nyakasan követelt újabb bizonyítékokat. 1929-ben WEGENER ismét Grönlandra ment és míg a világ döntő eredményt remélt és várt, WEGENER már hónapok óta ott pihent jégsírjában, mint önfeláldozásának és bátorságának áldozata, mint magános hős, akinek alakját a lángész és hősiesség dicsfénye ragyogja körül.

Bár ezeket a méréseket még nem sikerült igazolni, és a kontinensek úszását teljes szabatossággal bebizonyítani, még sem szabad WEGENER-t fantasztának nevezni. Fel kell ismernünk benne a lángészt, aki készülékeinek tökéletességén és megfigyeléseinek szükség-szerű korlátain felül tudott emelkedni. Aki az eszmét mint érdekes spekulációt veti el, annak LAPLACE szavaival mondhatjuk: „ha az ember csak arra szorítkozott volna, hogy tényeket gyűjtsön, akkor a tudományok száraz adathalmazból állnának és sohasem jutottunk volna el a nagy természeti törvények megismeréséig”.

Aki pedig az eszmét az Európa és Amerika, a Budapest és Washington közti különbségtől teszi függővé, annak - anélkül, hogy azokhoz tartoznának, akik könnyező szemmel tekintenek még akkor is mikroszkópba, ha tudják, hogy semmit sem látnak benne - még mindig így válaszol-hatunk: a készülékek kimutathatják ugyan, hogy a szárazföldek úszásában időközönként szünet következik be, de magát az úszás lehetőségét ez még nem cáfolja meg.

Aki pedig elítél bennünket ezért a látszólagos nyakasságért, annak csak annyit válaszolunk, hogy a kontinensek úsznak! Oly sok évszázad után GALILEI-vel együtt mondjuk:

*Eppur si muove!*