

## PALEOKLÍMA ÉS A FÖLD TÉRFOGATNÖVEKEDÉSE

### PALEOCLIMATE AND EARTH'S VOLUMETRIC GROWTH

Hágen András

Arany János Általános Iskola, 6447, Felsőszentiván, Szent István utca 19., [hagena@freemail.hu](mailto:hagena@freemail.hu)

**Összefoglalás.** A 20. században forradalmi újítások következtek be a földtan tárgyában. Wegener – és Eötvös – elméletében prioritást élvez a kontinensek mozgása. Egy-egy nagyobb volumenű kontinens-mozgás évmilliókon át tartó tektonikai fázisok sora. A geológiai kutatások azt derítették ki, hogy nagyobb fázisok végén általában jégkorszak alakul ki a Földön (pl. variszkuszi hegységképződés lezárulásaként a permokarbon jégkorszak). Ezt az összefüggést írta le és támasztotta alá geofizikai adatokkal Egyed László. Elmélete szerint 50 millió évenként 0,5 mm/év sugárnövekedés volt megfigyelhető. Egyed teóriáját felhasználva, majd azt bővítve Szádeczky-Kardoss Elemér kimondja, hogy a sugárnövekedés során elvész a tektonikai fázisokhoz köthető vulkáni tevékenység során felszabaduló CO<sub>2</sub>, és az üvegházhatást felváltja a globális lehűlés. Szádeczky-Kardoss elméletét Dobosi a gyakorlatba is bevezette. Elmélete szerint, ha a földugár 15 km-rel növekszik, akkor a hőmérséklet 0,16 °C-kal csökken, ha 37,5 km-rel növekszik, akkor 0,4 °C-kal csökken a hőmérséklet. Természetesen ezen teóriák ma már pusztán tudománytörténeti érdekességek, de véleményem szerint megérdemelne egy paleoklimatológiai és geológiai említést, mint „Egyed-Szádeczky-Dobosi-ciklus”.

**Abstract.** Revolutionary innovations took place in the subject of geology in the 20th century. In Wegener's – and Eötvös's – theory, the movement of continents has got priority. A larger-scale continental movement occurs in tectonic phases for million of years. Geological research has found that, at the end of larger phases, there is usually an ice age on Earth, e.g. as the end of the formation of the variscan mountains, the permocarbonic ice age. This connection was described by László Egyed and supported by geophysical data. According to his theory, 0,5 mm/year radius increase was observed every 50 million years. Using Egyed's theory and later extended it, Elemér Szádeczky-Kardoss states that the radius increases the CO<sub>2</sub> released during volcanic activity linked to tectonic phases and that the greenhouse effect is replaced by global cooling. Zoltán Dobosi also introduced Szádeczky-Kardoss's theory into practice. According to his theory, if the Earth's radius increases by 15 km, the temperature decreases by 0,16 °C, if by 37,5 km, the temperature decreases by 0,4 °C. Of course, these theories are only interesting in the history of science, but in my opinion they deserve to be mentioned in paleoclimatology and geology as the 'Egyed-Szádeczky-Dobosi cycle'.

**Bevezetés.** Az 20. század közepén, Alfred Wegener és Eötvös Loránd munkásságának köszönhetően a kontinensvándorlás elmélete teljesen új dinamikát kölcsönöz a Föld belső struktúrájáról alkotott elképzeléseinknek. Egy jeles magyar kutató, Egyed László, teljesen új alapokra helyezte a geofizikai kutatásokat. Az általa kifejlesztett modell már dinamikai földmodell volt. Elméletének lényege a degenerált anyag csökkenése a normál anyag javára. Ez térfogatnövekedést eredményez, ennek a következménye pedig az, hogy a Föld térfogata állandóan növekszik. Ezen elképzelés természetesen felkeltette a földtörténeti klíma kutatóinak az érdeklődését is.

**Tektonikai fázisok és az éghajlat.** A Föld éghajla időbeli változásának felkutatása számos földtudományi ágazat vizsgálatát képezi, többek között a geológiáét és a geokémiáét. A rétegek ősmaradvány tartalmának változásából következtethetünk az egykori környezet klímájára, míg a kőzetekben, vagy a rétegek között „elraktározott” vegyületekből a légkör kémiájára. A klasszikus földtan nemcsak e tekintetben alkalmazható a paleoklíma megállapításához. Érdekes egybeesés figyelhető meg a főbb tektonikai mozgásokat lezáró jégkorszakok között. E jelenségre elsőként Brooks (1926) figyelt fel.

Ezen gondolatmenetet fejlesztette tovább Flint (1957) a „szoláris topografikus” elméletével. Eszerint a hegységképződési időszakban kiemelkedő hegytömegek akadályt jelentenek a légkör általános cirkulációjára, s ennek hatására kevesebb hő áramlik az Egyenlítőtől a sarkok irányába, s így csökken a pólusok hőmérséklete. A bekövetkező eljegesedést Flint pedig a primer napsugárzás ingadozásával, valamint a Föld pályaelemeinek periodi-

kus változásával (nagy valószínűséggel a Milanković–Bacsák-ciklus felhasználásával) magyarázza.

Budyko (1972) vizsgálataiban arra mutatott rá, hogy a jégtakaró keletkezéséhez és eltűnéséhez elegendő az átlagos hőmérséklet egészen kismértékű megváltozása, feltéve, ha a hőmérsékletváltozás egyirányú és geológiai időben mérve is tartós.

Numerikus számításai szerint Földünk átlaghőmérsékletének 0,15 °C értékét kitevő felmelegedése hosszú időn át elegendő az északi pólus jégtakarójának eltűnéséhez. Ha a melegedés mértéke elérné a 0,4 °C-ot, akkor az Antarktisz 3000 m vastagságot kitevő jégpáncélja is elolvadna. Budyko hasonlóan Flinthez a paleoklíma változását nem földtani (terresztrikus) okokkal magyarázza, hanem a Nap sugárzásingadozásával (extraterresztrikus). Flint és Budyko modellje a jégkorszakok kialakulását földönkívüli (extraterresztrikus) okokkal magyarázza. Összességében nehéz is elképzelni, hogy a „születő” hegységvonulatok a légáramlások útjában állnának, hiszen a lepusztulás átlaga 1 mm/év, vagyis a gyakorlatba áttűtetve 1 millió év elegendő 1 km magas hegy lepusztulásához, pl. az 1013 m magas Kékes 1 millió év alatt lepusztul. A főbb tektonikai mozgások időtartama pedig 200–250 millió év. Így ha tartanánk magunkat a lepusztulás-időtartam átlagához, akkor 200–250 km-es erodálás lenne megfigyelhető az újonnan kiemelkedő hegységekben.

A tektonikai fázisok és a paleoklíma alakulása a nemzetközi tudósgárdán kívül a magyar Szádeczky-Kardoss

Elemérét is felkeltette. Szádeczky-Kardoss teljesen más aspektusból – az Egyed László által megálmodott dinamikai Föld-modell felhasználásával – vizsgálta meg a tektonika kapcsolatát a klímához.

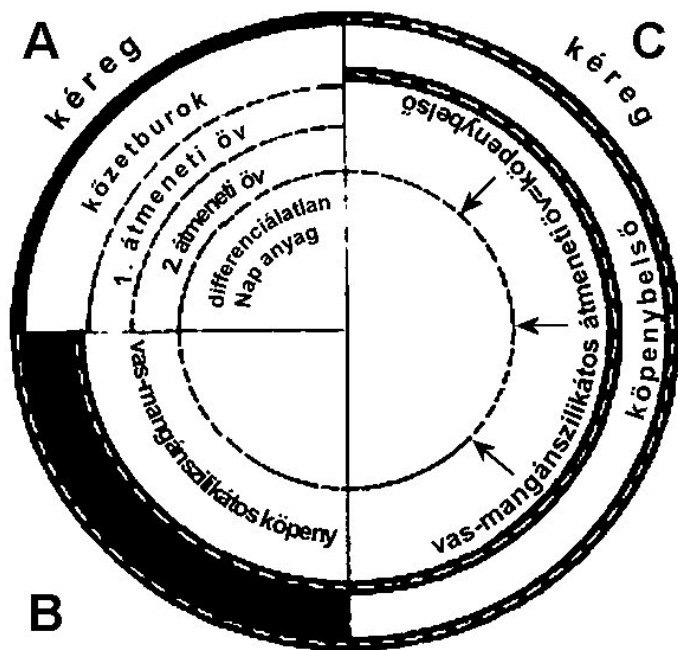
**Egyed László és a táguló Föld-modell.** Egyed László 1914-ben született az erdélyi Fogarason. Számos publikációja jelent meg folyóiratokban és könyvek formájában. Foglalkozott a gravitációs állandó csökkenésével. E mellett foglalkozott bolygónk méretnövekedésével is. Egyed (1957) tágulásos földmodellje az 1950-es években világszerte nagy figyelmet váltott ki. A magyar tudós volt a legelső, aki felismerte, hogy „A helyes földmodellnek a Földdel kapcsolatos összes jelenségeket egységesen kell magyaráznia”.

„Anyagi összetétel szempontjából, a köpeny felső részétől eltekintve, a Föld homogén. A magbelső, a maghéj és

Az Egyed által vázolt Föld-modell (1. ábra) a Wegener-féle elméletet természetes következményeként magába foglalja.

Az ösföldrajzi térképek az bizonyítják, hogy a Föld térfogata állandó növekedésben van, a sugárnövekedés mértéke – fizikai számításai szerint – 0,5 mm/év (Egyed, 1970). A tengervíz előrenyomulását és visszahúzódását ábrázoló ösföldrajzi térképek közül Sztrahov 12 darabot, Termier et Termier (1952) 34 darabot transzformált gömbfelületre. A Sztrahov-adatok alapján 0,66 mm/év sugárnövekedési sebességet, míg a Termier-féle adatok alapján 0,4 mm/év sugárnövekedési sebességet kapunk. Az adatok középértéke 0,5 mm/év.

A Föld belsejében végbemenő térfogatnövekedés az összefüggő és rugalmas földkéregben feszültséget hoz létre, mivel kitágítja. E feszültségfelhalmozódás addig tart, amíg a feszültség értéke el nem éri a kéreg alkotó köze-



1. táblázat: A vízzel borított kontinentális területek a különböző földtörténeti korokban (Termier 1952)

	Eltelt idő években	Millió km <sup>2</sup>		Eltelt idő években	Millió km <sup>2</sup>
Kambrium	505	34,80	Júra	155	16,06
	480	31,57		145	24,87
	455	32,99		135	26,62
Ordovicium	425	28,36		130	27,21
	400	46,15	Kréta	115	15,17
375	33,97	105		28,94	
Szilur	345	52,55		85	35,86
	325	55,15	70	34,71	
Devon	310	28,74	60	30,57	
	290	43,11	Paleocén	55	15,52
	275	32,79	Eocén	45	18,08
Alsókarbon	255	32,04	Oligocén	35	20,81
	245	42,78			
Felsőkarbon	235	17,61	Miocén	15	10,69
	220	31,61			
Perm	210	38,21	Pliocén	7	3,78
	190	20,92			
Triász	180	19,05	Pleisztocén	0,5	0,13
	165	22,84			

1. ábra: Vasmag nélküli földmodellek: A – Kuhn-Rittman – Naptól szakadt ki a Föld, csak a felsőrése differenciálódott, B – Ramsey – fémfázisos modell, anyagi összetétel nem differenciálódott, alul kritikus nyomás, C – Egyed – asztrofizikai modell – belül – nagy nyomás miatt degenerált mag van.

a köpeny ugyanannak a szilikátos anyagösszegnek három módosulata. Az egyes módosulatokat a 2900 km mélységben levő Gutenberg-Wiechert, ill. az 5000 km mélyen levő Lehmann-féle törésfelület választja szét. A Föld belső magját alkotó ultranagynyomású állapotban levő anyag állandó és irreverzibilis, meg nem fordítható átalakulásban van a maghéj állapotán át a köpenynek megfelelő végleges módosulatba. A köpenyben további változást csak a felsőbb részeken fellépő szétkülönülés, differenciáció okoz; ez azonban nem jelent lényeges változást. Mivel a belső mag sűrűbb, mint a maghéj, ez pedig sűrűbb, mint a köpeny, következik, hogy az állandó átalakulás következtében a Föld átlagsűrűsége állandóan csökken, térfogata tehát növekszik. Az adott Föld-modell így arra a meglepő eredményre vezet, hogy a Föld térfogata állandóan nő, a Föld tágul.”

tek szakítási szilárdságát. Ebben az esetben a kéreg szétszakad, s a kéregben lévő feszültségek felszabadulnak. A szétrepedési, vagy szutura vonal mentén új tengermedencék keletkeznek (1. táblázat), amely megszilárdulása után újból kezdődik a feszültségfelhalmozódás a kéregben.

E periódikus ismétlődés a térfogatnövekedés következménye. Egy ilyen periódus a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$\Phi = \frac{2p}{3k} \quad (1)$$

ahol  $k=1,16 \cdot 10^{12}$  dincm<sup>-1</sup> az inkompresszibilitási együttható, míg  $p$  a húzófeszültség. Ezt felhasználva azt kapjuk, hogy a húzófeszültség időtartama 50 millió éves periódust ad.

Ha egy transzgressziót és regressziót egy periódusnak tekintünk, akkor a Termier-adatokból szerkesztett diagram szerint 400 millió évre éppen 8 és fél ilyen periódus esik, azaz egy periódus ideje 47 millió év, feltűnően jó egyezésben a 0,5 mm/év sugárnövekedés feltételezése mellett számított 50 millió éves elméleti értékkel (Egyed, 1970). Ezek a periódusok és a sugárnövekedés nemcsak a bolygó fizikai alakjára volt hatással, hanem Szádeczky-Kardoss szerint a jégkorszakokra is.

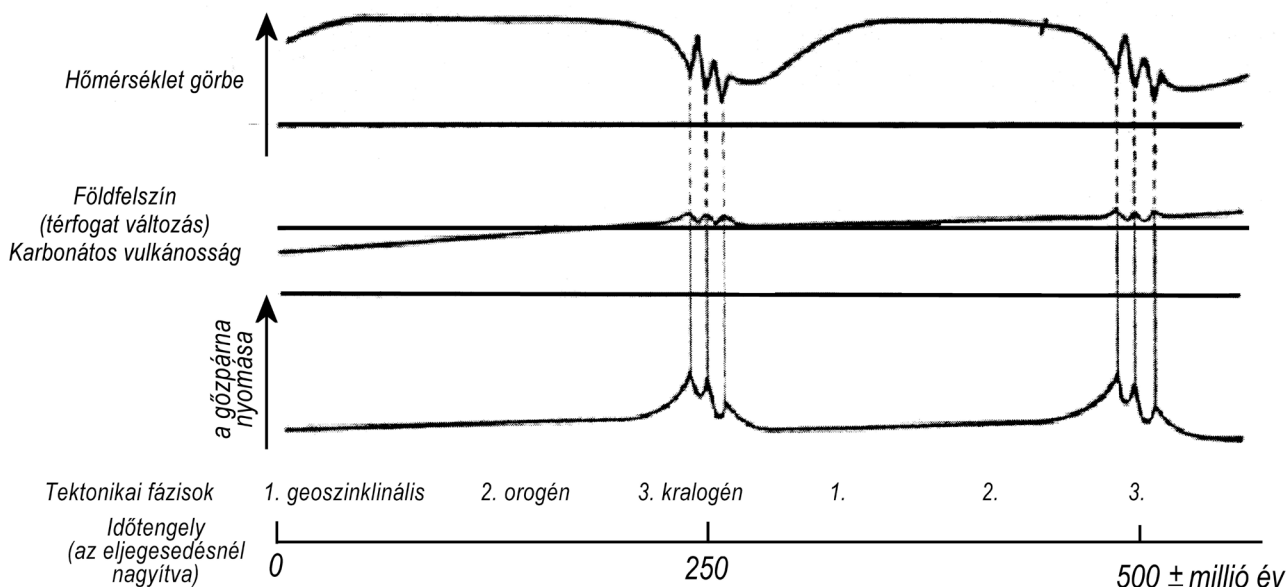
**Szádeczky-Kardoss Elemér és a gőzpárnamagmatizmus.** Szádeczky-Kardoss 1903-ben született Kolozsváron. 1921 és 25 között az Eötvös-kollégium tagjaként diplomát szerzett természettudományból a Pázmány Péter Tudományegyetemen. Hosszú kitérő után 1951-től 1969-ig az Eötvös Loránd Tudományegyetem Ásvány- és Kőzettani, majd a Kőzettani és Geokémiai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára volt. 1965-ben megszervezte a Magyar Tudományos Akadémia X., a Föld- és Bányászati Tudományok Osztályát.

át. Az egyik megjelenési mód a H<sub>2</sub>O gáz (vízgőz), míg a másik a szerves anyagokban és karbonátásványokban (mésziszap) megkötött CO<sub>2</sub> magasnyomású gázzá alakulása.

A korán felszabaduló gázok elillannak, míg a hátramaradó részek a szilárd litoszféralemezek alatt raktározódnak el, majd onnan a – szénhidrogén vegyületekhez hasonlóan – a kontinentális táblák és a magasabb óceáni lemezek alá migrálnak.

A legjobban e jelenséget a vulkanizmus alkáli-, és területi eloszlásában követhetjük nyomon. A hagyományos értelmezés szerint, minél távolabb fekszik a bazalt az óceáni területtől, ill. szubdukciós zónától, annál nagyobbá válik az alkáli, különösen a kálium tartalma. A tektonikai fázis végén és az újabb kezdetén fejlődnek ki a karbonátos alkáli vulkánok.

Bazalt utánpótlás hiányában pedig a CO<sub>2</sub> önálló gázzá különül el. A felszabaduló gáz táblák lapos boltzatai alatt felhalmozódva kevés olvadékkal CO<sub>2</sub> dús gőzként tör a felszínre.



2. ábra: A hőmérsékleti görbék, a földfelszín tágulásának és a hegységképződési fázisnak összevetése. A harmadik szakaszban, a „kratonban” láthatók a főbb változások mindhárom tényezőn (Szádeczky-Kardoss, 1973).

Szádeczky-Kardoss Elemér a X. osztályon belül életre hívta a Geonómiai Tudományos Bizottságot. Úgy gondolta, hogy a Földdel foglalkozó tudományágak a biológiával komplex egészet alkotnak, hiszen bolygónkon az élő és élettelen anyag szoros kölcsönhatásban fejlődött az évmilliárdok folyamán. Tudatában volt annak, hogy a Föld egyes tartományaiban (víz, levegő, talaj, litoszféra) és a tartományok között az anyag és energia állandóan áramlik, és ez az anyagáramlás biztosítja a Föld szféráinak kémiai és biológiai állandóságát, szabályozva a földi életet és nem utolsósorban a legfontosabb környezeti elem-együttest, az éghajlatot. Szádeczky-Kardoss (1968, 1973) komplex kutatásai során felfigyelt a tektonikus mozgások éghajlatmódosító hatására is.

Értelmezése szerint a betolódott óceáni lemezek üledékes fedőjéből metamorf és magmás kőzetek keletkeznek, amivel egy időben a mélyben kiszáradás megy végbe, ami illóanyagok termelésében nyilvánul meg. A betolódott üledék a szubdukciós sávban kétféle módon alakul

E gondolatmenetet összefoglalva a szén-dioxidnak komoly éghajlatmódosító szerepe van. Szádeczky-Kardoss négy tényezőt sorolt fel, amelyek közül az első kettő a szén-dioxid és a hidrogén, ill. hidrogénvegyületek közötti kölcsönhatást tárgyalja. A harmadik tényező a földszögár növekedésével kapcsolatos. A tágulás mértéke egészen alacsony (~0,5 mm/év), azonban ez az érték 100 millió év alatt eljegesedéshez vezet, mégpedig úgy, hogy a tágulás növekedésével elvész a szén-dioxid mennyiség, és az üvegházhatást felváltja egy lehűlési periódus, amelyet majd a negyedik tényező, a karbonátos vulkanizmus szüntet meg, így létrehozva az interglaciálisokat, majd végül megszünteti a glaciális korszakot (2. ábra). Az így túlsúlyba került CO<sub>2</sub> pedig a következő hegységképződési fázist megelőző időszakában karbonátos üledékek formájában emésződik fel.

Hogy Szádeczky-Kardoss Elemérnek e gondolatmenetét igazolják, szükséges volt matematikai formában alátá-

masztani kutatásait. E feladatra Dobosi Zoltán volt a legalkalmasabb.

**Dobosi Zoltán és az eljegesedések kifejlődése.** Dobosi Zoltán 1915-ben született. A budapesti Pázmány Péter Tudományegyetemen szerzett matematika-fizika szakos tanári oklevelet. Pályafutását 1939-ben a M. kir. Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézetben kezdte, majd a Meteorológiai Tanszéken folytatta, aminek 1970-től vezetője lett nyugdíjba vonulásáig. Kutatási témája többek között a paleoklíma volt, különösképpen a negyedkorban. Ennek ismeretében nem meglepő, hogy matematika alkalmazásával egészítette ki, tette teljesebb Szádeczky-Kardoss Elemér által preferált elméletet.

Dobosi egyetértett azzal a gondolatmenettel, hogy a föld-sugár növekedésével fordított arányosságban csökkent a légkör vastagsága, vagyis bolygónkon nem képződött üvegházhatás. Napjaink albedójával számolva üvegházhatás nélkül bolygónk hőmérséklete 32 °C-kal hidegebb lenne (Dobosi 1973).

Eredményét számításokkal is alátámasztotta, az adott föld-sugárból ( $R$ ), a növekedés mértékéből ( $\Delta R$ ) és mennyiségi változásából ( $\Delta F$ ) a Föld felszínén ( $F$ ), továbbá a légkör magassági ( $M$ ) és mennyiségi ( $\Delta M$ ) változásának felhasználásával, a következő képlet felhasználásával:

$$\frac{M}{M + \Delta M} = \frac{F + \Delta F}{F} = \frac{R^2 + 2R \times \Delta R + (\Delta R)^2}{R^2} \sim 1 + \frac{2\Delta R}{R} \quad (2)$$

ugyanis  $\frac{(\Delta R)^2}{R^2}$  elhanyagolható.

Ha például a föld-sugár 30 km-rel nő, azaz  $\Delta R = 30$  km, akkor

$$\frac{2\Delta R}{R} = 0,01 \quad (3)$$

azaz

$$\frac{M}{M + \Delta M} \sim 1,01 \quad (4)$$

Összességében például, ha a föld-sugár 30 km-rel megnő, akkor 1%-kal magasodik a légkör. Az éghajlatra gyakorolt hatása ennek megfelelően függ a sugárváltozástól. Ha a föld-sugár 15 km-rel növekszik, akkor a hőmérséklet 0,16 °C-kal csökken, ha 37,5 km-rel, akkor 0,4 °C-kal.

Ezek az eredmények nem tűnnek nagyoknak, de ha geológiai időléptékben vizsgáljuk (100 millió évre osztva, az első érték esetében 0,15 mm/év, míg a második érték esetében 0,375 mm/év lesz), akkor már egybeesnek a Budyko-féle modell küszöbértékekkel (0,35=35%) (MacAyeal, 1979).

**Tágulás és klímaingadozás.** Két kutató, más és más tudományterületek művelői, a klímaváltozás kérdésében azonos következtetésre jutottak. A tektonikai ciklusok második felében kialakuló sugárnövekedéssel vékonyabb lett a légkör, ezért csökkent az üvegházhatás, és nagyobb

lett a felszíni kisugárzás. Az előrenyomuló jégtakaró magasabb albedója pedig fokozta a lehűlést.

A Dobosi–Szádeczky-Kardoss-elmélet választ ad a jégkorszakok megszűnésére is. A hegységképződés lezárulásával a föld-sugár ellentétes irányban megváltozik, ebből következően vastagabb lesz a légkör, és a CO<sub>2</sub>-szint emelkedésével növekszik az üvegházhatás is, és olvadni kezdenek a jégtáblák.

A Dobosi–Szádeczky-Kardoss(–Egyed) elképzelés az eljegesedések kialakulásáról egy lehetőségre mutat rá, amelyet, ha földtani aspektusból vizsgálunk, akkor egyezést találunk a földtörténet geológiája és paleoklimája között. A Kaledóniai-hegységrendszer „születésének” végső fázisa felé, kb. 430 millió éve az ordovicium végén jégkorszak alakult ki a Földön. A Variszki-hegységrendszer kialakulásának végső fázisában, a permokarbonban ugyancsak.

Az Alpi „születést” már nem helyezem bele e sémába, hiszen kialakulása még napjainkban is tart, igaz az utóbbi 1 millió évben egy jégkorszak alakult ki a bolygónkon, amely csak 10 000 éve ért véget.

Ha igaz Egyed feltételezése a földtágulásról, amely a fő tektonikai fázisok idején játszódik le, és ezzel párhuzamosan vékonyodik a légkör – így csökken az üvegházhatás – is, akkor nem tudhatjuk milyen következménye lesz az Alpi-hegységképződést lezáró retrográd sugárcsökkenésnek, hiszen az emberi tevékenység folytán nagymennyiségben juttatunk üvegházhatású gázokat a légkörbe, ami már most is globális szinten klímaváltozást okoz.

Dobosi Zoltán, Egyed László és Szádeczky-Kardoss Elemér elképzelése és vizsgálatai oly korban kerestek választ a földtörténeti korokban kimutatható klímaváltozásra, amikor ennek a kérdésnek inkább elméleti jelentősége volt, de legkevésbé se globális politikai jelentősége. Talán érdemes emlékeztetnünkben tartani munkásságukat.

## Irodalom

- Brooks, C. E. P., 1926: *Climate through the Ages*. London
- Budyko, M. I., 1972: *Stability of the climate of our age*. – Budapest
- Dobosi, Z., 1973: Az eljegesedések kifejlődése az új globális tektonika alapján. *Geonómia és Bányászat* 6, 189–192.
- Egyed, L., 1957: Új elmélet a Föld szerkezetéről és fejlődéséről. *Természettudományi Közlöny* 88 (4) 164–167.
- Egyed, L., 1970: A Föld méreteinek változása a paleogeográfiai adatok alapján. *Földtani Közöny*, 86(2), 120–125.
- Flint, R. F., 1957: *Glacial and paleistocene geology*. New York
- MacAyeal, D. R., 1979: *A catastrophe model of the paleoclimate*. *Journal of Geology* 24. 90. 245–257.
- Szádeczky-Kardoss, E., 1968: *A Föld szerkezete és fejlődése*. Akadémiai Kiadó. Budapest
- Szádeczky-Kardoss, E., 1973: Szublitoszferikus gőzpáramagmatizmus és klímaingadozás. *Geonómia és Bányászat* 6, 163–169.
- Termier, H. et Termier, G., 1952: *Historie Géologique de la Biosphère*. Par