

LUDVÍK LOYDA

TEKTONIKA A PLEISTOCENNÍ ZALEDNĚNÍ

Vznik a ústup kontinentálních ledovců v severních částech Eurasie a Severní Ameriky se stal nejen v geologii a geomorfologii, ale i v jiných přírodních vědách vlastně základním problémem, bez něhož studium pleistocenu v těchto oblastech prostě není možné. Na střídání glaciálů a interglaciálů je dnes založena jak celá chronologie čtvrtohor a rozšíření i charakteristické rysy sedimentů, flory a fauny (i vývoj člověka), tak i různě vysvětlované změny klimatu, kolísání úrovně mořské hladiny, průběh říční erose apod. V geologii a geomorfologii je však jedním z prvořadých problémů domněnka o glacioisostasi, kterou na základě starých představ Airyho a Pratta vyslovil r. 1865 Skot Jamieson. Ještě dnes má tato hypotéza množství přívrženců a je stále považována za jediné správné zdůvodnění dnešního zvedání dříve zaledněných území.

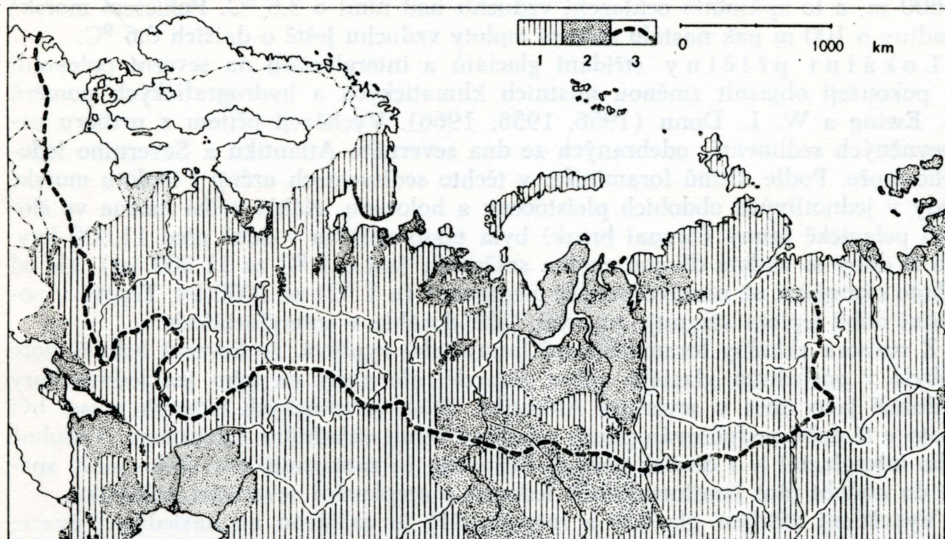
Příčiny vzniku zalednění

Kontinentální zalednění mělo na severní polokouli skutečně velký rozsah. Daly (1935) odhaduje plochu severoamerického ledovce asi na 11 mil. km², celkový rozsah eurasijského ledovce by však pravděpodobně ještě větší — podle I. A. Suetové (1960) asi 12,5 mil. km² (obr. 1).

Příčina vzniku jak rozsáhlého zalednění tak i střídání glaciálů a interglaciálů se zdá být jasná a samozřejmá: změna klimatických poměrů. Tímto tvrzením ovšem není problém zdaleka vyřešen, ale řešení se jen přesunuje do sféry klimatologie a odtud zřejmě dále do geofyziky, astronomie apod. Přesto tento jednoduchý a nenáročný výklad je docela logický a v podstatě správný, i když ovšem jeho další zpřesňování už není nijak snadné. Zatím totiž stále ještě není zcela jasno, zda pleistocenní změny podnebí byly na severní a jižní polokouli synchronní (S. A. Jevtejev 1964) či zda severní a jižní zalednění spadají do různých období. H. Flohn (1963) aspoň upozorňuje, že antarktický ledovec vznikl dříve než pevninské zalednění severní polokoule, takže globální atmosférická cirkulace nemohla být symetrická.

Tento názor o časových rozdílech ve vzniku je ovšem zřetelně v rozporu s dosavadními představami, vysvětlujícími vznik glaciálů např. slunečními poruchami a dalšími faktory, které nemohou vyvolat lokální růst ledovců, ale musí ovlivňovat zemskou atmosféru jako celek — např. zvýšením obsahu CO₂ ve vzduchu. Stojí zde tedy proti sobě dvě skupiny v principu zcela rozdílných představ.

Globální příčiny vzniku a střídání glaciálů a interglaciálů se pokouší přehledně objasnit např. E. Casier (1964). Základem jeho výkladu je vysvětlení kolísání obsahu CO₂ v atmosféře. Jeho zvětšené množství je způsobeno vulkanickou činností, jeho úbytek pak zvětšeným rozsahem vegetace, v níž je přechodně vázán. Proces tohoto uvolňování i vazby CO₂ má zřetelně cyklický charakter a zároveň souvisí se střídajícími se mořskými transgresemi a regresemi. Celý uvedený cyklus má pak 8 stadií:



1. Rozsah pleistocenního zalednění [1] a hlavní oblasti dnešního zdvihu [2] a klesání [3] pevniny. Podle Seppälä (1969).

1. zvětšení obsahu CO_2 ve vzduchu (sopečná činnost)
2. ústup ledovců
3. mořská transgrese a zmenšení rozsahu pevniny
4. zmenšení rozsahu pevninské vegetace
5. zmenšení obsahu CO_2 v atmosféře (zvýšenou absorpcí v mořské vodě)
6. ochlazení, zalednění
7. mořská regrese a zvětšený rozsah pevniny
8. zvětšení rozsahu pevninské vegetace — vazba CO_2 a jeho úbytek v atmosféře.

Uvedené schema je jednak založeno na nijak blížie nezdůvodněných předpokladech (např. zvýšení sopečné činnosti vždy v 1. stadiu cyklu apod.) a jednak je nutně pouze obecným principem, takže nemůže vysvětlit nejen zmíněný časový rozdíl mezi počátkem zalednění na severní a jižní polokouli, ale ani nesrovnalosti ve vztahu klimatu a zalednění. W. R. Farrand (1965) totiž např. upozorňuje, že poslední zalednění v Evropě i v Severní Americe kulmitovalo před 18–20.000 lety. Od té doby ledovce ustupují a zároveň se mění i úroveň mořské hladiny. Zvyšování teploty však nenastalo současně s počátkem tání ledovců, ale mnohem později — sotva před 13.000 lety, kdy rozsah zalednění byl zhruba už jen poloviční. Ledovce tedy zřejmě roztávaly z jiného důvodu a ne v důsledku globálního oteplení atmosféry!

K obecným příčinám vzniku zalednění však musíme přičíst i úvahy o přímém vlivu tektoniky. Podle P. D. Supruna (1968) se tektonickými zdvihy zvětšil rozsah souše a klima se tak stalo více kontinentálním, tj. příhodnějším pro vznik rozsáhlejších ledovců. Také K. K. Markov (1967) považuje tektonický faktor za hlavně-

ní příčinu vzniku zalednění. Upozorňuje, že velké platformy se zvedly v průměru o 600 m, a to způsobilo ochlazení vzduchu nad nimi o 3,6 °C. Poklesem mořské hladiny o 100 m pak nastalo snížení teploty vzduchu ještě o dalších 0,6 °C.

Lokální příčiny střídání glaciálů a interglaciálů na severní polokouli se pokoušejí objasnit změnou místních klimatických a hydrografických poměrů M. Ewing a W. L. Donn (1956, 1958, 1966). Vycházejí přitom z rozboru nezpěvněných sedimentů, odebraných ze dna severního Atlantiku a Severního ledového moře. Podle druhů foraminifer v těchto sedimentech určují i teplotu mořské vody v jednotlivých obdobích pleistocenu a holocenu. Náhlá velká změna ve složení pelagické fauny (faunal break) byla takto zjištěna v době před 11.000 lety. Do té doby se teplota dlouho zvolna snižovala (asi o 1 °C za 11.000 let), ale od tohoto okamžiku už nastává prudké oteplování (o 1 °C) za 1000 let. Teprve v poslední době teplota stagnuje na výši, jaké dosáhla v interglaciálech.

Z rozboru skladby foraminiferové fauny také vyplývá, že Severní ledové moře nebylo v posledním glaciálu vůbec zamrzlé, ale pluly na něm jen ledové hory podobně jako dnes v severním Atlantiku. Růst pevninských ledovců musel být proto v té době podporován pouze relativně velmi chladným Atlantikem. Podobně jako interglaciál je i dnešek naopak důkazem, že zamrznutí arktického moře spadá do období tání kontinentálních ledovců a oteplování severního Atlantiku.

Vysvětlení střídání glaciálů a interglaciálů je založeno na následující úvaze:

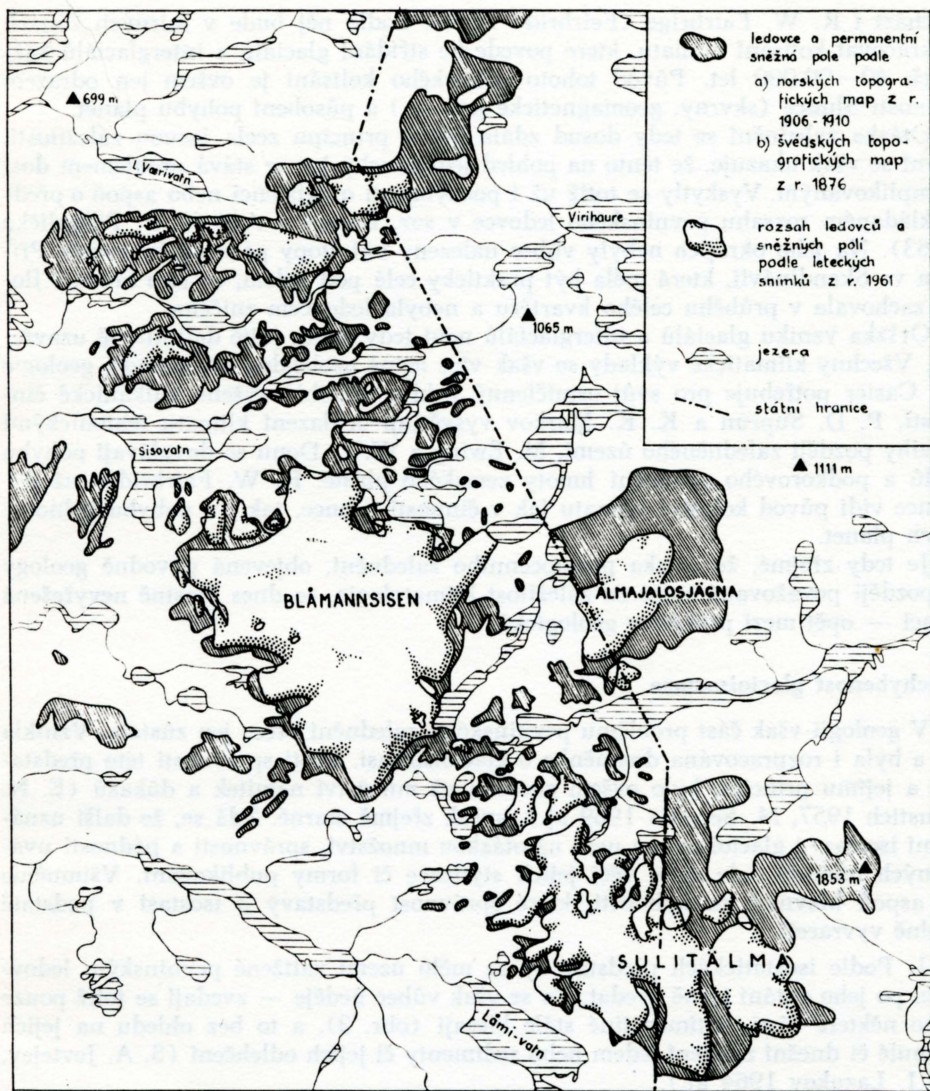
V glaciálu poklesla úroveň mořské hladiny zhruba o 100–130 m. Tím se ovšem značně zmenšila mořská proudění, a tedy výměna vody mezi Severním ledovým mořem a severním Atlantikem — především vysušením velké části mělkého šelfového moře mezi Špicberky a Norskem (omezení proudění teplé vody k severu) a vznikem mělčin mezi Gronskem a Islandem (zmenšení odtoku studené vody k jihu). Hlavně přívod teplé vody ze sev. Atlantiku se snížil zhruba o 30 %. Zadržím teplé vody a zmenšením přívodu chladných vod od severu se severní Atlantik oteploval a způsobil tím i roztávání kontinentálních ledovců. Arktické moře v té době naopak zamrzala.

V interglaciálu způsobilo tání ledovců stoupnutí hladiny moře a tím umožnilo opět zvýšení přítoku teplé vody ze sev. Atlantiku do Severního ledového moře a zároveň i odtok chladné vody k jihu. Obnovení této cirkulace vedlo k roztávání ledu dříve zamrzlého arktického moře, jehož náznaky vidíme i dnes. Současně můžeme sledovat i zmenšování rozsahu horských ledovců v přilehlých oblastech — např. ve Skandinávii (obr. 2). Bude-li oteplování pokračovat, pak lze v několika stoletích očekávat jak úplné rozmrznutí Severního ledového moře, tak i jeho důsledek — počínající ochlazování severní Evropy a Sev. Ameriky a přechod do dalšího glaciálu!

M. Ewing a W. L. Donn dokládají věrohodnost uvedeného názoru i migrací obyvatelů Severní Ameriky. Před 11.000 lety náhle ustal jejich příliv z Asie a začalo velké stěhování k jihu. To naznačuje, že v té době byl už přechod přes Beringovu úžinu z Čukotky na Alasku neschůdný — průliv byl zřejmě zaplaven stoupající mořskou hladinou při tání pevninských ledovců.

Oba autoři přiznávají, že tímto způsobem mohou vysvětlit pouze střídání glaciálů a interglaciálů, avšak počátek těchto změn a jejich podstatu zatím neznají. Za nejpravděpodobnější příčinu kolísání podnebí považují změnu polohy pólu. Původ tohoto posunu pak vidí, podobně jako Vening-Meinesz, v pokrokovém proudění hmoty zemského pláště.

Poněkud odlišným způsobem přistoupili ke studiu klimatických rozdílů mezi glaciály a interglaciály W. Dansgaard a H. Tauber (1969). Na základě poměru isotopů kyslíku (O^{18}/O^{16}) v oceánské vodě, zjištěného C. Emilianim (1955, 1969) a srovnáním těchto hodnot s údaji získanými rozбором schránek planktonových



2. Tání a ústup horských ledovců na hranici Švédska a Norska. Podle Östrema (1964)

a benthosových foraminifer, analýzou atmosférických srážek, které vyživují dnešní ledovce ap., došli k závěru, že anomální hodnoty u schránek foraminifer jsou závislé na isotopním složení oceánské vody, které se mění při tání větších pevninských ledovců. V posledních 425.000 letech tak bylo touto metodou zjištěno 7–9 velkých zalednění o délce 40–50.000 let. Výsledek tohoto výzkumu je ovšem ve zjevném rozporu s našimi dosavadními představami, které předpokládají v průběhu celého pleistocénu jen 4–6 velkých zalednění.

Připustíme-li ovšem, že délka pleistocénu není 1 mil., ale 2–3 mil. let, pak by v té době mělo proběhnout zhruba 40 velkých zalednění. K podobnému závěru

dochází i R. W. Fairbrige (Fairbridž 1966). Podle něj bude v mírných zónách pokračovat kolísání klimatu, které povede ke střídání glaciálů a interglaciálů každých 40—90.000 let. Původ tohoto cyklického kolísání je ovšem jen odrazem činnosti Slunce (skvrny, geomagnetické jevy aj.) a působení pohybu planet.

Otázka zalednění se tedy dosud zdála být v principu zcela jasnou záležitostí. Nyní se však ukazuje, že tento na pohled jednoduchý jev se stává problémem dost komplikovaným. Vyskytly se totiž už i pochybnosti o existenci nebo aspoň o předpokládaném rozsahu pevninského ledovce v sev. Evropě a Asii (I. P. Pidopličko 1963). Na jeho okrajích nebyly vůbec nalezeny ani stopy po arktické fauně. Přitom ve Skandinávii, která měla být prakticky celá pod ledem, se tato fauna i flora zachovala v průběhu celého kvartéru a nebyla ledovcem zničena.

Otázka vzniku glaciálů a interglaciálů není tedy zatím ještě definitivně uzavřena. Všechny klimatické výklady se však více méně neobejdou bez pomoci geologie — Casier potřebuje pro svůj osmičlenný cyklus období zvýšené vulkanické činnosti, P. D. Suprun a K. K. Markov vysvětlují ochlazení klimatu tektonickými zdvihy později zaledněného území, M. Ewing a W. L. Donn se dovolávají pohybu pólů a podkorového proudění hmoty zemského pláště. R. W. Fairbridge už dokonce vidí původ kolísání klimatu jak v činnosti Slunce, tak i v pohybu jednotlivých planet.

Je tedy zřejmé, že otázka pleistocenního zalednění, objevená původně geology a později považovaná spíše za záležitost klimatologie, se dnes vlastně nevyřešená vrací — opět mezi problémy geologické.

Pochybenost glacioisostase

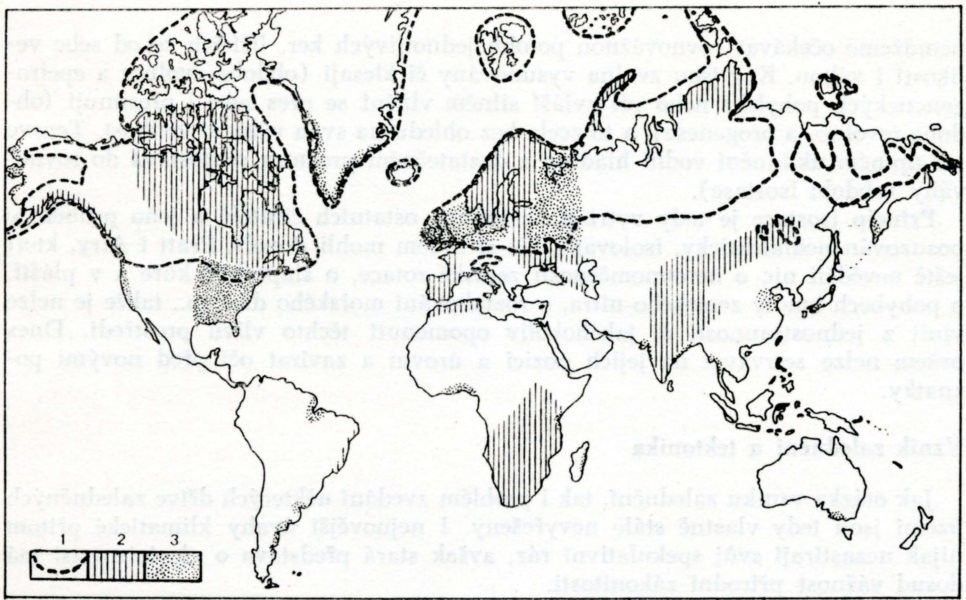
V geologii však část problému pevninského zalednění přece jen zůstala. Vznikla tu a byla i rozpracována domněnka o glacioisostasi. Proti správnosti této představy a jejímu principu bylo ovšem sneseno už množství námitek a důkazů (E. N. Ljustich 1957, M. Seppälä 1969 aj.), avšak zřejmě marně. Zdá se, že další uznávání isostasy i glacioisostasy není už otázkou množství, správnosti a pádnosti uváděných námitek, ale spíše věcí jejich stylizace či formy publikování. Všimněme si aspoň hlavních pochybností, které správnost představy o isostasi v podstatě úplně vyvracejí.

1. Podle isostatických představ by se mělo území zatížené pevninským ledovcem po jeho odtání jasně zvedat. To se však vůbec neděje — zvedají se totiž pouze jeho některé části, zatímco jiné stále klesají (obr. 3), a to bez ohledu na jejich minulé či dnešní zatížení ledem nebo sedimenty či jejich odlehčení (S. A. Jevtejev, G. I. Lazukov 1964 aj.).

Převládající zdvihy území bývalých kontinentálních ledovců nejsou tedy vůbec specifikem pouze těchto dříve zaledněných oblastí, ale zdají se být obecnou vlastností celé pevniny (obr. 1). Zalednění proto viditelně nemůže být příčinou tektonických pohybů.

2. Při průměrné mocnosti kůry 35 km a prům. hustotě hornin $2,7 \text{ g/cm}^3$ se váha zaledněných oblastí zemského povrchu i v případě maximální mocnosti pevninského ledovce (3000 m) zvýší jen asi o 3 %. Místní rozdíly ve složení hornin však mohou zvyšovat průměrnou váhu kry až o 10 %. Tato nestejná hustota by tedy měla být aspoň 3krát silnějším faktorem při isostatickém pohybu — ale to nebylo zatím nikde zjištěno.

3. Princip isostasy a tedy i glacioisostasy byl před více než 100 lety z jednoduchých laboratorních podmínek a úvah poněkud neuváženě aplikován do mnohem složitějšího přírodního prostředí. Při pokusech provedených Pratterem a Airym



3. Rozsah pleistocenního pevninského ledovce na území SSSR (3) a oblasti dnešního tektonického zvedání (1) a klesání (2) zemského povrchu. Podle Nikolajeva (1964).

musí samozřejmě kostky kovu plujícího na rtuti skutečně reagovat na změnu jejich zatížení a také velikost jejich zdvihu či poklesu musí být úměrná velikosti této zátěže. Celý princip je tedy teoreticky zcela správný, ale v přírodě může platit jen tehdy, jsou-li i zde zachovány všechny ostatní podmínky, při nichž byl prováděn v laboratoři: hladina kapaliny, na níž plují kry (kostky) musí být v klidu a kry nesmí být k sobě nijak stlačeny.

Při změně zátěže se podle důkazů Airyho a Pratta mění pouze celková váha kostek. Styčné plochy mezi kostkami jsou však stále souběžné, rovné a hladké a také žádné bočné stlačení kostek zde neexistuje. V přírodě je situace zcela jiná — jen zatěžování a odlehčování ker probíhá stejně jako u laboratorního pokusu. Kry zemské kůry jsou však k sobě velmi silně stlačeny, jejich styčné plochy nejsou vůbec paralelní a kromě toho jsou tak nerovné, že k posunu ker by musela být vyvinuta mnohem větší síla než může vyvolat zatížení ledem či sedimenty. Je tedy zřejmé, že isostatická domněnka s těmito okolnostmi vůbec nepočítala.

4. Základní pochybeností isostatické hypotézy je její poplatnost názorům, které nevidí Zemi v neustálém pohybu a vzájemném spolupůsobení s ostatními členy naší sluneční soustavy, ale jako izolované a zřejmě i zcela klidné těleso. Kdyby nebylo erose, akumulace a občasných zalednění, pak by se váha ker vlastně neměnila a celá zemská kůra by musela být už dávno v isostatické rovnováze.

V této představě tkví ovšem hlavní omyl isostase. Nejen pro Zemi, ale i pro Slunce a ostatní planety zůstává totiž základním stavem právě jejich trvalý pohyb a vzájemné spolupůsobení, které jsou podmínkou jejich dnešní existence. Isostase však svým pojetím předpokládá úplný klid, tj. laboratorní podmínky pokusu s kostkami; jen v takovém prostředí totiž mohou isostatické pohyby probíhat.

Tento pochybený způsob aplikace jednoduchých laboratorních pokusů je tedy třeba odmítnout. Lze jej však nahradit případnějším přirovnáním k ledovým krám, plujícím na zvlněné vodní hladině. V tomto pohybujičím se prostředí samozřejmě

nemůžeme očekávat rovnovážnou polohu jednotlivých ker, lišících se od sebe velikostí i váhou. Kry jsou zvolna vysunovány či klesají (obdoba evoluce a epeirogenetických pohybů) nebo při zvlášť silném vlnění se přes sebe i přesunují (obdoba revoluce a orogenese), a to zcela bez ohledu na svou váhu či velikost. Teprve při úplném uklidnění vodní hladiny a dostatečném prostoru se dostává do rovnováhy (období isostase).

Princip isostase je tedy vytržen ze souhry ostatních činitelů a jeho průběh je posuzován nedialekticky, izolovaně. To si ovšem mohli dovolit Pratt i Airy, kteří ještě nevěděli nic o nerovnoměrnosti zemské rotace, o slapech v kůře a v plášti, o pohybech hmoty zemského nitra, o roztahování mořského dna ap., takže je nelze vinit z jednostrannosti či jakéhokoliv opomenutí těchto vlivů prostředí. Dnes ovšem nelze setrvávat na jejich pozici a úrovni a zavírat oči před novými poznatky.

Vznik zalednění a tektonika

Jak otázka vzniku zalednění, tak i problém zvedání některých dříve zaledněných území jsou tedy vlastně stále nevyřešeny. I nejnovější úvahy klimatické přitom nijak nezastírají svůj spekulativní ráz, avšak stará představa o glacioisostasi má dosud vážnost přírodní zákonitosti.

Všimněme si však nedávno zjištěného roztahování mořského dna o možnosti pohybu oceánské kůry pro kontinenty. Teprve před 10 lety bylo objeveno, že zemská kůra, tvořící dno oceánů, se neustále roztahuje (sea floor spreading) a při pobřeží se dokonce posunuje pod kontinenty (R. S. Dietz 1961, H. H. Hess 1962). Existuje zde tedy velmi silný bočný tlak, který nebyl dříve předpokládán a který ovšem také zcela znemožňuje volné klesání a zvedání, a to bez ohledu na jejich povrchové zatížení ledem či sedimenty nebo jejich odlehčení při erosi a denudaci.

Pohyb těchto podsunutých ker mořského dna pod sialickými kontinenty není zatím sice přímo sledovatelný, avšak jeho existenci mohou potvrzovat občasně zdvihy a poklesy větších či menších ker zemského povrchu, jak je známe z geologické historie. Také dnešní všeobecné zvedání pevniny může tento proces uspokojivě vysvětlit — pevninská kůra se zesiluje v důsledku podsunování kůry oceánské, zatímco v oceánech vzniká kůra nová o zhruba stejné mocnosti. Jestliže se ovšem kontinenty tímto způsobem zvedají, pak dno oceánů musí nutně klesat.

Rychlost posunu oceánské kůry pod kontinenty zatím nelze přesně zjišťovat. Nebude však jistě větší než rychlost roztahování dna v oblasti oceánských hřbetů — a ta je v Atlantiku 1–2 cm/rok a v Pacifiku 2–6 cm/rok (J. R. Heirtzler 1969). Zajímavé je, že tato rychlost je řádově stejná jako rychlost posunu zemského pólu v posledních 100 mil. letech (R. W. Fairbridge 1969).

Vzhledem k tomu, že ani pevninské ani oceánské kry zemské kůry nejsou všude stejně mocné, musí při podsunování docházet i k relativně nepravidelnému poklesu či zdvihy jednotlivých ker. Průvodním zjevem těchto pohybů je nutně i střídání velikosti napětí v kůře. Oprávněnost této představy mohou potvrdit i výzkumy, které provedli například G. Ranalli a A. Scheidegger (1967). Rozborem zemětřesení v západní Evropě zjistili, že v oblasti rýnského prolomu dnes převládá roztahování, zatímco například v Belgii dochází ke stlačování ker zemské kůry. Toto střídání stlačení a roztažení je charakteristické pro celou střední Evropu.

Zde se samo nabízí vysvětlení pro vznik ledovců a střídání glaciálů a interglaciálů: povrch zvedajících se ker se dostává do oblasti chladnějšího vzduchu a naopak při poklesu ker se teplota vzduchu nad nimi zvyšuje. Vznik zalednění je proto také možný jen při okrajích chladného pásu, kde k ochlazení potřebnému

pro vznik zalednění nemusí být zdvih ani příliš značný. Na ostatních částech zemského povrchu tyto tektonické pohyby samozřejmě také probíhají, ale pro vznik ledovců by zde musel zdvih území dosáhnout aspoň úrovně trvalé sněžné čáry. Podobná zvedání a klesání ker jsou samozřejmě vyvolána i slapových pohybem zemské kůry.

Z těchto krátkých úvah je vidět prvořadou důležitost tektonického pohybu, který je nejen základním faktorem geologickým, ale zřejmě i klimatickým. Přesto jej však nelze považovat za konečnou příčinu všech těchto změn — je jen nejdůležitějším článkem v řetězu příčin, jehož další pokračování musíme hledat už mimo naší Zemi, a to v působení Slunce a planet.

Literatura

- ARTEM'JEV M. JE., ARTJUŠKOV JE. V. (1967): Izostazija i tektonika. — Geotektonika, 5: 41—57, Moskva.
- BALUCHOVSKIJ N. F. (1966): Geologičeskije cikly. — Kijev, AN USSR, Inst. geol. nauk, 168 p.
- BISKE G. S. (1970): O prirode poslednickovogo podnjatija Baltijskogo ščita. — Izv. Vses. geogr. obšč., 102: 1: 34—38.
- CASIER E. (1964): Sur quelques problèmes majeurs de la paléogéographie et de la paléoclimatologie. — Acad. Roc. Sci. d'Outre-Mer, Bruxelles, Bull. d. Séances, 2: 306—347.
- CHASE R. L., BUNCE E. T. (1969): Underthrusting of the eastern margin of the Antilles by the floor of the western North Atlantic Ocean, and origin of the Barbados ridge. — J. Geophys. Res., 74: 6: 1413—1420, Richmond, Va., USA.
- DANSGAARD W., TAUBER H. (1969): Glacier oxygen-18 content and Pleistocene ocean temperatures. — Science 166: 3904: 499—502.
- DIETZ R. S. (1961): Continent and Ocean basin evolution by spreading of the sea sea floor. — Nature 190: 4779: 854—857.
- DONN W. L., EWING M. (1966): A theory of Ice ages, III. — Science, 152: 3730: 1706—1712.
- EMILIANI C. (1969): Interglacial high sea levels and the control of Greenland ice by the precession of the equinoxes. — Science, 166: 3912: 1503—1504.
- EWING M., DONN W. L. (1956): A theory of Ice ages. — Science, 123: 3207: 1061—1066.
- FAIRBRIDGE R. W. (1969): Polar migration, sea floor spreading, atolls and climate change. — Tectonophysics, 7: 5—6: 545—546, Amsterdam.
- FARRAND W. R. (1965): The deglacial hemicycle. — Geol. Rundschau, 4: 1: 385—398, Stuttgart.
- FEIRBRIDŽ R. U. (1966): Schodimost' dannyh ob izmenenijach klimata i ob epochach oledenjenja. — Sb.: Solnečn. aktivnost' i izmenenija klimata, Leningrad, 270—315.
- FLOHN H. (1963): Zur meteorologischen Interpretation der pleistozänen Klimaschwankungen. — Eiszeitalter und Gegenwart, 14: 153—160, Öhringen/Württemberg.
- GRACEV A. F., DOLUCHANOV P. M. (1969): Sravnitel'nyj analiz poslednickovyh dviženij zemnoj kory Kanady i Fennoskandii po dannyh absoljutnoj geochronologii. — Problemy sovrem. dviž. zem. kory, Moskva, 173—188.
- HEIRTZLER J. R. (1969): The theory of sea floor spraaiding. — Naturwissenschaften, 56: 7: 341—347.
- HESS H. H. (1962): History of ocean basins. — In: Petrol. Studies: A volume to honor A. F. Buddington (Geol. Soc. Amer.), 599—620.
- JEVTEJEV S. A. (1964): Osnovnyje etapy razvitiya oledenjenja južnogo polušar'ja v četvertičnom periode. — Gljaciol. issled., 13: 7—11, Moskva.
- JEVTEJEV S. A., LAZUKOV G. I. (1964): Rol' gljacioizostazii v dviženijach zemnoj kory oblasti sovremennogo i drevnego oledenenij. — Izv. AN SSSR, ser. geogr., 2: 24—36.
- JEVTEJEV S. A., LAZUKOV G. I. (1967): Gljacioizostazija i dviženija zemnoj kory. — Tekt. dviž. i novejš. struktury zem. kory, Moskva, 54—61.
- LJUSTICH E. N. (1957): Izostazija i izostatičeskije gipotezy. — Trudy Geofiz. inst. AN SSSR, No 38 (1957), 90 p.
- LOYDA L. (1969): Volcanic monadnocks and the permanent crustal movement. — Geogr. ústav ČSAV, Studia geographica, 2: 130 p., Brno.
- MARKOV K. K. (1967): Novejšata tektonika i oledenjenje. — Takt. dviž. i novejš. strukt. zem. kory, Moskva, 51—53.

- NIKOLAJEV N. I. (1964): Novejšije tektoničeskiye dviženija i neotektonika. — Fiziko-geografičeskij atlas mira, Moskva, mapa č. 195.
- ODHNER N. H. (1967): The mid-Atlantic ridge formation and the centennial of Jamieson's ice pressure theory. — *Arkiv geofys.*, 5:2:141—154, Stockholm.
- ÖSTREM G. (1964): Ice-cored moraines in Scandinavia. — *Geografiska Annaler*, XLVI:3:282—337, Stockholm.
- PIDOPLIČKO I. G. (1963): Razvitije teorij antiglacialisma v poslednije gody. — *Prirodnobostanovka i fauny prošlogo*, Kijev, 1:102—118.
- RANALLI G., SCHEIDEGGER A. (1967): Tectonic stress field in central Europe. — *Ann.-Geofiz.*, 20:2:193—201, Roma.
- SEPPÄLÄ M. (1969): Is land upheaval caused by glacial isostasy? — *Terra*, 81:3:241—246.
- SUETOVA I. A. (1960): Karta i ploščadi drevnego oledenjenja territorii SSSR. — *Vestnik Moskovskogo univ.*, 1961:2:53—55.
- SUPRUN P. D. (1968): O priččinach lednikovogo perioda — antropogena. — *Geol. poberež' ja i dna Čern. i Azovsk. morej v predelach USSR. Mežved. resp. naučn. sb.*, 2:72—80 (Refer. žurnal. *Geologija*, 1969:7:G5).

TECTONICS AND THE PLEISTOCENE GLACIATION

Climatic changes originating the Pleistocene glaciation and the alternations of glacial and interglacial stages must be considered as to have been caused by factors of tectonics and by the activity of planetary origin. We presume the intensified volcanic activity [Casier] increases the CO₂-content in the atmosphere, climatic variation being caused by polar wandering and subcrustal flows (Ewing, Donn), or by solar and planetary influence (Fairbridge) etc. Recent conception of isostasy or glacioisostasy still finds up-and-down movements of crustal blocks be of external but not of internal, origin-caused by climatic or erosional processes. At present it is evident already, that vertical movements of the Earth's surface are independent not only on glaciation but also on displacement of weathering products, of erosion and denudation.

Pratt's and Airy's laboratory experiments on isostasy did not take into consideration the influence of surrounding conditions but were engaged only in the changing weight of metal blocks floating on mercury. Isostatic movements can be successful in the open air only in laboratory-like conditions: the surface of the liquid with floating blocks (of metal, of the Earth's crust) must be entirely calm, the limits (fault planes) of blocks must be plane and smooth, the blocks cannot be pressed on together in no way, etc. Such conditions do not exist in the open air: but only if such „laboratory“ conditions isostatic block movements of the Earth's crust could occur.

The author of this article is of opinion, that the up-and-down movements of the blocks are induced by tidal oscillations of the Earth's crust and also by sea-floor spreading. The thickness of the continental as well as of the oceanic crust is not uniform; thus the process of underthrusting the continents by oceanic crust must cause irregular upheaval and sinking of individual blocks.

In this way we can clear up also the origin of glaciation and the alternation of glacial and interglacial stages. The surface of upward moving blocks gets into the colder strata of the atmosphere and the air temperature above the blocks raises in the case of their sinking. Glaciation can occur only in marginal zones of cold climate belts — there the upheaval of land need not be too high as to be able of cooling the atmosphere needed for the origin of glaciation.

Nevertheless the tectonic movement cannot be held for a definitive cause of all these changes — but it seems to be the most important link in the chain of causes, whose continuation one must seek for off the Earth, within the activity of the Sun and other planets.

List of Figures:

- Fig. 1. Extent of Pleistocene ice-sheets (1) and the main areas of recent land upheaval (2) and of subsidence (3). After Seppälä 1969.
- Fig. 2. Retreat of mountain glaciers on the Swedish-Norwegian boundary during the period 1876—1961 (Sweden) and 1910—1961 (Norway). After Östrem 1964.
- Fig. 3. Extent of Pleistocene ice-sheet on the territory of USSR (3) and the areas of recent upward (1) and downward (2) tectonic movement. After Nikolajev 1964.