

A PERIGLACIÁLIS KÖRNYEZET FELSZÍNALAKULÁSA 1. RÉSZ

Geomorphic evolution of periglacial environment 1.

GÁBRIS GYULA

emeritus professzor
ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Természetföldrajzi Tanszék
gabris@ttk.elte.hu

ABSTRACT

The intensive research of the periglacial features in Hungary took place in the 1960's, but the main problem was that only fossil phenomena could be studied in Hungary. At that time the periglacial phenomena were classified on a purely descriptive basis, according to formal similarities. The following is not a description of the entire field of knowledge, but only a selection of some important and neglected or misunderstood phenomena and forms.

Keywords: periglacial environment, permafrost, subsurface ice, periglacial forms

BEVEZETÉS

Manapság – ahogyan mondani szokás – a vízcsapból is a globális felmelegedés, vagy általánosabban fogalmazva az éghajlatváltozás folyik. Felmerül a kérdés: mennyiben érinti ez a geomorfológiát? Van a felszínalaktannak egy vastkos fejezete, amelyet igen erősen: ez a periglaciális területek felszínalakulása. Csak néhány hatásvadász cím a közmédiából: „Klíma-apokalipszis: az olvadásnak indult permafrosztból kiáramló metán turbó fokozatra kapcsolja a klímaváltozást!”, „Lépfene, himlő, szén-dioxid: ha felolvad a permafroszt, nekünk annyi”, „Nem is örök az örökfagy”. A következőkben e tudományterület klasszikus ismereteit járjuk körbe, megjegyezve, hogy nem vállalkozhatunk a teljes ismeretkör leírására, hanem csak kiemelünk néhány különösen fontos és sajnos elhanyagolt vagy félreértett jelenséget, formát. Végül megvizsgáljuk a felmelegedés tudományosan megalapozott hatásainak fontosabb elemeit.

HAZAI KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK

SZÁDECZKY-KARDOSS ELEMÉR volt az első, aki 1936-ban a Bécsei-medencében talajszelvények tanulmányozásakor a „zsákos kavicsokban” periglaciális jelenségeket fedezett fel. E jelenségek első magyarországi felismerése a harmincas évek végére tehető, amikor

KEREKES JÓZSEF több tanulmányt (1938, 1939) jelentetett meg bükki tundrajelenségekről és pestszentlőrinci fosszilis tundraképződményekről (fagyzsákokról). Sőt, az addigi hazai és nemzetközi kutatások eredményei alapján hazánk periglaciális képződményeinek monografikus összefoglalását és rendszerét (1941) is megírta. BULLA BÉLA (1941) a Máramarosi-Kárpátok periglaciális jelenségeiről közölt tanulmányt.

Majd két évtizedes szünet után PÉCSI MÁRTON „harapott rá” a témára és Duna-völgyi monográfiája megírását követően két év alatt – a fél országot motorkerékpárral bejárva – a negyedidőszaki korrációs folyamatokról, valamint a szerkezeti és vázlatajok képződéséről írt akadémiai doktori értekezést 1961-ben, és a témakörben több tanulmányt is megjelentetett (PÉCSI M. 1961, 1962, 1964, 1997). Ezt követően számos tanulmány készült a periglaciális témakörben, amelyekkel kapcsolatban a fő gondot az jelentette, hogy hazánkban csak fosszilis jelenségeket lehetett tanulmányozni, jelenkori periglaciális területekre kijutni és ott megfigyeléseket végezni azonban csak ritkán (pl. LÁNG SÁNDOR [1971]) lehetett. További nehézséget jelentett, hogy releváns szakirodalmak – könyvek, folyóiratok – alig voltak hozzáférhetőek. Így a magyarok saját fantáziájukra és – amint ez később nyilvánvalóvá vált – félreértett fordításokra alapozva állítottak fel elméleteket. Egy kicsiny ablak nyílt csak a világra: Lengyelország, a lengyelek ugyanis az 1950-ben a Spitzbergákon felállított Lengyel Sarkvidéki Állomáson dolgozva, majd pedig Szibériába eljutva és az oroszokkal együtt kutatva értek el eredményeket. Ezzel fellendítették a magyarországi középhegységekben folyó kutatásokat is, elősegítve pl. SZÉKELY ANDRÁS (1969) és PINCZÉS ZOLTÁN (1986, 1994) munkáit. Később e sorok írójának volt alkalmá magashegységek aktív és belgiumi területek fosszilis periglaciális jelenségeit tanulmányozni és irodalmi források alapján a folyamatokat és formákat összegezni (GÁBRIS GY. 1991, 2007).

A periglaciális jelenségek csoportosítása ekkor nálunk tisztán leíró alapokon, formai hasonlóságok szerint, magyarázatuk pedig a folyamatok megfigyelése, meghatározása nélkül történt. A mai osztályozás rendező elve viszont a felszín alatti (és részben feletti) jégtípusok tulajdonságain, „mozgásformáin” és a periglaciális formákkal való összefüggésén alapul.

A PERIGLACIÁLIS KÖRNYEZET KITERJEDÉSE

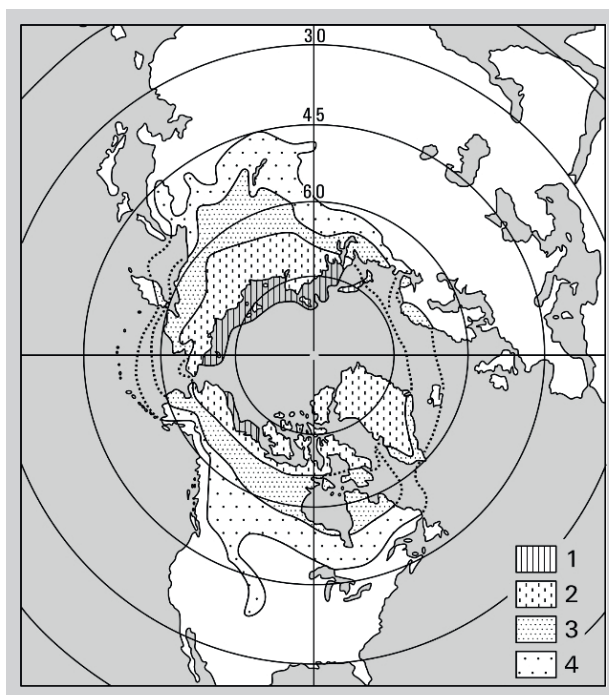
A lengyel WALERY ŁOZIŃSKI 1909-ben alkalmazta először a **periglaciális** szót, amely eredeti értelmében a sarkvidéki jégtakarók körüli övet jelölte. A **periglaciális geomorfológia** nemzetközi szakkifejezés lett, amely az eljegesedett (glaciális) területek földi méretű sapkái körül elhelyezkedő vidékek felszínalakulását jelenti. E vidékek morfológiája különleges sajátosságokkal jellemezhető: éghajlata általában hideg, s a nagymértékű fagyváltozékonyság hatására igen aktív felszínalakító folyamatok uralkodnak.

Periglaciális környezetnek azt nevezzük, ahol a víz geomorfológiai hatását annak felszín alatti állandó vagy időszakos szilárd halmazállapota határozza meg.

A periglaciális jelenségek előfordulása legtípusosabb az állandóan fagyott földű területeken, ezért több kutató szerint az örökké fagyott föld (permafroszt) elterjedése jelenti a periglaciális területek elterjedését is. Ezen az alapon kétféle periglaciális területet különíthetünk el:

- sarkvidékeket nagyon hosszú fagyos periódussal;
 - az alacsonyabb földrajzi szélességek magashegységeit a fagyás-olvasás napi ritmusával.
- Mások szerint a -1 °C -os évi izoterma a periglaciális öv Egyenlítő felőli határa.

Ha az örökké fagyott föld – vagyis ahol a felszín alatt a kőzetek hőmérséklete egész évben 0 °C alatt marad – szegélyével határoljuk le vizsgálandó területünket, akkor a kontinensek 1/5 részét ide sorolhatjuk (1. ábra). Ha azonban kiterjesztjük kutatásaink körét azokra a vidékekre is, ahol a pleisztocén hidegebb szakaszainak hatására kialakult periglaciális formák is megtalálhatók, akkor a periglaciális területek csaknem a teljes jelenlegi mérsékelt övezetet lefedik. Így a jelenlegi és a fosszilis periglaciális területek a szárazföldek 1/3-át foglalják el.



1. ábra. Az állandóan fagyott föld elterjedése az északi féltekén. Jelmagyarázat: 1 – tenger alatti örökfagy; 2 – összefüggő örökfagy; 3 – szaggatott örökfagy; 4 – szigetszerű örökfagy (Brown, R. J. E. 1970 nyomán)

Az örökfagyott föld Kárpát-medencebeli jelenlétéről, határáról is több feltevést ismerünk. Előbb a középhegységek déli lábához helyezték a határt (BULLA B. 1939), később az egész ország, így az Alföld területén is leírtak olyan jelenségeket, amelyek kialakulásához az állandóan fagyott föld jelenlétét feltételezték (PÉCSI M. 1961). Az újabb kutatások inkább a korai nézetet látszanak igazolni.

A PERIGLACIÁLIS KUTATÁSOK JELENTŐSÉGE

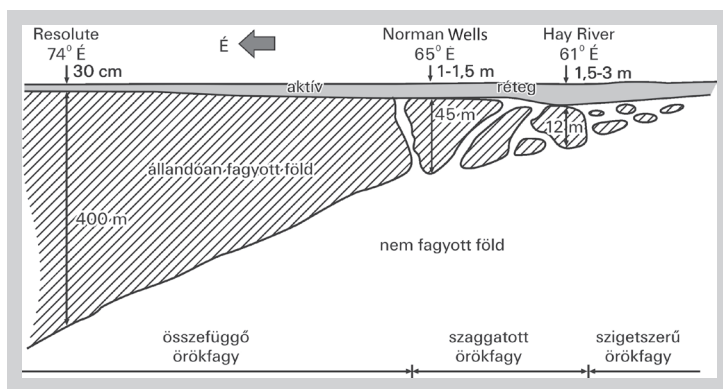
A periglaciális környezet geomorfológiai jelentősége e vidékek gyors felszínfejlődésében, a folyamatok nagy intenzitásában rejlik. A II. világháború után meggyorsult a sarkvidéki területek használatbavétele. Az ásványkincsek kitermelésére telepített városok, a hozzájuk vezető utak, távvezetékek, a stratégiai célokat szolgáló katonai bázisok, radarállomások stb. létrehozása során számtalan nehézséggel kellett megküzdeni, amelyeket csak a periglaciális kutatások segítségével lehetett megoldani. Az örökfagy területén mindenféle emberi-társadalmi beavatkozást óvatosan, a következményeket előre számba véve lehet csak végrehajtani. Az épületek, utak, repülőterek stb. építése mind befolyásolhatja a környezet hőmérsékleti viszonyait és a fagyott talaj olvadásával járhat.

A periglaciális kutatások céljait a következőkben jelölhetjük meg:

- a periglaciális folyamatok és a folyamatok környezeti feltételeinek meghatározása;
- a következtetések alkalmazása a negyedidőszaki környezet rekonstrukciója céljából;
- a periglaciális környezet rövid és hosszú távú változásainak előrejelzése;
- a társadalmi szükségletek kielégítése érdekében elkerülhetetlen beavatkozások (pl. építkezések) esetében a környezet megóvását elősegítő módszerek kidolgozása.

A FAGYOTT FÖLD

A szezonálisan megfagyó és felolvadó felszíni réteg alatt elhelyezkedő **állandóan fagyott föld** – vagy rövidebben **örökfagy** – bizonyos vastagságú, legalább 2-3 éven, de akár ezer vagy tízezer éven keresztül folyamatosan fagyponthoz alatti hőmérsékleten levő talaj, felszínközeli törmelék, üledék vagy bármilyen alapkőzet. Az örökké fagyott föld fogalmát csakis hőmérsékleti alapon határozzuk meg. Ez a fagy valójában nem „örök”, hanem hosszabb időszakra kiterjedően állandóan 0 °C alatti hőmérsékletű felszín közeli réteget jelent. Ha tisztában vagyunk azzal, hogy a jelenségnek kezdete és vége van, akkor nem okoz gondot a hagyományos örökfagy kifejezés jelentésének pontos értelmezése (pl. örök szerelem). Az örökfagy vastagságának földrajzi szélességgel történő változását, vékonyodását, valamint felszakadozását a 2. ábra mutatja be. A **szaggatott** és a



2. ábra. Észak–déli szelvény Kanadában az állandóan fagyott föld övében. A fagy vastagsága dél felé csökken és felszakadozik. (Brown, R. J. E. 1970 nyomán)

szigetszerű örökfagy az állandóan fagyott és a nem fagyott területek kiterjedésének arányában különbözik, abban, hogy melyikből van több.

Az örökfagy maximális vastagsága tekintélyes méreteket ölthet. A szibériai Viljufolyó forrásvidékén 1450 méter is lehet. A szibériai hidegpólus területén található az állandóan fagyott föld hőmérsékleti minimuma: $-13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Az örökfagy legfelső, minden nyáron felengedő, majd télen megfagyó rétegének neve **aktív zóna** vagy **aktív réteg**. Vastagsága földrajzi helytől függően változik. A hidegebb sarkkörnyéki vidékeken 0,2–1 méter mély lehet, ettől távolodva azonban elérheti a 3 métert is. Az örökké fagyott földben különböző körülmények miatt meg nem fagyott, legtöbbször magas víztartalmú közettömeg is előfordulhat, aminek a neve **talik**.

Az állandóan fagyott föld eredetének kérdése sok vitát váltott ki. Számosan képviselik azt a nézetet, hogy az örökfagy az utolsó pleisztocén eljegesedés maradványa, vagyis fosszilis jelenség. Ezt az álláspontot főképpen a permafrosztba belefagyott és így konzerválódott pleisztocén állatok (mamut, gyapjas orrszarvú stb.) támasztják alá. Mások szerint az örökfagy jelenkori képződmény és napjaink – vagy a közelmúlt – hideg, száraz éghajlatán képződik, mert az utolsó eljegesedés óta lerakódott holocén rétegekben is előfordul az örökfagy. Mint általában, ez esetben is középén az igazság: egyaránt van fosszilis, tehát jégkorszakból visszamaradt és a jelenkorban képződött örökfagy is.

1922-ben a Spitzbergák közelében **tenger alatti örökfagyot** találtak. Később a sarkvidéki selftengerekre is kiterjedő kőolajkutatás során sok helyen bizonyították a tenger alatti állandóan fagyott föld jelentését. Víz alá kerülését az általános tengerszint-emelkedéssel magyarázhatjuk. Megmaradását pedig azzal, hogy a sós tengervíz $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá is lehűlhet anélkül, hogy megfagyna. Így az örökfagy a hullámok alatt konzerválódhat.

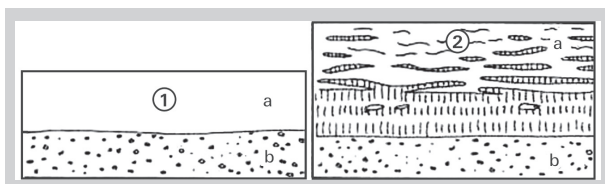
A FELSZÍN ALATTI JÉG

Az örökfagy kialakulásához nem szükséges a víz, illetve a jég jelenléte. Jég nélkül azonban a fagyott föld csupán „halott”, hatástalanságra kárhóztatott tömeg. Mozgást, feszültséget, változást a víz jelenléte, pontosabban fázisváltozása eredményez. A felszínközeli rétegek deformálódását, a felszíni formák kialakulását a felszín alatti jég különböző formái határozzák meg: „in situ” jég (vagy cementjég), szegregációs jég (vagy lemezjég), a fagyék jege, injekciós jég, eltemetett jég. Közülük a szegregációs és az injekciós jég a legkülönlegesebb és egyben hazai szakirodalomban a legkevésbé ismert, pedig a legjelentősebb felszínformáló jégforma. A felszín formálásában fontos még a jégék is, amelyről szintén érdemes beszélni az újabb kutatások tükrében.

Szegregációs jég

A vízzel átitatott és felülről lassan hűlő közegben a fagyás $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten következik be. Bizonyos idő eltelte után azonban az így keletkezett jég nem képes tovább növekedni, mert a talajban lekötött víz megfagyásához alacsonyabb hőmérséklet szükséges. Ha tehát további lehűlés következik be, akkor a kötött víz is megfagy, de a talajszemcsék körül így megszűnő folyadékártya helyébe távolabbi, általában mélyebb területekről vízutánpótlás érkezik a fagyás helyére. A fagybehatolás e határát **fagyhullámnak** is szokás nevezni. Ha víz ideáramlása kiegyenlíti a lehűlést, a fagyhullám úgymond helyben marad, a fagyási zónába alulról érkező (szivárgó, vándorló) víz hozzá „felszívódik”, és a fagyhatáron **szegregációs jég** kezd növekedni, amely felemeli a felette levő talajt (3. ábra).

E jelenség bekövetkezéséhez nem csupán talajnedvesség szükséges, hanem az is, hogy a fagyás lassú legyen. Túlságosan gyors fagyás esetén ugyanis a törmelékes kőzet szemcséi között levő víz a gyors megfagyásakor helyben marad, összecementálja a laza kőzeteket, ezáltal azonnal leállítja a vízmozgást, vagyis „in situ” jég (cementjég) keletkezését eredményezi.



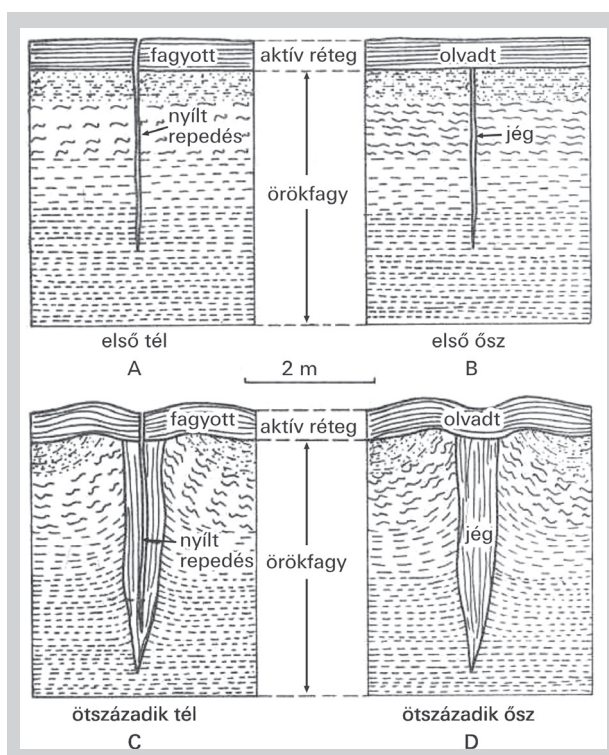
3. ábra. A szegregációs jég keletkezése. Jelmagyarázat: a – finomszemcsés; b – durva (pl. kavicsos) rétegek.
(1) A fagyás előtti helyzet; (2) a lassú fagy hatására a kavicsrétegből felszivattyúzott víz jégencsék formájában megfagy, a felső réteg megvastagodik, a felszín megemelkedik.

A szegregációs jég a fagy behatolási irányára merőlegesen kialakuló, párhuzamos síkok mentén, lemezszerűen képződik. A néhány milliméter, maximum centiméter vastag lemezek jege nagyon tiszta. A talajvíznek a jéglencsék felé vándorlása a mélyebb részek kiszáradásához vezet. A szegregációs jég képződésének két fontos feltétele – nedvesség jelenléte és a lassú fagyás az örökké fagyott föld legfelső rétegében – az aktív zónában általánosan megvalósul. A folyamat során jelentős jégtömegek halmozódhatnak fel a talajban: a jég mennyisége meghaladhatja a száraz talaj súlyát is.

A fagyék jege

Ez a jégtípus a téli hideg hatására bekövetkező összehúzódás nyomán a talajban kialakult nyílt repedésekbe bejutó víz megfagyásából keletkezik. A folyamat mechanizmusa az alábbi lépésekben történik (4. ábra).

a) A téli hideg hatására lehűlő talaj, illetve felszínalkotó kőzet összehúzódik. Az összehúzódás poligonális formájú repedések képződéséhez (4A. ábra) vezet. A repedések



4. ábra. A jégék kifejlődése és a fagyott föld deformációja (a rétegek felfelé hajlanak)

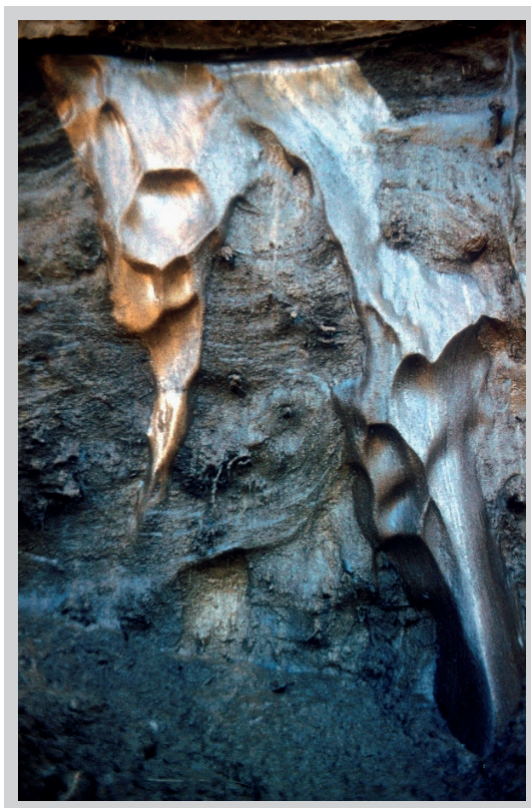
szélessége 1 mm-től 1–2 cm-ig terjedhet, mélysége pedig meghaladja az aktív réteg vastagságát és bejut az örökké fagyott földbe.

b) A tavaszi felmelegedés kezdetén a hó és a felszíni jég olvadásából származó víz befolyik a még nyitott repedésekbe. Elérve a fagyott talajt gyorsan megfagy.

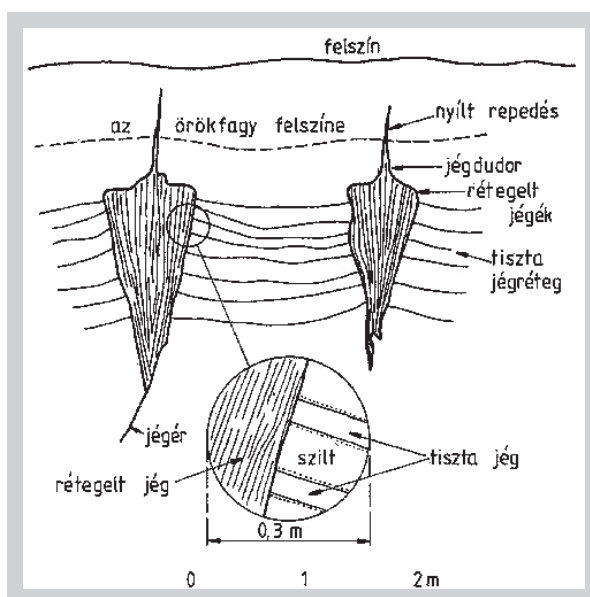
c) A nyári felmelegedéssel az aktív réteg teljesen felolvad, így a jégerecskék ebben a rétegben elolvadnak. Az örökfagy is felmelegszik kissé – de nem olvad meg –, és ezzel kitágul. Ha a repedést kitöltötte a jég, a jég megmarad (4B. ábra), és a feszültségek a fagyott föld deformációjához vezetnek, a rétegek a jég felé kissé felemelkednek (4C. ábra), vagy néha részben ki is tolódnak a jég a fagyékből.

d) A következő telek során már a jég a gyenge pont; az újabb összehúzódás következtében a már meglévő jég mentén alakulnak ki az újabb repedések, aminek következtében a jég hízni kezd (4D. ábra).

Így évről évre milliméterenként vastagodhat a fagyéket kitöltő jég, amelynek mélysége a 12–15 métert, szélessége pedig a 6–8 métert is elérheti (5. ábra) az örökfagyott földben.



5. ábra. Jégék Jakutiában



6. ábra. A jég rétegződése

Az évenkénti növekmény eltérő szennyezettségű lehet, így a jégben függőleges rétegzettség figyelhető meg (6. ábra). A jég kialakulásának feltétele az örökfagy jelenléte, a zord éghajlat, valamint a vízbehatolás a nyitott repedésekbe.

Injekciós jég

Ez a jégtípus a felszín alatti kőzetrétegekben nyomás alatt lévő víz más helyre történő benyomulása, befecskendezése, majd megfagyása következtében keletkezik. Mielőtt a jégforma kialakulási menetével foglalkoznánk, néhány – a folyamat megértéséhez elengedhetetlenül szükséges – fizikai ismeretet kell feleleveníteni.

A víz több rendkívüli tulajdonsággal rendelkezik. Esetünkben a legfontosabb az, hogy normális körülmények között – 1 atmoszféra nyomáson – legnagyobb sűrűségét nem a szilárd halmazállapotba történő átmenetkor éri el, hanem +4 °C-on; ekkor sűrűsége 1 g/cm³. Fagypontra tovább hűlve térfogata növekszik, s ekkor sűrűsége 0,9168 g/cm³. Az igazi nagy változást azonban a megfagyása jelenti. Ekkor térfogata hirtelen erősen megnövekszik, a 0 °C-os víz 0 °C-os jéggé fagyása 9,08%-os térfogat-növekedéssel jár. Ahhoz, hogy folyékony halmazállapotát a víz mélyen a fagyáspont alatt is megtarthassa, hatalmas nyomás szükséges: pl. a –22 °C-on megfagyó víz 2050 kg/cm² nyomást képes kifejteni! (Fontos körülmény ez a rétegzavarok magyarázatok is.)

A fagyással együtt járó jégtérfogat-növekedés nyomás alatt tartja a még meg nem szilárdult, esetleg túlhűlt vizet a felszín alatti zárt víztartó rétegekben. A nyomás alól szabadulni akaró víz szabad terekbe nyomulhat be, ahol azonnal megfagy és ún. **injekciós jéggé** alakul. A benyomulásnak két alapvető, egymástól jól elkülöníthető menete van, a zárt, illetve a nyílt rendszerben történt befecskendezés. Ezek fő jellemvonásai az alábbiak.

Zárt rendszerű injekciós jég

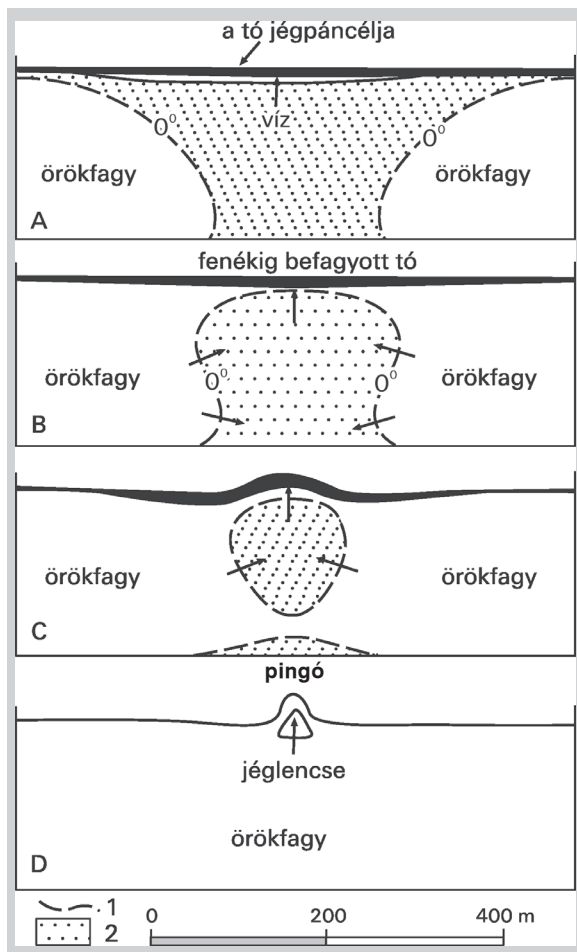
A téli jégpáncél vastagságát meghaladó vízmélységű sarkvidéki tavak alatt a tófenék anyaga nincs fagyott állapotban még akkor sem, ha egyébként az összefüggő örökfagy övében helyezkedik el. A tó vize ugyanis – mint 0 °C hőmérséklet feletti tömeg – nem engedi fagypontra alá hűlni az alatta lévő kőzeteket sem. A tó jégtakarója ezen kívül hőszigetelő réteggé is működik. Amikor azután valamely változás következtében a tó egy télen fenékgé jéggé dermed, a tófenék anyaga is kezd megfagyni. Vagyis a tó alatt minden oldalról és alulról-felülről is fagyott föld által körülzárt, folyékony halmazállapotú vízzel átitatott közettömeg – zárt talik – keletkezik. A környező permafroszt jegének nyomása ennek a nem fagyott zárványnak a túlhűlt vizét hatalmas erővel terheli meg, aminek hatására az a legkisebb ellenállás irányában – legtöbbször fölfelé – kereshet utat magának; a nyomás a talikból kipréselt vizet mintegy befecskendezi egy felsőbb közetrétegbe, ahol az megfagyva jéglencsévé alakul (7. ábra).

Szibériában kezdetben csakúgy, mint a sztyeppén, a kozákok a csupasz földre építették a faházakat, ami alatt télen nem fagyott meg a nyáron felolvadt föld, ezért megtörtént, hogy a szigorú fagy idején az injekciós jég betört a házba. Így ha egy ilyen esetet követően valaki benyitott az ajtón, nemcsak hogy egy jégfalba ütközött, hanem – mivel a jéglencse jege nagyon tiszta – mintegy pillanatfelvételnél azt is láthatta, hogy Mása a tűzhelynél keveri az ételt, Grísa meg éppen felhajt egy pohár vodkát...

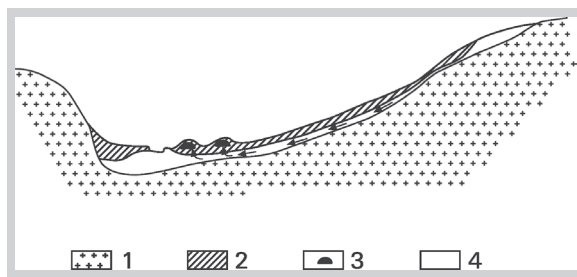
Nyílt rendszerű injekciós jég

Ebben az esetben a túlhűlt víz befecskendezése egy lejtőn elhelyezkedő impermeábilis közeg és a felszíni-felszín közeli fagyott réteg között lévő víz hidrosztatikai nyomása következtében megy végbe (8. ábra). A jelenséget úgy kell elképzelni, mint az artézi kutak nyomását, de itt a felső vízzáró réteg csupán a fagy miatt lett vízzáró. A nyílt rendszerben a víz nincs olyan nagy nyomás alatt, mint a zárt rendszerben.

Az „injekciós” jég általában nagyon tiszta és áttetsző. Még levegőzárványokat is alig tartalmaz, és legtöbbször nagyméretű, kaotikusan irányítatlan kristályok építik fel.



7. ábra. A zárt rendszerű injekciós jég kialakulása (magyarázat a szövegben). Jelmagyarázat: 1 – 0 °C-os izoterma a felszín alatt; 2 – folyékony vizet tartalmazó homok



8. ábra. A nyílt rendszerű injekciós jég kialakulása. Jelmagyarázat: 1 – alapkőzet; 2 – fagyott föld; 3 – jéglencse; 4 – folyékony vizet tartalmazó réteg

Általában több centiméteresek lehetnek, de találtak már 90 centiméter hosszú jégkristályt is.

JÉG A FELSZÍNEEN

A periglaciális területek felszín alatti víz–jég folyamatai eredményeképpen a felszínre is kerülhet jég. Jóllehet ezek valóban a felszínen vannak, de keletkezési mechanizmusuk miatt a felszín alatti jéghez hasonlíthatók. Itt egyetlen változatával foglalkozunk. A **jégtűk** (pipkrakes) olyan jégkristályok, amelyek a felszínen növekedve a felszín síkjára merőleges „oszlopokat” alkotnak, és gyakran kisebb kavicsokat vagy vékony talajlemezeket is felemelhetnek (9. ábra). A jégtűket tulajdonképpen szegregációs jégnek kell tekinteni, kialakulási körülményeik nagyban megegyeznek a szegregációs jégével – lassú fagy, nedvességvándorlás, finomszemcsés üledék –, de a folyamat a felszínen történik. Ezzel a jelenséggel itthon is találkozhatunk, amikor az éjszakai fagy jégtűket hoz létre, amelyek csak reggel láthatók. Ha fagypont fölé emelkedik a hőmérséklet, ezek elolvadnak, de a csupasz föld porhanyóssá válik, látszólag „föľhabzik”.



9. ábra. Több centiméteres jégtűk a Kilimandzsárón

PERIGLACIÁLIS FORMÁK TULAJDONSÁGAI A JÉGFAJTÁK FÜGGVÉNYÉBEN

A periglaciális jelenségek csoportosítása korábban tisztán leíró alapokon, formai hasonlóságok szerint történt. Az alábbi osztályozás rendező elve viszont az előző fejezetben megismert jégtípusok és a periglaciális formák összefüggésén alapul. Jóllehet ismereteink még hiányosak e tekintetben, mégis kísérletet tehetünk a genetikus csoportosításra, még akkor is, ha több formának ismeretlen, vagy túlságosan is bonyolult az eredete.

Az injekciós jéghez kapcsolódó formák

Az eszkimó **pingó** szó a sík felszínből kiemelkedő olyan dombokat jelöli a geomorfológiában, amelyek a belsejükben kifejlődő és egyre dagadó jégencse következtében váltak kiemelkedéssé. (Észak-Szibériában bulgunyáknak nevezik, tudományos műszóval pedig hidrolakkolit néven ismert.)

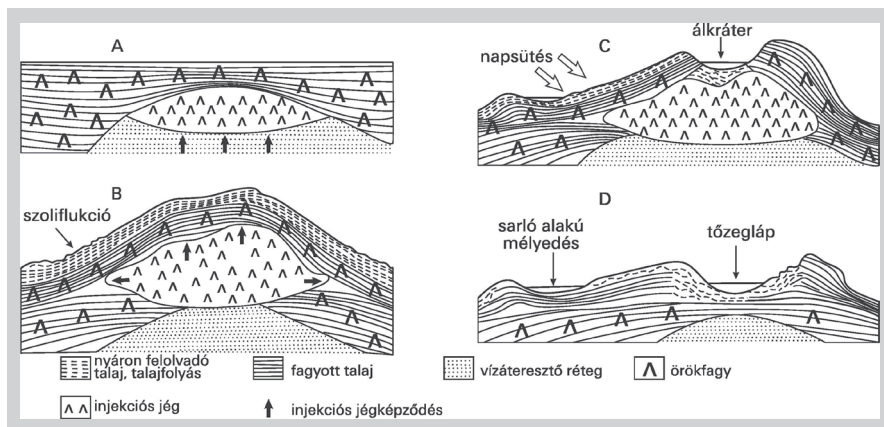
A pingók méretei igen nagyok is lehetnek: a Mackenzie deltájában leírtak már 50 méteres viszonylagos magasságú és 600 méternél nagyobb átmérőjű óriásokat is (10. ábra).

A pingó nagyra növekedése után szinte azonnal megindul a pusztulása is. A jégencsét fedő kőzetek aktív zónájában nyáron megolvadó jég vize talajfolyást és csuszamlásokat indít meg, az így kivékonyodó takaró alatt a jégencse is olvadni kezd, aminek következtében a tetőn kerekded, zárt mélyedés formálódik, közepén a meleg évszakban tóval (11. ábra). Ilyenkor a pingó egy kisméretű tűzhányóra hasonlít (12. ábra).

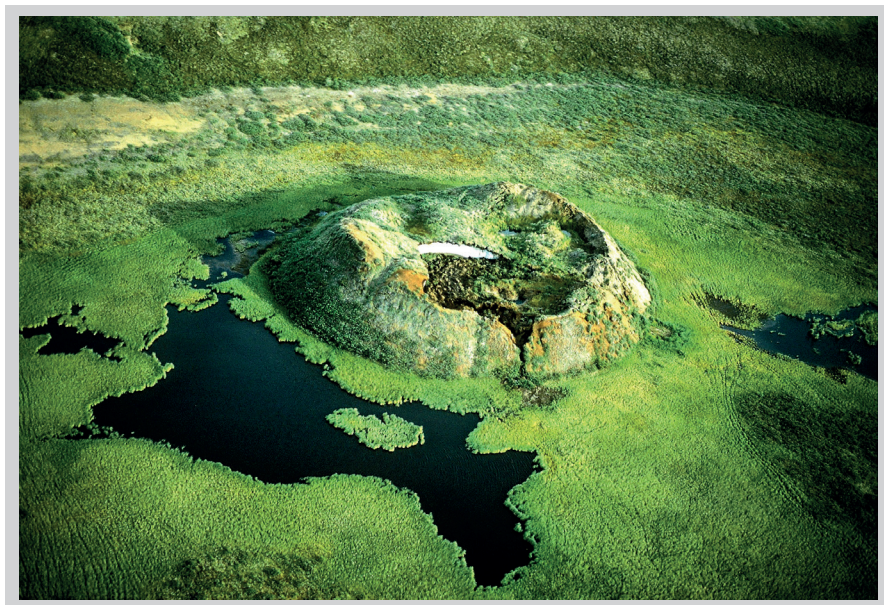
A pingók két fajtáját különböztetik meg a szerint, hogy a magjukat képező injekciós jég zárt, vagy nyílt rendszerben jutott-e túlhűlt víztömegként a forma belsejébe. A Mackenzie-típusú, vagy zárt rendszerű pingó olyan – általában sík, alluviális – területeken fordul elő, ahol a zord éghajlaton mély, összefüggő állandóan fagyott föld alakul ki. E vidékek évi középhőmérséklete -5 °C és -11 °C között van. A nyílt rendszerű,



10. ábra. A Mackenzie-deltában van a Föld legnagyobb pingója, az Ibyuk (forrás)



11. ábra. A pingó fejlődésének állomásai



12. ábra. Pusztuló pingó, amelynek „kráteréből” a tó vize már kifolyt (forrás)

grönlandi-típusú pingó kevésbé hideg éghajlaton is képződik (pl. Alaszka közepén, ahol az évi középhőmérséklet csupán $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ között van). Szükséges feltétel még a meglehetősen változatos domborzat is, mert a hidrosztatikus nyomáshoz nagyobb szintkülönbség szükséges.

Szegregációs jéghez kapcsolódó formák és folyamatok

A **palsa** név svéd kutatók leírása alapján jelent meg a szakirodalomban: az ország északi részének lápjáiból különleges formájú dombok emelkednek ki, amelyeket a helyi számi (nálunk ismertebb néven lapp) lakosság palsarnak (egyes számban palse) nevez. A palsák a pingónál kisebb méretű dombok. Legnagyobb magasságuk 8–9 méter, átmérőjük pedig általában csupán néhány tucat méter. Gyakran jelennek meg csoportosan.

Kialakulásuk alapvetően különbözik a pingókétól, jóllehet belsejükben ugyancsak jégmag található. Ez azonban szegregációs jég, és a lencse rendszerint nem vastagabb 2–3 méternél. A jég általában tőzegrétegben képződik. A jég lencse kialakulásában a tőzeg változó hővezető tulajdonságai játszanak kulcsszerepet: a száraz tőzeg sokkal rosszabb hővezető képességű, mint a nedves. A száraz tőzeg hőszigetelő hatása eredményeként nyáron a jég nem olvad, télen azonban a nedves tőzeg közvetíti a hideget, tehát elősegíti a szegregációs jég képződését, évről évre bekövetkező növekedését. A palsák lápokban képződnek, ahol a szegregációs jég létrejöttéhez tekintélyes mennyiségű víz áll rendelkezésre, és kizárólag a megszakadó és szigetszerű örökfagy területén léteznek.

A palsák pusztulása – vagyis jégmagjuk olvadása – csak sekély mélyedéseket eredményez, mivel a palsa tetején a jég hűtő hatása miatt lassult vagy szünetelt a tőzégképződés. A mélyedés tehát a jégmag elolvadására és a tőzégképződés hiányára vezethető vissza.

A pingó vagy palsa eldöntendő kérdés legérdekesebb példája Belgiumban az Ardennek 600 méter magas fennsíkjának (Haute Fagnes) kerekded, földszáncal körbevett tavainak eredete körül zajlott (PISSART, A. 1982). Az utolsó eljegesedés idején feltételezhető volt az örökfagy jelenléte, azonban a vízzáró kristályos kőzetekből álló hegység (hiányzik a talik) felszínén kialakult vastag tőzegrétegben csakis palsák alakulhattak ki (13. ábra).



13. ábra. Fosszilis palsa az Ardennekben (fotó: Gábris Gy.)

A fagyemelés általános jelenség, amit a víznek az előzőekben leírt fagyhullám felé történő vándorlása, vagyis a szegregációs jég képződése, hízása vált ki. Az egyik jellemző folyamat a **kődarabok vándorlása** a fagyemelés hatására. Az első gyors fagyok cementjeget hoznak létre a felszínen, amelyhez a kődarab hozzáfagy. A fagyhullám lefelé hatolásakor a „felszivattyúzott” víz szegregációs jéglemezekbe szilárdul. Az így keletkezett anyag többlet megvastagítja a réteget, amely a felszín és vele együtt a kő emelkedésével jár. A kő alatt így üreg keletkezik, amelyet részben kitölt a beomló, még nem megfagyott föld. Felmelegedéskor a szegregációs jég lecsúsz, ezért a kő körül lesüllyed a talajfelszín, a kő marad és mintegy kiemelkedik.

Egy másik jelenség a **fagyosztályozás**. A kődarabok emelkedése annál gyorsabb, minél nagyobb a kő. Alaszkában nagy kőtömböknek évi 25 cm-es emelkedését is megfigyelték. A fagyemelés tehát osztályoz: a gyorsabban mozgó nagyobb kövek a kisebbeknél hamarabb érnek a felszínre, ahol valóságos kőmezőt alkotnak. Finnország egyes részein a földművelés a téli „kőtermés”, vagyis a fagyemelés során felszínre került kövek eltávolításával kezdődik, majd azután lehet szántani.

Egy további különleges esetként a talajban levő hosszúka, vagy lapos kődarabok a fagyemelés hatására úgy fordulnak el, hogy a hossz tengelyük fokozatosan a függőlegeshez közelít. A fagyás-olvadás ismétlődése a kavicsokat fokozatosan élükre állítja; ez a mozgás annál gyorsabb, minél nagyobb és gyakoribb a fagyás-olvadás váltakozása.

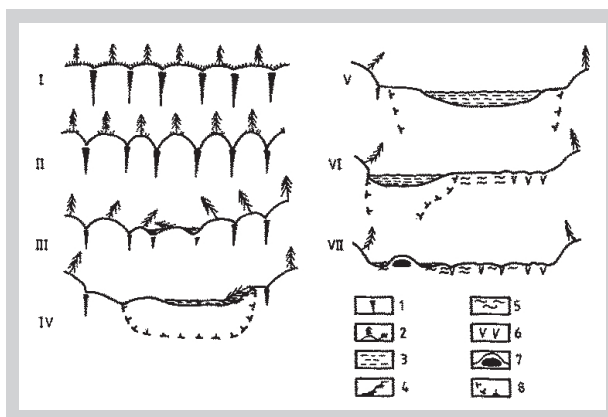
Termokarsztos jelenségek

A felszín alatti jégtömegek egyenlőtlen olvadása különböző nagyságú és alakú mélyedéseket hozhat létre. Ezeket a formákat nemzetközi kifejezéssel **termokarsztnak** nevezik. A termokarsztos jelenségek olyan sarkvidéki síkságokon gyakoriak, ahol a talajban óriási mennyiségű – elsősorban szegregációs – jég halmozódott fel. Itt a felső 10–30 méteres kőzettömbben a jég mennyisége 2–10-szer is több lehet, mint az ásványi anyagé. A nyáron felolvadt aktív zóna vizét a következő tél hidege szegregációs jéggé fagyasztja meg. Ha viszont éghajlatváltozás, vagy a növénytakaró átalakulása következtében a nyáron felolvadó réteg vastagsága nagyobb, mint az előző évben volt, akkor télen nem fagy meg a teljes réteg, és az örökfagy szintjének süllyedése következik be. A pusztuló örökfagy területén így alakulnak ki a termokarsztos formák. Az örökfagy határának süllyedése addig tart, amíg új egyensúly nem alakul ki. A süllyedés mértéke eltérő értékeket mutat; ahol nagyobb vastagságú jégtömeg olvad el, ott a felszínen mélyedés keletkezik.

A szamojéd pásztorok a tajga erdőrengetegében ilyen nyílt, de körben magasabb partokkal övezett füves foltokra terelik állataikat, melynek neve náluk álász (апаас) (14).

ábra). Az álszokkal borított tájban a tajga erdőiben kerek, tojásdad és szabálytalan vizenyős foltok terjeszkednek. Mélységük 5–40 méter, átmérőjük 0,5–2 kilométerig terjedhet, de összeolvadva a 15 kilométeres hosszúságot is meghaladhatják. Legmélyebb részükön tó helyezkedhet el. A mélyedés belsejében csak vizenyős rétek vannak, míg körben mindeütt a tajga erdeje. Az álsz meredek peremén jégécek és csuszamlások láthatók.

Az álsz pusztulása akkor következik be, ha más mélyedésekkel összeolvadva túl nagyra fejlődik, ellaposodik és már csak egyre kisebb részét borítja víz. A talik is fokozatosan összezsugorodik, és a mélyedés belsejében bulgonyák (pingó, hidrolakkolit) dombja képződik (15. ábra).



14. ábra. Az álsz képződése és pusztulása (Czudek, T. – Demek, J. 1970). I – eredeti felszín jégékekkel; II-IV – fiatal álsz; V – kifejlett álsz; VI – elöregedő álsz; VII – bulgonyák (pingó) képződése az álszban. Jelmagyarázat: 1 – jégécek; 2 – fenyő és fű; 3 – víz; 4 – csuszamlás; 5 – álsz üledék; 6 – jégerek; 7 – bulgonyák; 8 – az örökfagy felső határa.



15. ábra. Pusztuló álsz Jakutiában, közepén a kiemelkedés egy pingó, helyi néven bulgonyák

A TALAJ TERMIKUS ÖSSZEHÚZÓDÁSÁHOZ KAPCSOLHATÓ FORMÁK: POLIGONÁLIS FAGYÉKEK, JÉGÉKEK

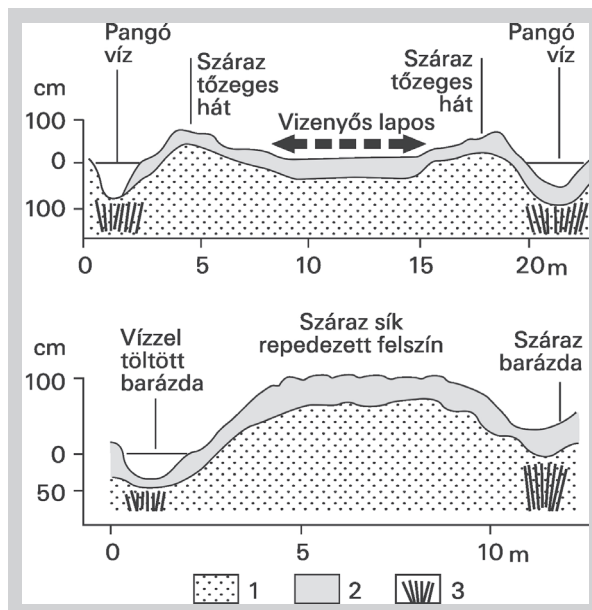
A fagyékek kialakulásához az alacsony hőmérsékleten erősen összehúzódó talaj megrepedése vezet. A fagyékek csoportosan jelennek meg, és a felszínen sokszögű (poligonális) hálózatot alkotnak. A repedéseket a kitöltő anyag szerint csoportosítjuk: jéggel, homokkal, valamint közettörmelékkel kitöltött poligonális fagyékeket különböztetünk meg (16. ábra). (A jéggel kitöltött fagyékekről fentebb már esett szó.)

A nyári felmelegedés során a talajban kifejlődő nyomás a jégék felszín felé tolódásához, a fagyott föld szerkezetének eltorzulásához vezet: közvetlenül a jégék szomszédságában a rétegek felfelé hajlanak. A feldomborodó fagyott föld néhány méter széles és néhány deciméter szintkülönbségű kiemelkedést hoz létre. A kiemelkedés közepén – az olvadó jégék nyomvonalának megfelelően – pár centiméter széles, hosszan elhúzódó nyílás is keletkezik.



16. ábra. Homokkal kitöltött fagyék a Gödöllői-dombságon (fotó: Mari L.)

Már 3–4°-os lejtőn is ettől eltérően fejlődnek a **poligonok**. Az olvadékvíz ekkor a jégékek nyomvonalát követve lefolyik; a jég fölötti törmelékanyag elszállítása után a poligonok közepe magasabbra kerül, mint a széle, ezáltal ún. domború (konvex) központú poligon keletkezik, amely alapvetően különbözik a homorú (konkáv) központú típustól (17. ábra, 18. ábra).



17. ábra. A homorú és domború központú poligonok szelvénye. Jelmagyarázat: 1 – örökfagy; 2 – aktív réteg; 3 – jégék



18. ábra. Domború központú poligonok jégékek között (forrás)

Az elsődlegesen jéggel kitöltött fagyékek földrajzi megoszlását tanulmányozva megállapították, hogy Alaszkában a -7 , -8 °C-nál hidegebb évi középhőmérsékletű helyeken napjainkban is aktívan képződnek. Ebből az a következtetés vonható le, hogy a jelenlegi klimatikus körülmények visszavetíthetők a pleisztocén hideg periódusaira, és így a fosszilis fagyékek megtalálása egyben a terület valamikori hőmérsékleti viszonyainak akár számszerű becsléséhez is vezethet.

(Szerkesztői megjegyzés: a periglaciális folyamatok és jelenségek bemutatását következő számunkban folytatjuk.)

IRODALOM

- BROWN, ROGER JAMES EVAN (1970): Permafrost in Canada. – University of Toronto Press, Toronto. 234 p.
- BULLA BÉLA (1939): A Magyar-medence periglaciális képződményei és felszíni formái. – Földrajzi Közlemények 67. 4. pp. 280–281.
- BULLA BÉLA (1941): A Máramarosi Kárpátok periglaciális jelenségeiről. – Földtani Közlöny 71. 7–12. pp. 195–205.
- CZUDEK, TADEÁŠ – DEMEK, JAROMIR (1970): Thermokarst in Siberia and its influence on the development of lowland relief. – Quaternary Research 1. 1. pp. 103–120. DOI: [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(70\)90013-X](https://doi.org/10.1016/0033-5894(70)90013-X)
- GÁBRIS GYULA (1991): Éghajlati felszínalakok I. Periglaciális geomorfológia. – Tankönyvkiadó, Budapest. 125 p.
- GÁBRIS GYULA (2007): Földfelszín és éghajlat. A felszínalakok összegzése. – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 225 p.
- KEREKES JÓZSEF (1938): Fosszilis tundratalaj a Bükkben. – Földrajzi Közlemények 66. 4–5. pp. 112–116.
- KEREKES JÓZSEF (1939): A pestszentlőrinci fosszilis tundraképződmények. – Földtani Közlöny 69. 4–6. pp. 131–139.
- KEREKES JÓZSEF (1941): Hazánk periglaciális képződményei. – Beszámoló a Magyar Királyi Földtani Intézet vitáuléseinek munkálatairól 3. 4. pp. 97–142.
- LÁNG SÁNDOR (1971): A recens periglaciális formák Jakutiában. – Földrajzi Értesítő 20. 2. pp. 207–214.
- ŁOZIŃSKI, WALERY W. D. (1909): Über die mechanische Verwitterung der Sandsteine im gemäßigten Klima. – Academie des Sciences de Cracovie, Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles 1. pp. 1–25.
- PÉCSI MÁRTON (1961): A periglaciális talajfagy-jelenségek főbb típusai Magyarországon. – Földrajzi Közlemények 85. 1. pp. 1–24.
- PÉCSI MÁRTON (1962): A magyarországi pleisztocénkori lejtős üledékek és kialakulásuk. – Földrajzi Értesítő 11. 1–4. pp. 19–39.
- PÉCSI MÁRTON (1964): A magyarországi szerkezeti talajok kronológiai kérdései. – Földrajzi Értesítő 13. 1–4. pp. 141–156.

- PÉCSI MÁRTON (1997): Szerkezeti és vázталajképződés Magyarországon. – Elmélet – Módszer – Gyakorlat 57. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. 296 p.
- PINCZÉS ZOLTÁN (1986): Periglaciális formák és üledékek térbeli rendje egy vulkánikus hegy lejtőjén. – Földrajzi Értesítő 35. 1–2. pp. 29–42.
- PINCZÉS ZOLTÁN (1994): A jelenkori fagy felszínformáló hatása hazánkban és annak gyakorlati jelentősége. – Kossuth Lajos Tudományegyetem, Debrecen. 247 p.
- SZÁDECZKY-KARDOSS ELEMÉR (1936): Pleistozäne Strukturbodenbildung in den ungarischen Tiefebene und im Wiener Becken. – Földtani Közlöny 66. 7–9. pp. 213–228.
- SZÉKELY ANDRÁS (1969): A Magyar-Középhegység periglaciális formái és üledékei. – Földrajzi Közlemények 93. 3. pp. 272–289.

A fent nem megnevezett ábrák forrása: Gábris Gyula (1991): Éghajlati felszínalakok I. Periglaciális geomorfológia. – Tankönyvkiadó, Budapest. 125 p.