Význam kryogenních jevů pro paleoklimatické a paleoekologické rekonstrukce kvartéru

Jaromír Demek

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i.
Průhonice

Čtvrtohory (kvartér)

- V roce 1833 zavedl anglický geolog Charles Lyell pojem kvartér a jeho podrozdělení na pleistocén a holocén. V roce 1984 se badatelé usnesli, že začátek pleistocénu se kryje s koncem magnetického období Olduvai před 1,8 Ma B.P. Dlouho to nevydrželo, protože se zjistilo, že první ledové doby začaly již kolem 2,6 Ma B.P.
- V roce 2007 byl proto počátek kvartéru stanoven na bázi izotopového stadia 103, které je datováno na 2,6 Ma B.P.

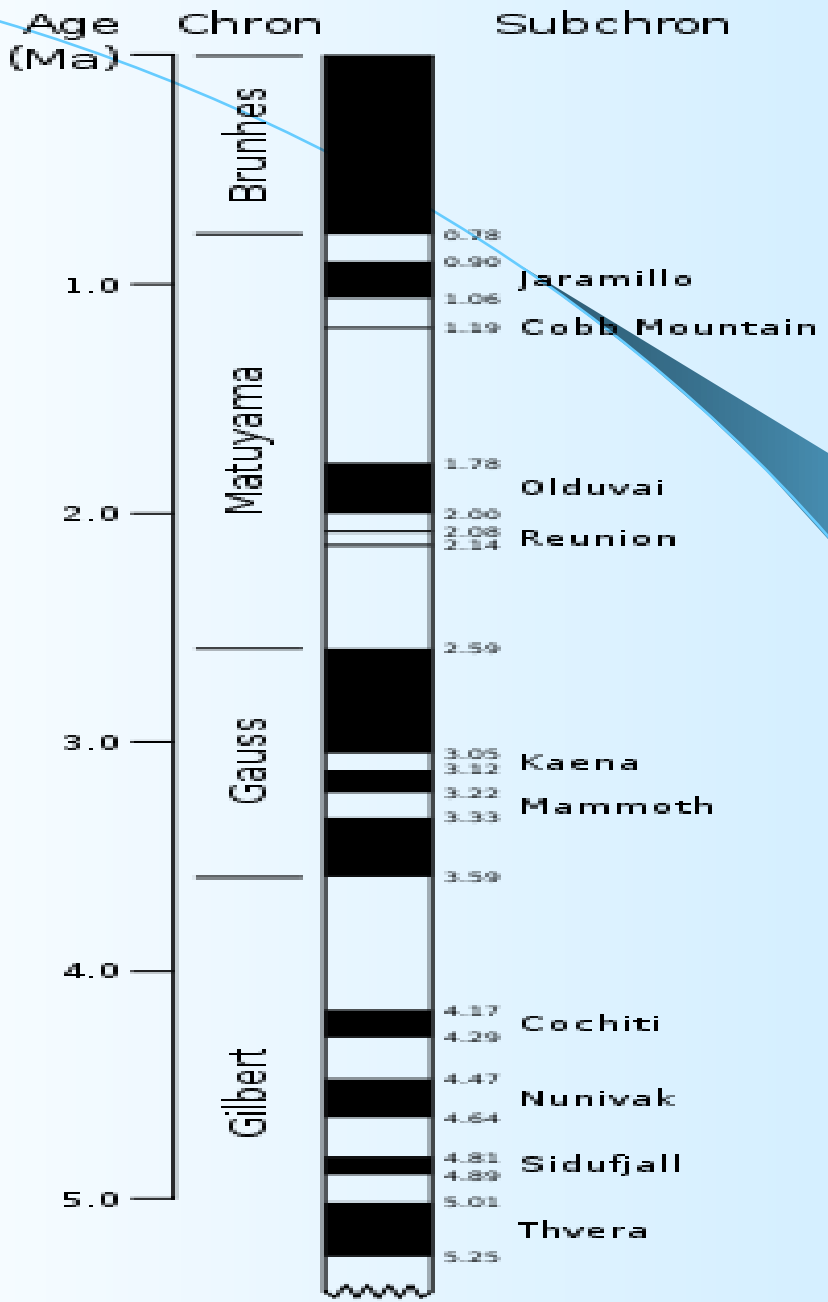
Neklidný kvartér

- Již dlouho je známé, že kvartér je velmi neklidné období v dějinách Země
- Dochází k inverzím magnetického pole Země
- Dochází k velkým globálním změnám způsobeným výraznými a častými výkyvy podnebí se střídáním chladných a teplejších období (dob ledových a meziledových)
- Značné části severní polokoule jsou opakovaně pokryté pevninskými a horskými ledovci
- Vznikl a vyvinul se člověk a stal se globálním geologickým činitelem na Zemi

Inverze geomagnetického pole

- Proces inverze geomagnetického pole trvá řádově tisíce až desetitisíce let. Intervaly mezi inverzemi jsou nepravidelné, nejčastěji trvají statisíce až milióny let.
- Olduvai events jsou dva krátkodobé úseky s normální polaritou geomagnetického pole nacházející se uvnitř epochy Matuyama záporné polarity. Inverze Matuyama/Brunhes proběhla kolem 780 ka B.P.

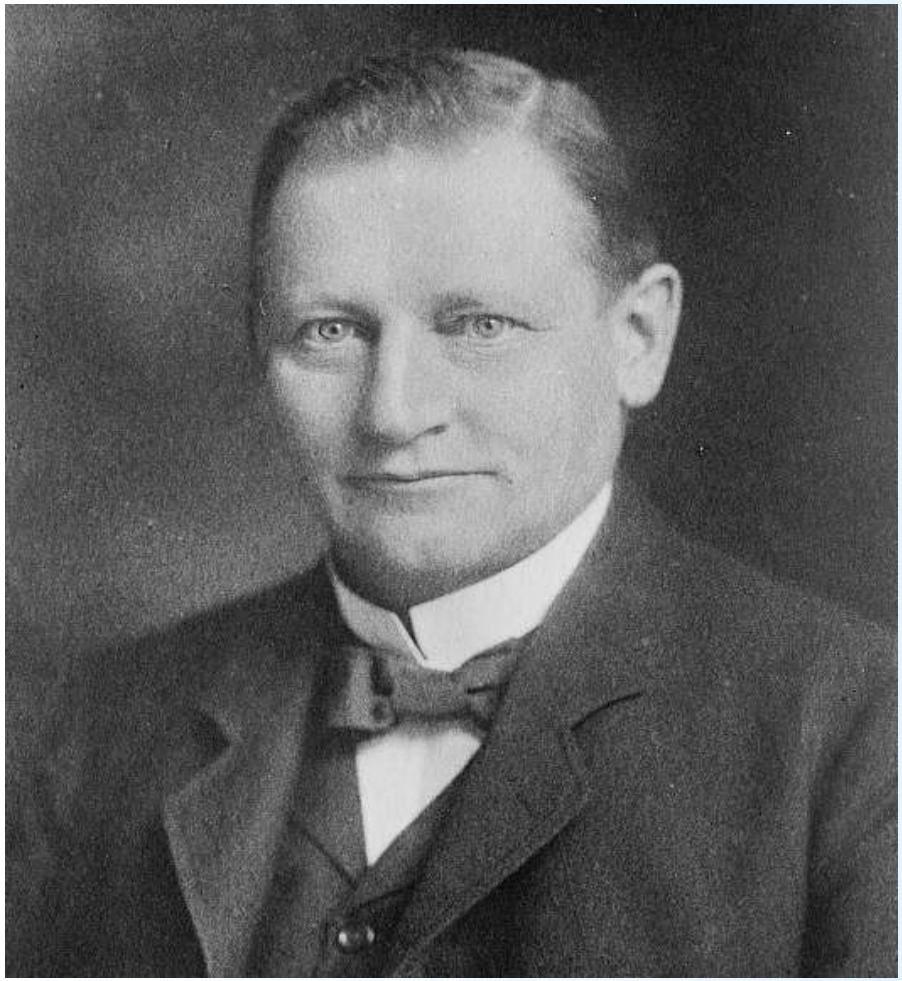
Inverze magne-tického pole Země

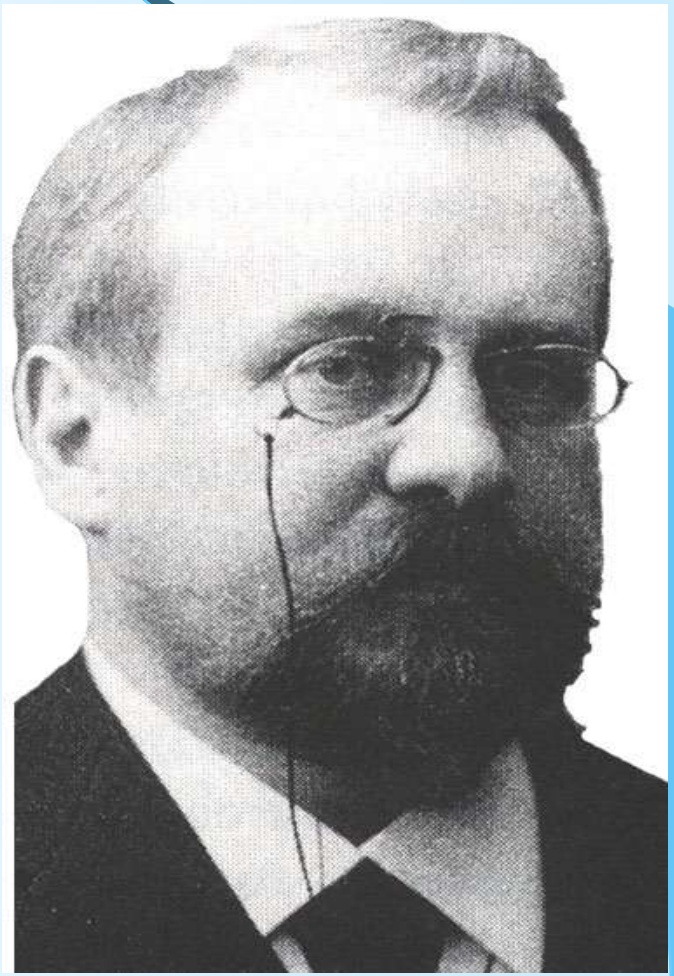


Izotopová stadia

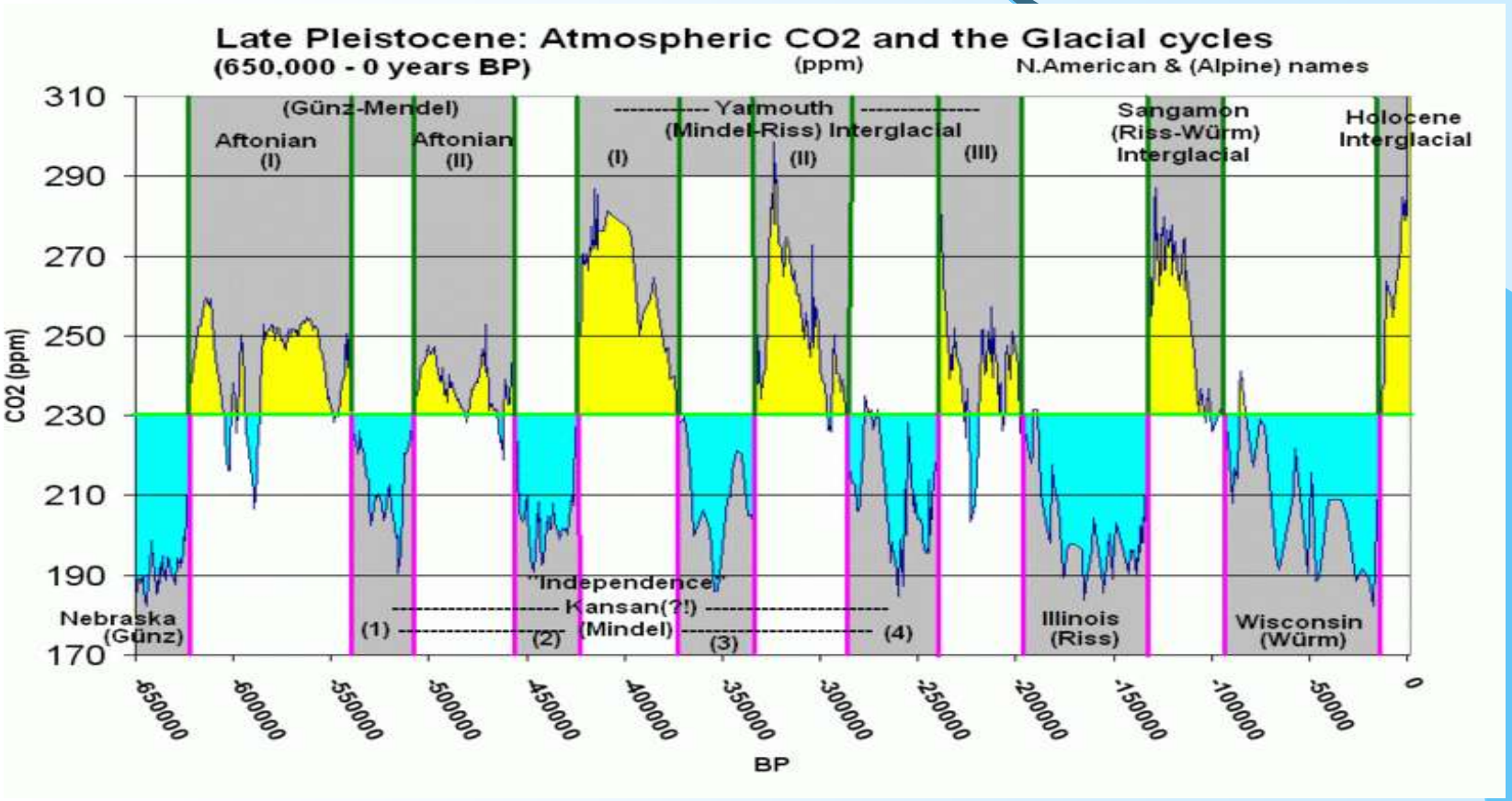
- V chladnějších výkyvech podnebí (např. v dobách ledových) se mění izotopové složení oceánské vody (O^{16}/O^{18}). Voda s lehčím kyslíkem O^{16} je totiž přednostně vázána do ledovců. Izotopový signál v oceánské vodě se promítá do vápnitých schránek mikroorganismů. Pokud analyzujeme izotopy uhlíku a kyslíku z biogenních karbonátů získáme křivku podobnou sinusoidě, jejíž jednotlivé cykly označujeme jako izotopová stadia.Údaje za posledních 2,5 Ma ukazují zhruba 50 klimatických změn.

Doby ledové a meziledové:
Albrecht Penck a Eduard Brückner





Doby ledové a meziledové ve svrchním pleistocénu (450 ka)

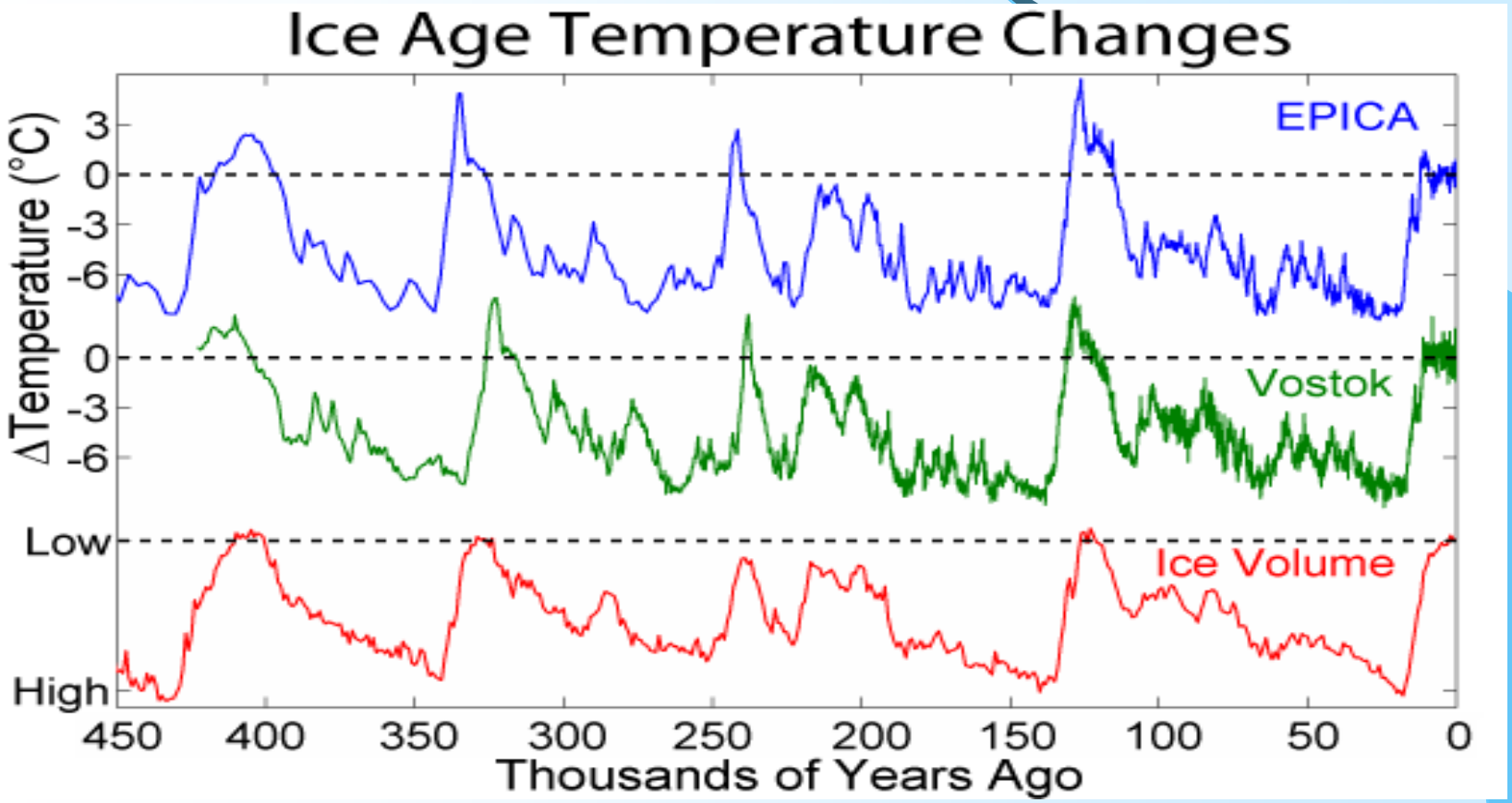


Doby ledové a meziledové (klasické členění)

Pořadí dob ledových	Alpy	Severní Amerika	Severní Evropa	Velká Británie	Interglaciá/ glaciál	Stráří ka	MIS	Epocha
				Flandrian	Interglaciál	Současnost-12	1	Holocén
1	Würm	Wisconsin	Vistulian/Viselský	Devensian	Glaciál	12 - 110	2-4 a 5a-d	Pleistocén
	Riss/ Würm	Sangamonian	Eem	Ipswichian	Interglaciál	110 - 130	5e (7,9?)	Pleistocén
2	Riss	Illinoian	Sálský	Wolstonian nebo Gipping	Glaciál	130 - 200	6,7,8	Pleistocén
	Mindel/ Riss	Yarmout-hian	Holstein	Hoxnian	Interglaciál	200 – 300 (380)	11	Pleistocén
3 (a,b)	Mindel	Kansan	Elsterský/ Halštrovský	Anglian	Glaciál	300 (380) – 455	12	Pleistocém
	Günz/ Mindel	Aftonian	Cromerský (komplex)	Cromerský	Interglaciál	455 - 620	13 - 25	Pleistocén

Pořadí dob ledových	Alpy	Severní Amerika	Severní Evropa/ Nizozemsko	Velká Británie	Interglciál/ Glaciál	Stáří ka	MIS	Epocha
4	Gunz	Nebraskan	Menapian /Bavel (komplex)	Beestonian/	Glaciál	620 - 680	15	Pleistocén
	Donau/ Günz			Pastonian	Integlaciál	680 - 740	16	Pleistocén
5	Donau /Danubian		Mernapian	Pre-Pastonian	Glaciál	740 - 800	19	Pleistocén
			Waal	Bramertonian	Interglaciál	800 – 1,000		Pleistocén
6			Eburonian	Baventianm	Glaciál	1,000 – 1,800	23	Pleistocén
			Tiglian	Antian	Interglaciál	1,800		Pleistocén
7				Thurnian	Glaciál	1,900		Pleistocén
				Ludhamian	Interglaciál	2,000		Pleistocén
8				Pre-Ludhamian	Glaciál	2,300		Pleistocén

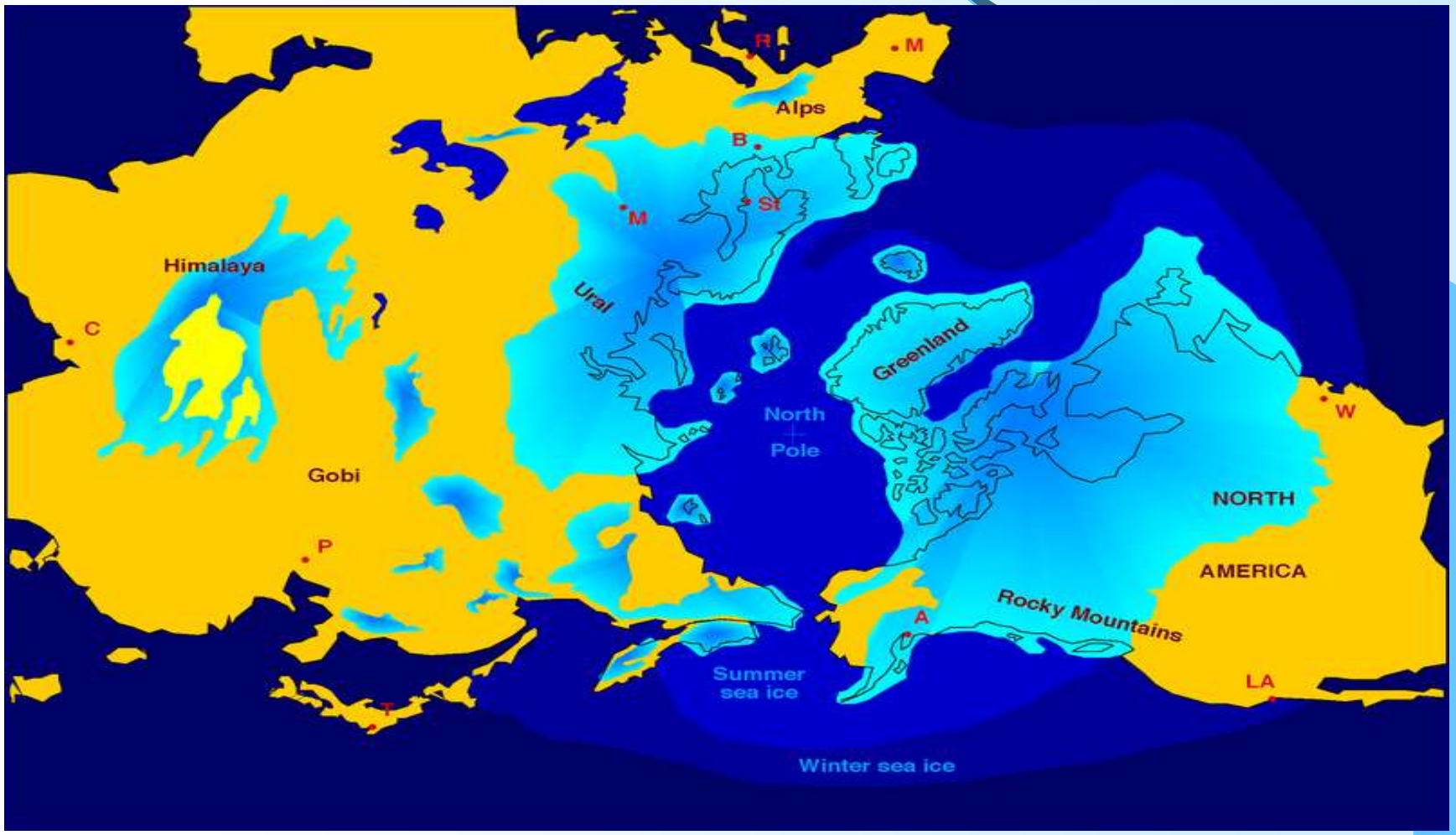
Kolísání podnebí za posledních 450 Ka



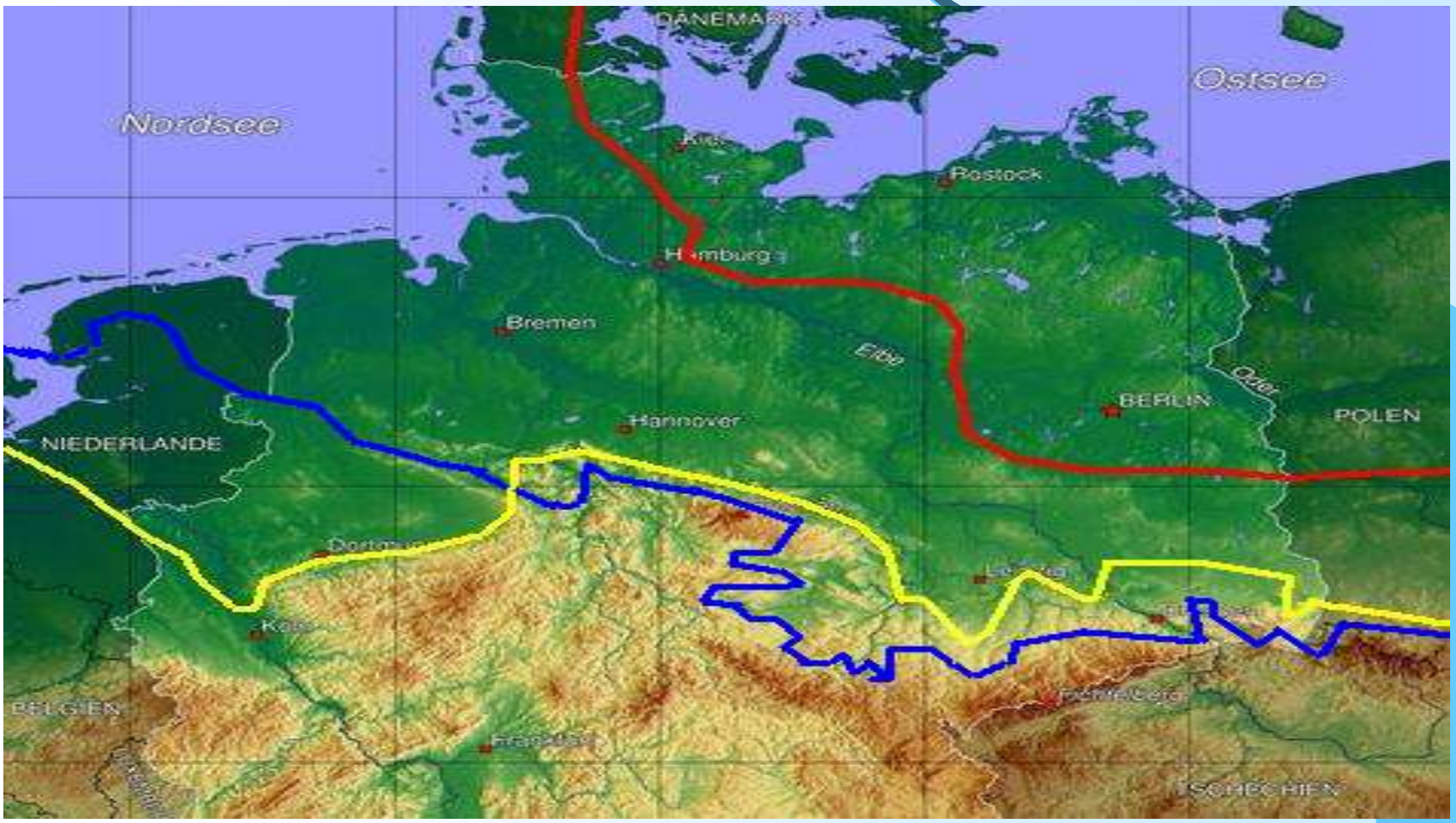
V chladném podnebí sníh ani v létě neroztaje, sněžníky se postupně mění v ledovce

Antarktida – nejstarší ledovcový štít

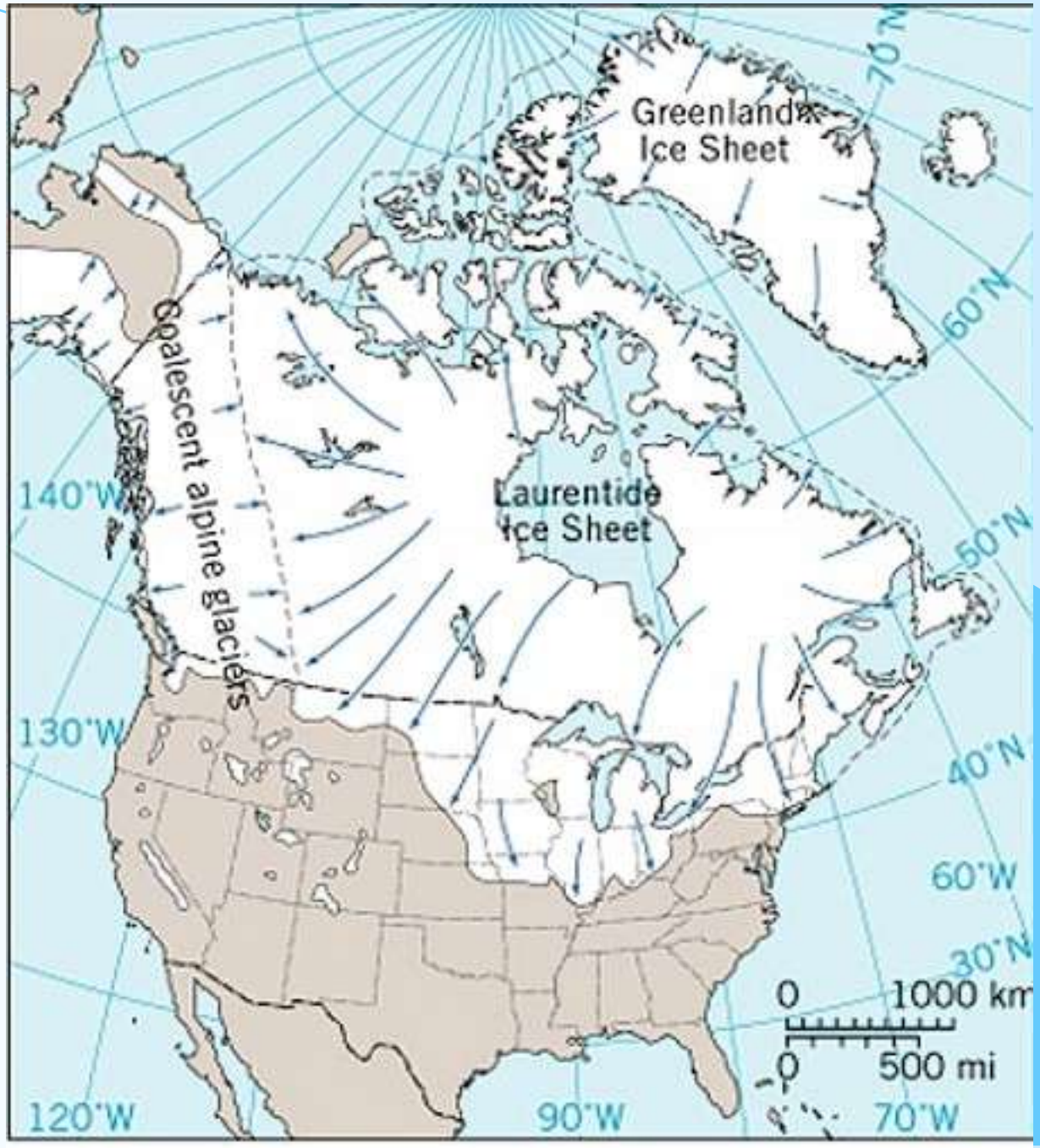
Pleistocenní zalednění severní polokoule



Hranice pleistocenních zalednění ve Střední Evropě



Zaled-nění Severní Ameriky v pleisto-cénu



Periglaciální zóna

- Periglaciální zóna je část naší planety s chladným podnebím, v které mrazové pochody dominují nad ostatními geologickými a geomorfologickými pochody. Dvě základní diagnostická kriteria pro periglaciální zónu jsou:
  - zmrzání a tání hornin spojené s podpovrchovou vodou
  - přítomnost dlouhodobě zmrzlé půdy - permafrostu
- Typickým rysem periglaciální zóny jsou kryogenní jevy

Kryogenní jevy

- Kryogenní jevy jsou struktury, textury a formy vytvořené mrazovými pochody v horninách a zeminách v chladném podnebí. Specifické pochody při kryogenezi zahrnují zejména migraci vody při zmrzání, zamrzání a tání hornin a zemin, mrazové vzdouvání a výměnu tepla a hmoty při kongeliflukci.

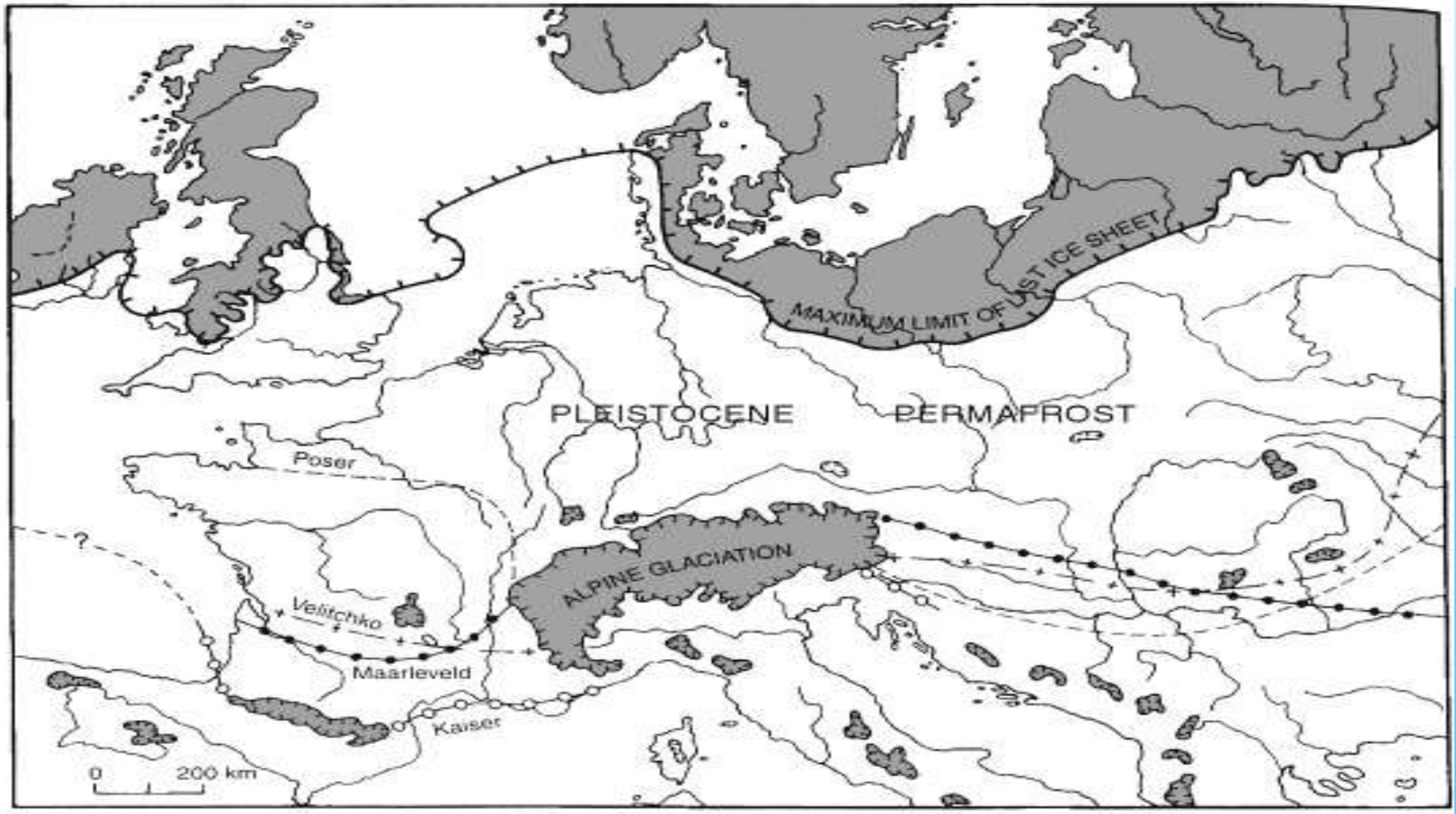
Permafrost a talik

- Typickým rysem periglaciální zóny je výskyt dlouhodobě zmrzlé půdy (permafrostu). Permafrost jsou horniny a zeminy (včetně podzemního ledu a organického materiálu) jejichž teplota je po více než 2 roky trvale pod bodem mrazu.
- Rozlišujeme souvislý, nesouvislý a ostrovní permafrost
- Talikem nazýváme horniny a zeminy s teplotou nad bodem mrazu (0 stupňů Celsia)

Rozloha periglaciální zóny

- Schematicky lze periglaciální zónu definovat jako území v nichž průměrná roční teplota přízemní vrstvy vzduchu (MAAT) je nižší než 3 ^{0}C. Údaje o rozloze periglaciální zóny se pohybují mezi 25 až 40% rozlohy souše. V chladných obdobích pleistocénu byl rozsah periglaciální zóny větší než dnes

Rozloha periglaciální zóny v Evropě v pleistocénu

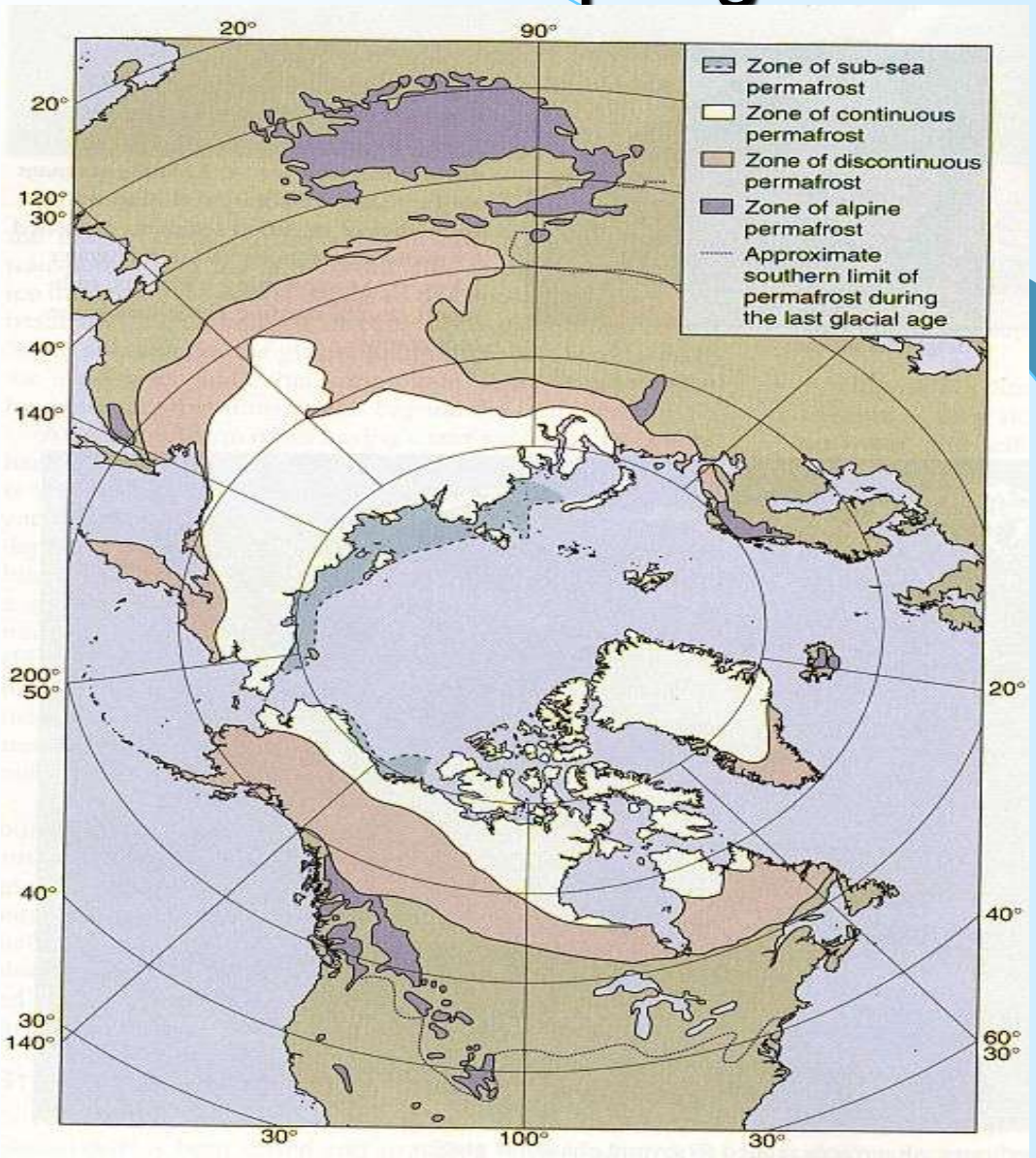


Současná periglaciální zóna

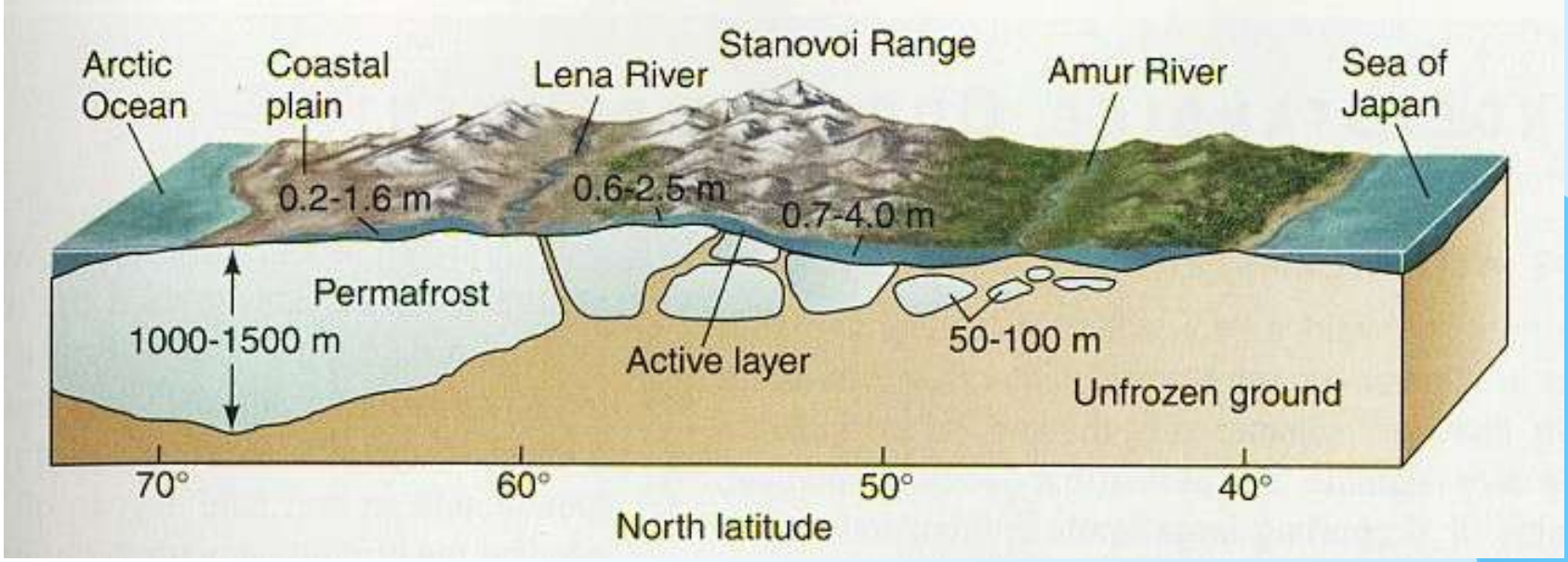
- Současná periglaciální zóna zahrnuje
- polární pustiny a tundry v Arktidě a malé nezaledněné oázy v Antarktidě
- nezaledněné vnitrozemské oblasti Sibiře a Kanady ve vysokých zeměpisných šířkách
- nezaledněné horské a velehorské oblasti.

Jádro periglaciální zóny tvoří území s permafrostem

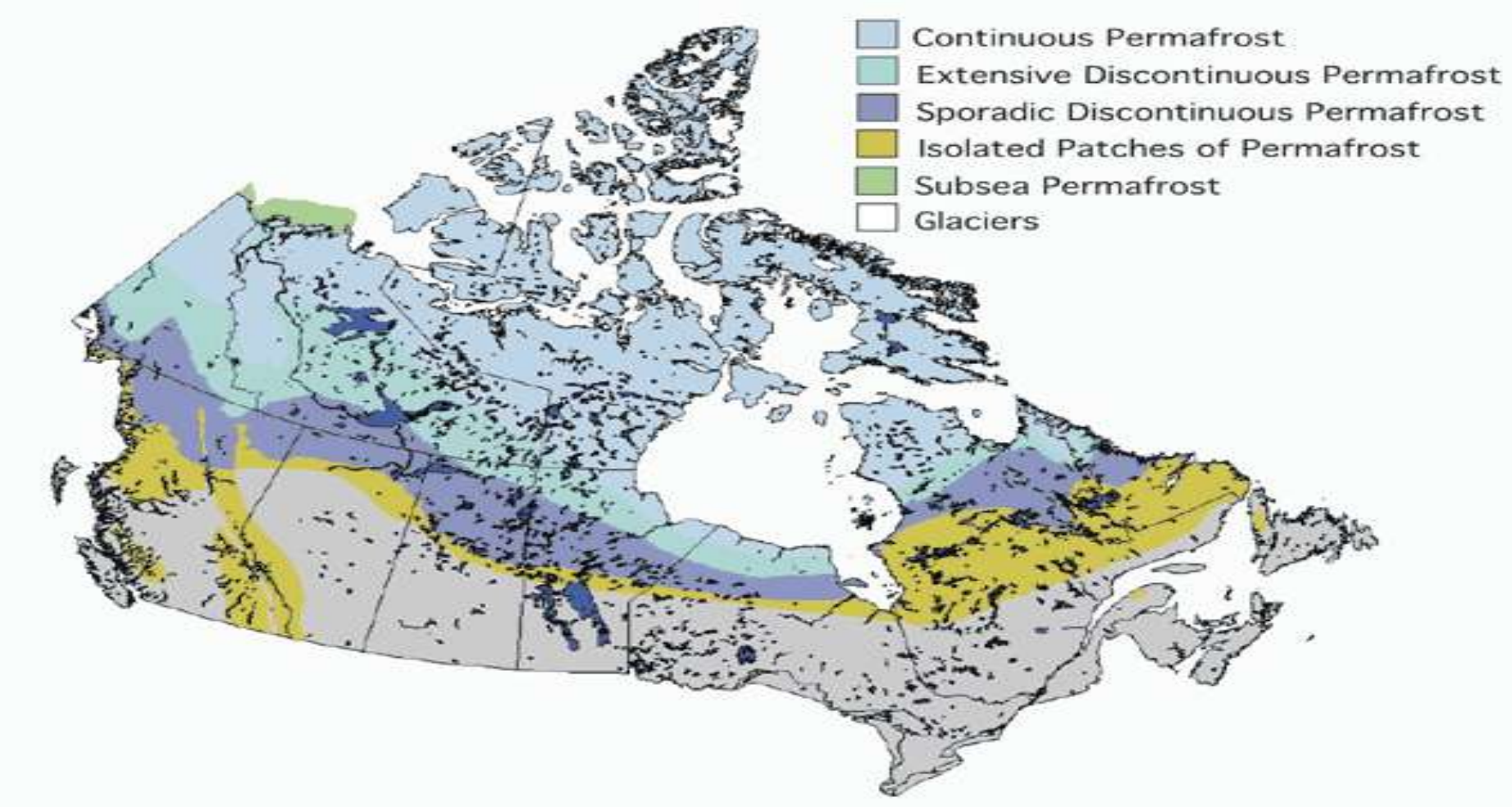
Rozloha současné periglaciální zóny



Periglaciální zóna v Asii



Periglaciální zóna v Kanadě



Hlavní ekosystémy periglaciální zóny

Mrazová poušť Devon Is. Kanada

Tundra- Kolymskoje nagorje,Rusko

Sibiřská tajga

Mrazová step s permafrostem - Mongolsko

Velehorská periglaciální oblast - Ťanšan

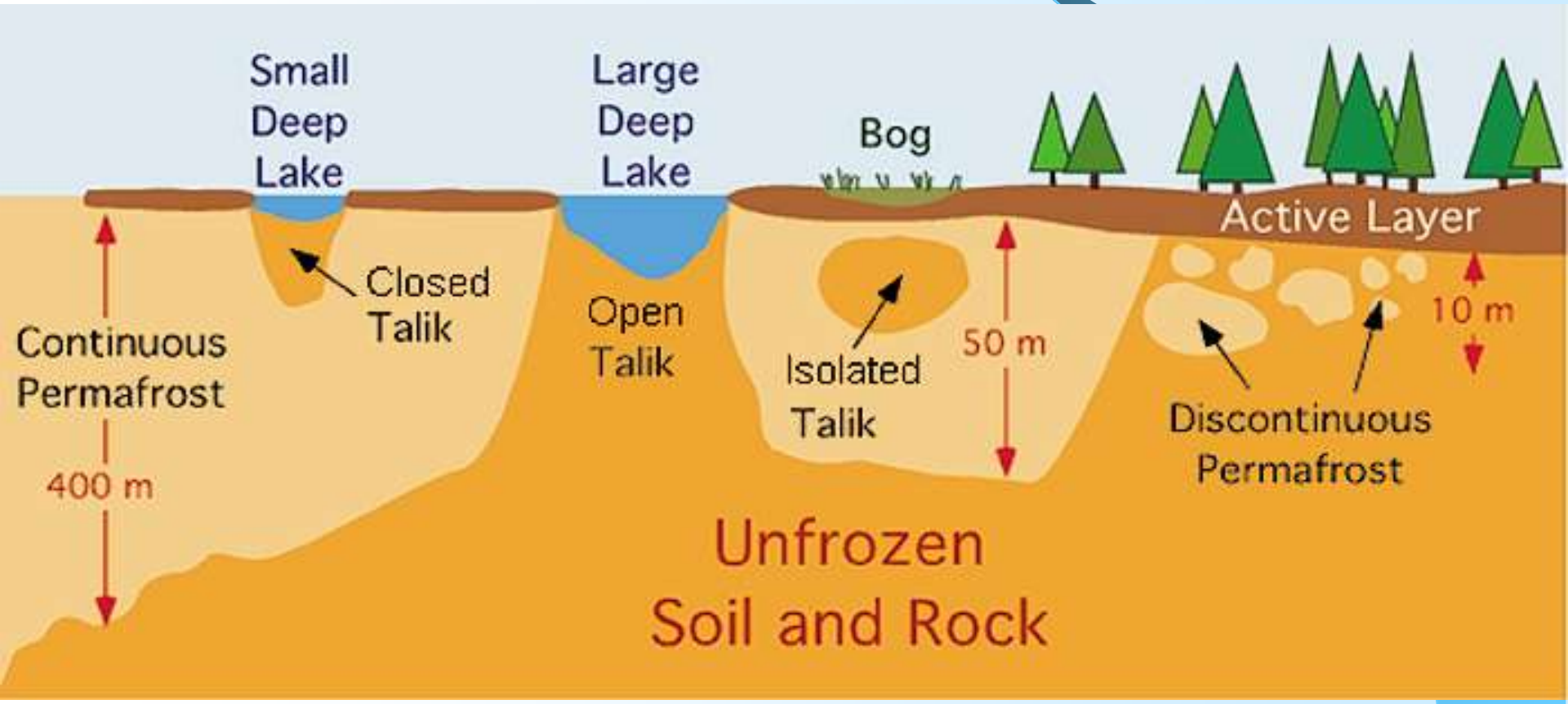
Kryogenní jevy a podnebí

- Jednotlivé kryogenní jevy vznikají za určitých klimatických podmínek, zejména jsou závislé na průměrné roční teplotě vzduchu (MAAT) a na teplotě půdy.
- Problémy při řešení vztahu k podnebí:
- správná identifikace kryogenního jevu
- datování
- typ materiálu
- místní a regionální proměnné

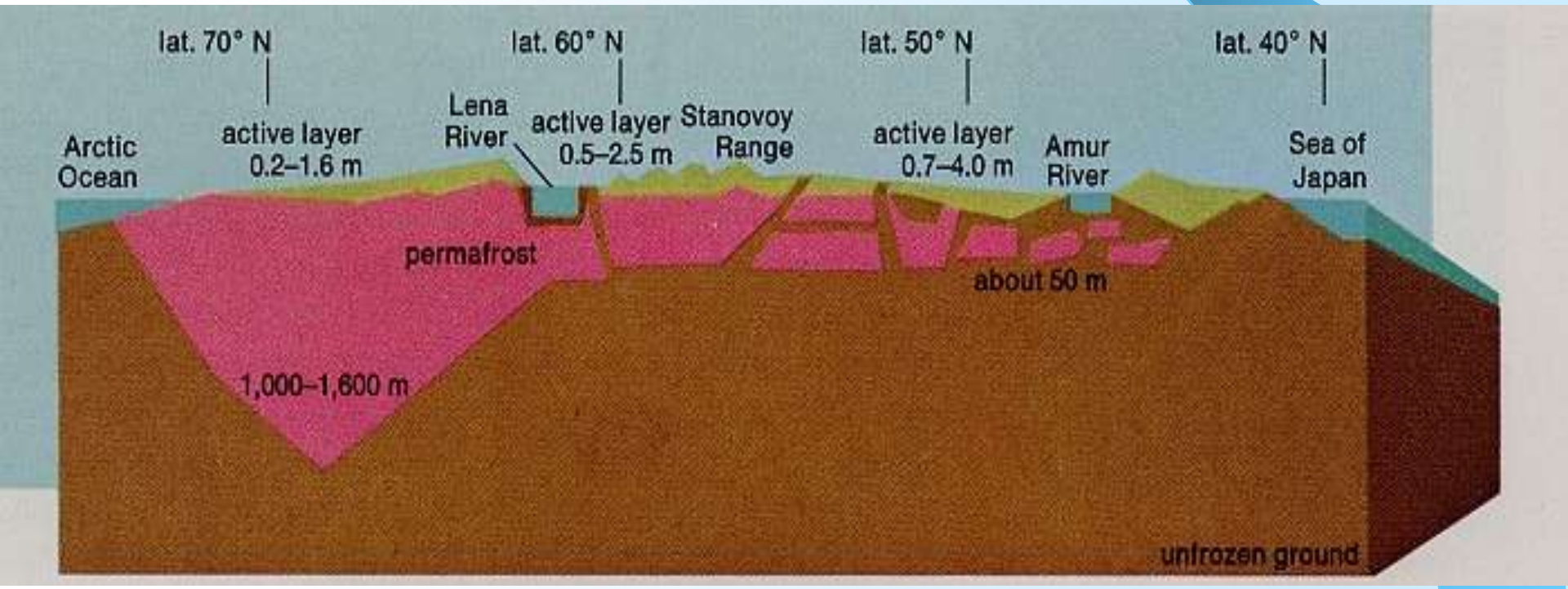
Problémy při srovnávání

- Podmínky v současných periglaciálních oblastech nemusí plně odpovídat pleistocenní periglaciální zóně, zejména pokud se týče sluneční radiace
- Pleistocenní periglaciální oblasti měly více cyklů kolísání kolem bodu mrazu než současné
- V pleistocenní periglaciální zóně mírných šířek nebyly tak nízké teploty jako dnes v nitru světadílů jako např. na Sibiři nebo v Kanadě
- Prostorová diferenciace periglaciální zóny je více závislá na místních a regionálních podmínkách než na převládajícím makroklimatu

Prostorová diferenciace periglaciální zóny



Prostorová diferenciace periglaciální zóny v Asii



Periglaciální pochody

- Zonální pochody specifické pro periglaciální klimatomorfogenetickou zónu, např. vznik a vývoj permafrostu,vznik ledových klínů a polygonů ledových klínů, pinga a palsy, apod.
- Zonální pochody,které nejsou specifické, ale působí v periglaciální zóně s větší frekvencí a intenzitou než v jiných zónách např. mrazové zvětrávání, mrazové vzdouvání, kongeliflukce
- Azonální pochody, které působí s větší frekvencí a intenzitou mimo periglaciální zónu, např. fluviální pochody

Vlastnosti dlouhodobě zmrzlé půda (permafrostu)

- Permafrost může obsahovat různé typy podzemního ledu (texturní led, masívní led, led ledových klínů, jeskynní led, pohřbený led)
- Texturní led je primární a vzniká zmrznutím vody obsažené v zeminách a horninách při zamrzání nebo natažené do nich z okolí při zamrzání
  - Led ledových klínů je druhotný.
- V suchém permafrostu není obsažen podzemní led a je definován čistě na základě teploty

Texturní podzemní led v recentním permafrostu, Jakutsko, Rusko

Masívní podzemní led v terasových usazeninách řeky Leny, Jakutsko

Podzemní led ledových klínů, Jakutsko, Rusko

Postkryogenní textury po roztátí texturního ledu

- Po roztátí texturního ledu v zeminách zůstávají patrné postkryogenní textury, a to
- železité a manganové náteky v místech, kde byly polohy nebo čočky texturního ledu
- lístkovitá odlučnost zemin
- Postkryogenní textury jsou důležité pro identifikaci přítomnosti permafrostu v minulosti

Teplotní režim permafrostu

- Souvislý permafrost MAAT od -5 do -6 ^{0}C, stálá teplota permafrostu až -13 ^{0}C
- Nesouvislý permafrost s četnými taliky MAAT od -3 do -4 ^{0}C
- Ostrovní permafrost, kde v krajině jsou ostrůvky permafrostu MAAT od 0 do -1 ^{0}C, teplota permafrostu kolem –1 ^{0}C.
- Ve většině území s permafrostem se letní teploty vzduchu alespoň po dobu několika týdnů pohybují na 0 ^{0}C. Proto se nad permafrostem vyskytuje sezónně roztávající a znovu zmrzající činná vrstva.

Kryogenní jevy spojené s permafrostem

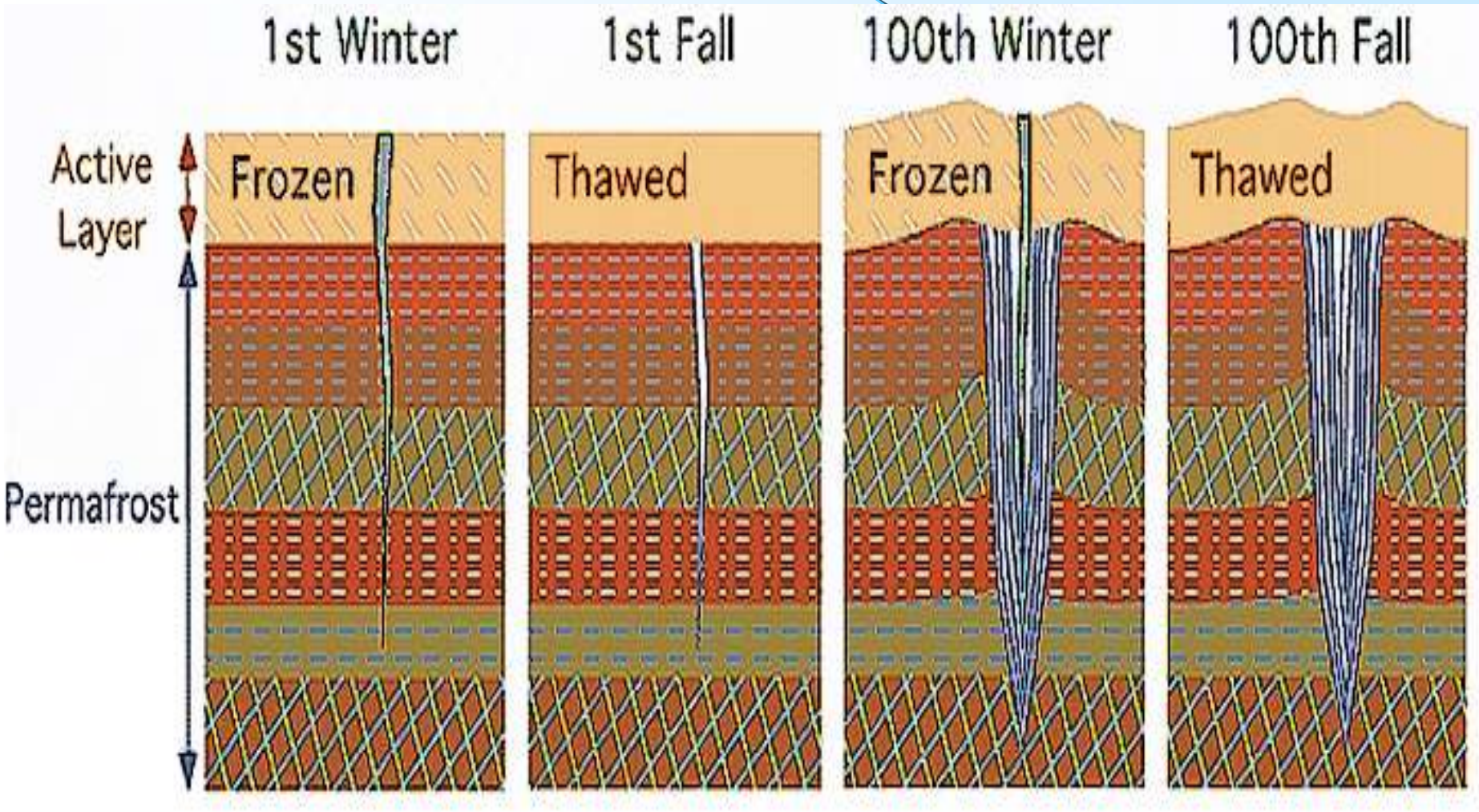
- Chování vody a podzemního ledu v permafrostu vede ke vzniku a vývoji typických kryogenních jevů. S permafrostem jsou spojené zejména ledové klíny, polygony ledových klínů, velké tříděné polygonální půdy, injekční led (pinga), palsy, skalní ledovce a kryogenní textury

Ledové klíny

- Ledové klíny jsou tvořené podzemním ledem a vznikají při mrazovém pukání jako výsledek termální kontrakce hornina zemin při nízkých teplotách a opakovaného zaplňování mrazových trhlin podzemním ledem v permafrostu. Opakované mrazové pukání a zaplňování trhlin se projevuje lineací v ledovém klínu. Teplota na horní hranici permafrostu musí být -15^{0}C až -20^{0}C, v oblastech s MAAT mírně nad -6 ^{0}C mohou ledové klíny vznikat v mrazových kotlinách. Ledové klíny vznikají především v souvislém permafrostu
  - **Indikátor podnebí:** MAAT -6 až -8 ^{0}C a nižší

Mrazová trhlina, Devon Island, Kanada

Vývoj ledových klínů

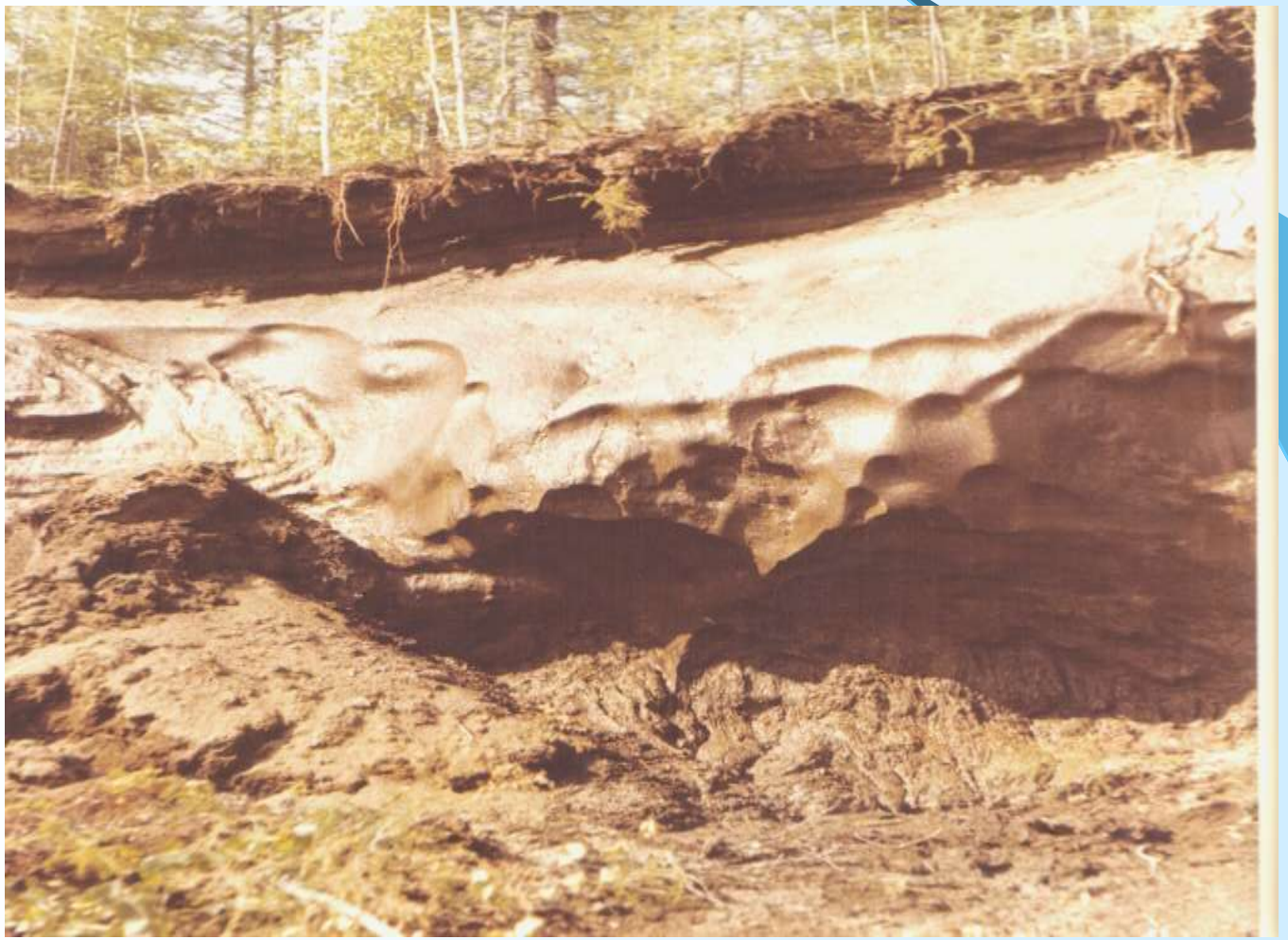


Teploty při vzniku ledových klínů

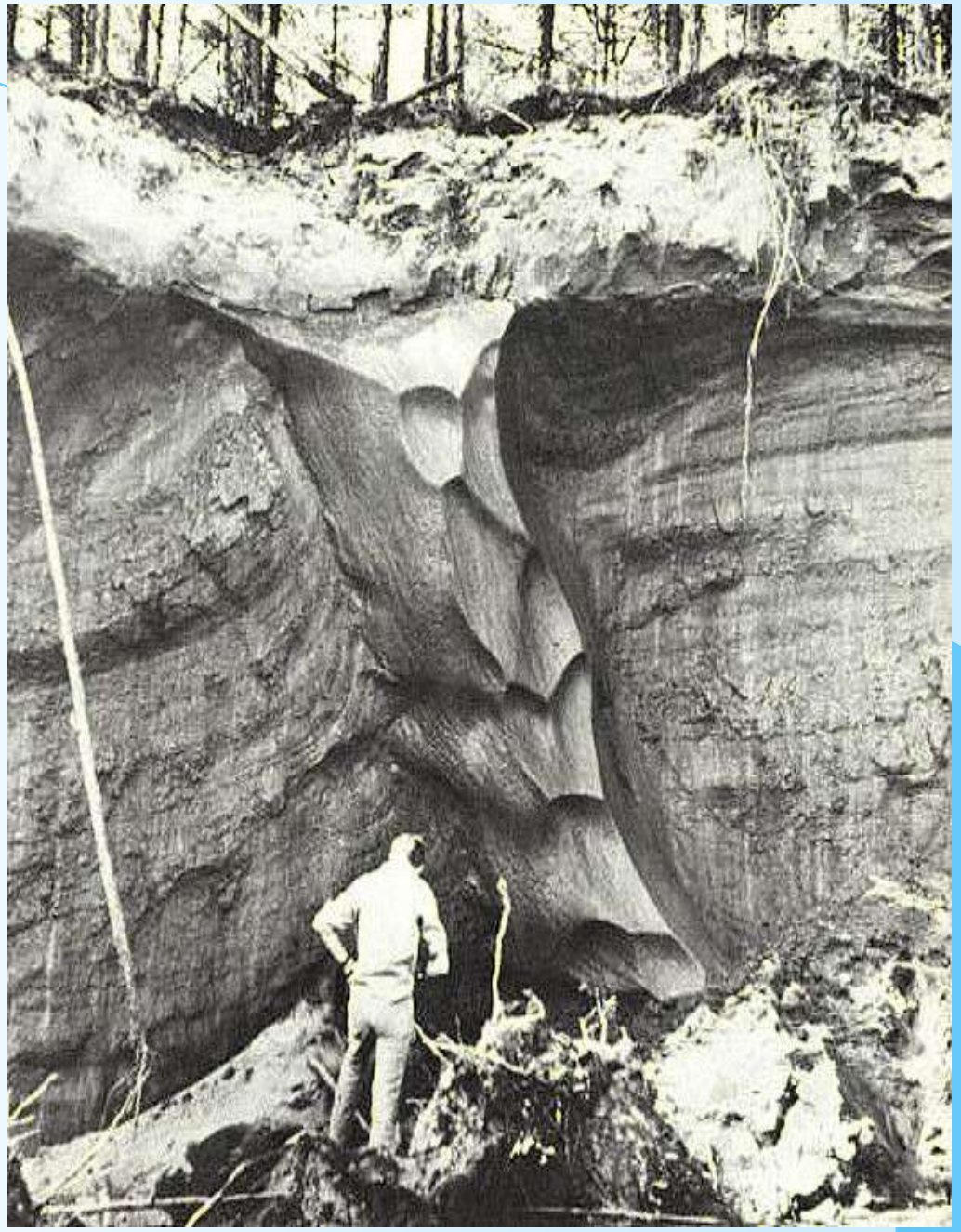
- Měření v Kanadě (Allard, Kasper, 1998) ukázala, že otevřené trhliny v permafrostu umožňující vznik ledových klínů vznikaly v oblasti s průměrnou roční teplotou vzduchu (MAAT) -8 ^{0}C, když teplota na horní hranici permafrostu (permafrost table) byla -15 ^{0}C a teplota vzduchu náhle klesla z -20 ^{0}C na – 32 ^{0}C a méně. Mocnost sněhové pokrývky musí být menší než 1,4 m (Péwe, 1974).

Aktivní syngenetický ledový klín v recentních sedimentech nivy řeky Leny,Rusko

Ledový klín a činná vrstva Jakutsko, Rusko



Fosilní epigenetický ledový klín v terasových sedimentech řeky Aldan,Rusko



Polygony ledových klínů, Kanada

Polygony ledových klínů- Yukon, Kanada

Polygony ledových klínů, Aljaška

Velké tříděné strukturní půdy

- Za velké tříděné strukturní půdy označujeme tvary, které mají průměr větší než 1 m. Lem z ostrohranných úlomků lemuje jádro z jemnějších materiálů. Na svazích se pak vyskytují velké tříděné brázděné půdy. Aktivní polygonální tvary mající v průměru více než 2 m nebo brázděné půdy s periodicitou více než 2 m se vyskytují pouze na permafrostu.
- **Indikátor podnebí:** MAAT -4 až -6 ^{0}C

Velké kamenné polygony,Kanada

Velké kamenné polygony, Kanada

Velké brázděné půdy, Island

Pinga

- Pinga jsou pahorky s ledovým jádrem, které mají výšku od 3 do 70 m a v průměru dosahují 30 až 600 m. Ledové jádro tvoří buď masívní injekční led vzniklý injekcí a zmrznutím tlakové vody při promrznutí taliku nebo čočky podzemního ledu (segregační led).
  - **Indikátor podnebí**: MAAT – 2 ^{0}C

Malé pingo, Jakutsko, Rusko

Pingo v alasu, Jakutsko

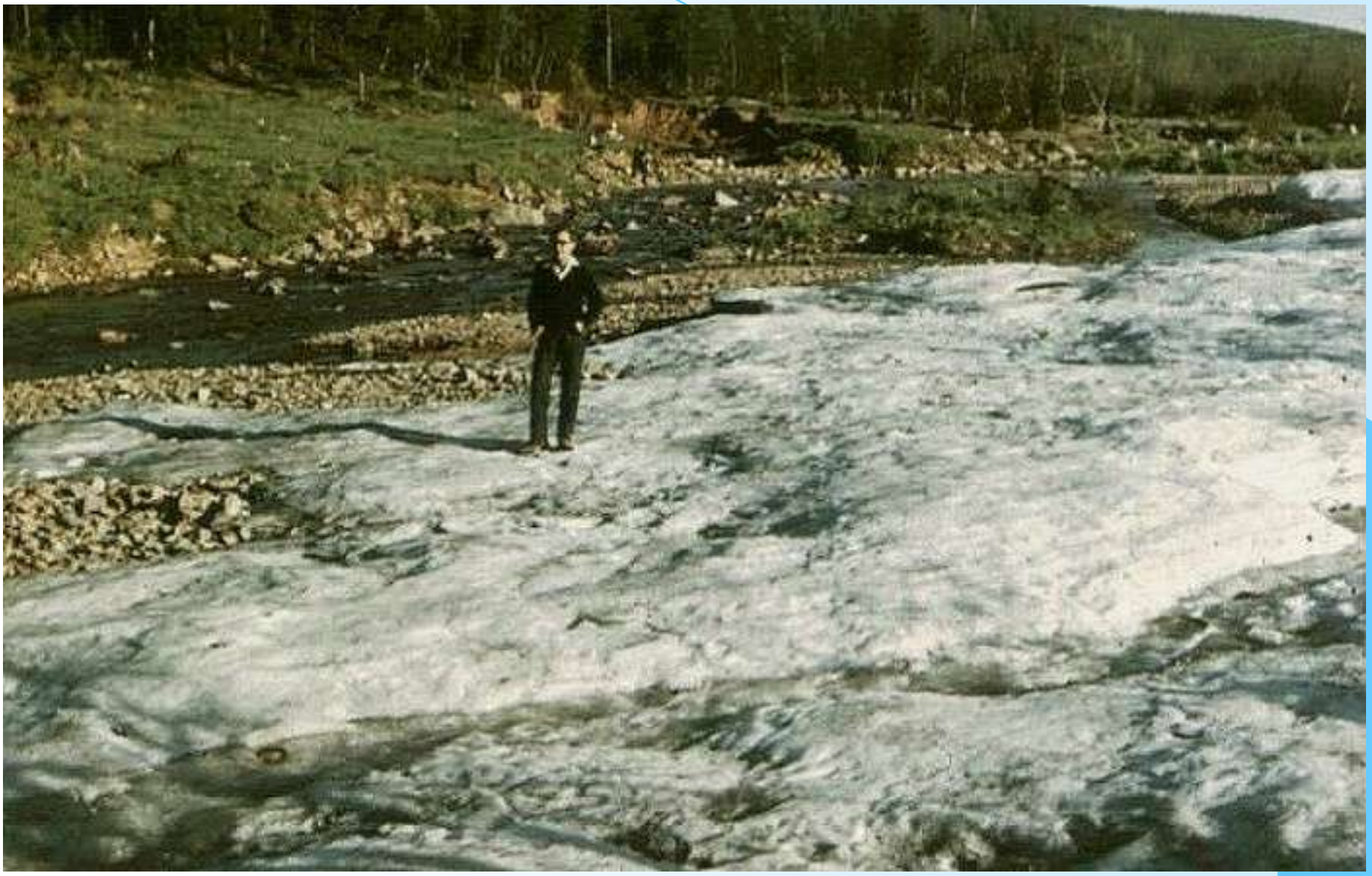
Pingo, Aljaška, USA

Injekční led v pingu, Kanada

Taryn (icing)

- Taryn je ledové těleso na povrchu, které vznikne při promrzání taliku, když voda pod tlakem prorazí až na povrch terénu.

Taryn, Jakutsko,Rusko



Palsy

- Palsy jsou malé pahorky složené z rašeliny a žil podzemního ledu permafrostu. Výška 1 až 10 m, průměr 10 až 30 m. Většinou tvoří jen ostrůvky permafrostu.
- **Indikátor podnebí**: MAAT 0 až – 3 ^{0}C

Palsa, Rusko

Palsa

Palsasuon 'sydän' on ikiroudassa. Mättään korkeus voi olla useita metrejä.

Skalní ledovce

- Skalní ledovce jsou buď tvary podobné ledovcovým splazům a nebo představují akumulace ostrohranných úlomků skalních hornin v závěrech karů nebo nivačních sníženin s příkrými stěnami. Pro aktivní skalní ledovce jsou příznačná příkrá čela, brázdy, hřbety. Obsahují dlouhodobý podzemní led.
- **Indikátor podnebí**: MAAT 0 až – 5 ^{0}C

Skalní ledovec, USA

Skalní ledovec, USA

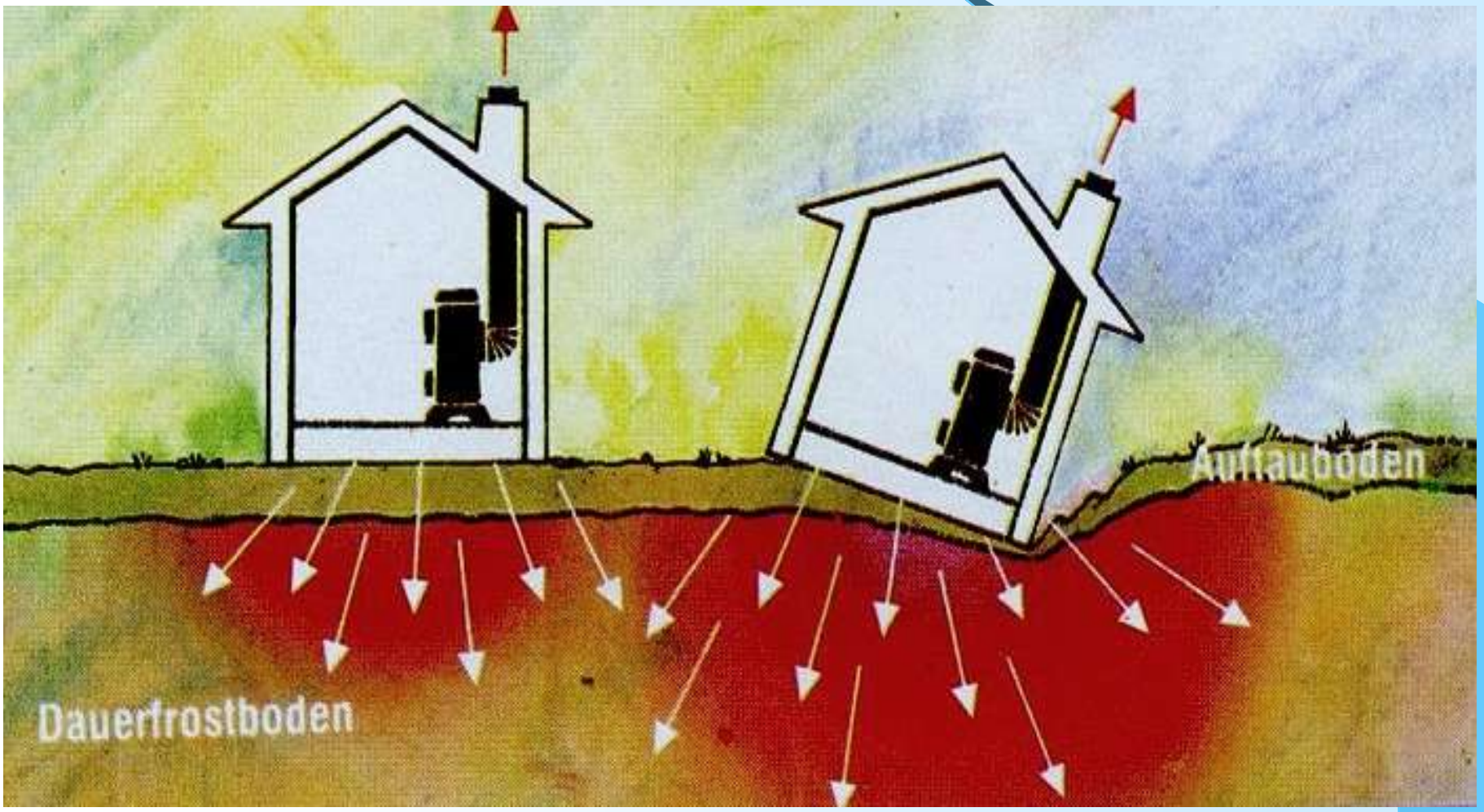
Procesy a tvary spojené s degradací permafrostu

- Degradací permafrostu nazýváme zvýšení teploty hornin a zemin
- Zmenšení mocnosti permafrostu
- Degradace permafrostu může být regionální (např. oteplením podnebí) nebo lokální (např.narušením vegetace a vytvořením taliku)

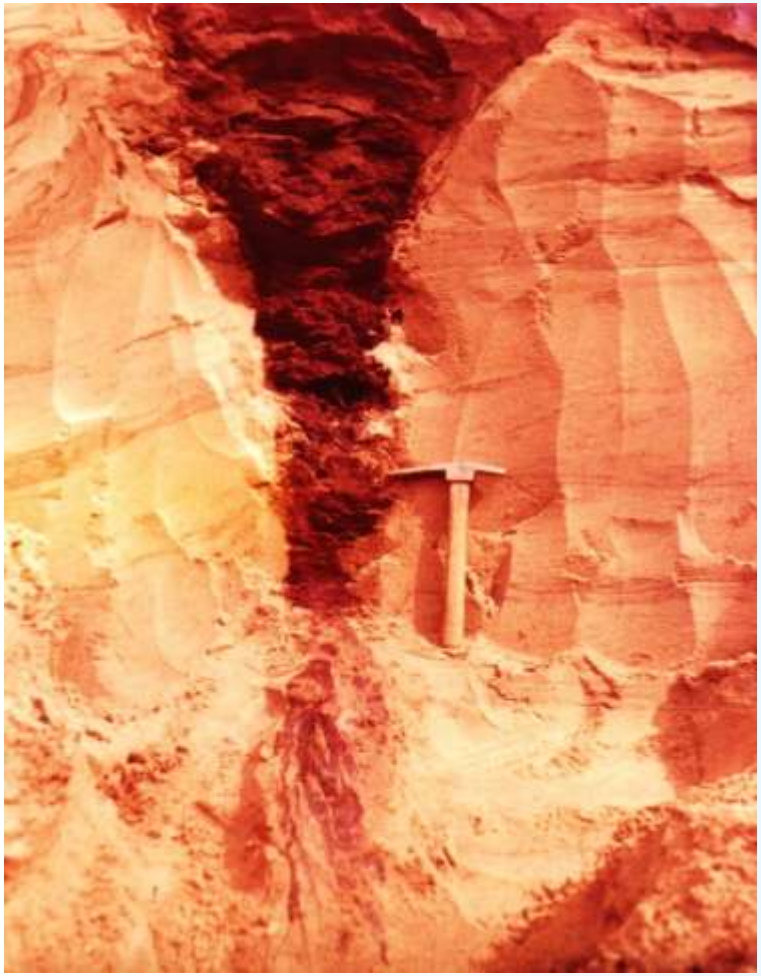
Jakutsko v zimě

Jakutsko v létě

Degradace permafrostu



Vytávání ledových klínů a vznik pseudomorfóz



Termokrasové sníženiny

- Termokrasové sníženiny vznikají v zeminách táním podzemního ledu při degradaci permafrostu.
- Termokrasové sníženiny vznikají dvěma základními způsoby, a to buď degradací permafrostu shora nebo boční degradací při které vznikají termokary
- **Indikátor podnebí**: periglaciální podnebí, globální nebo místní narušení

Degradace permafrostu shora

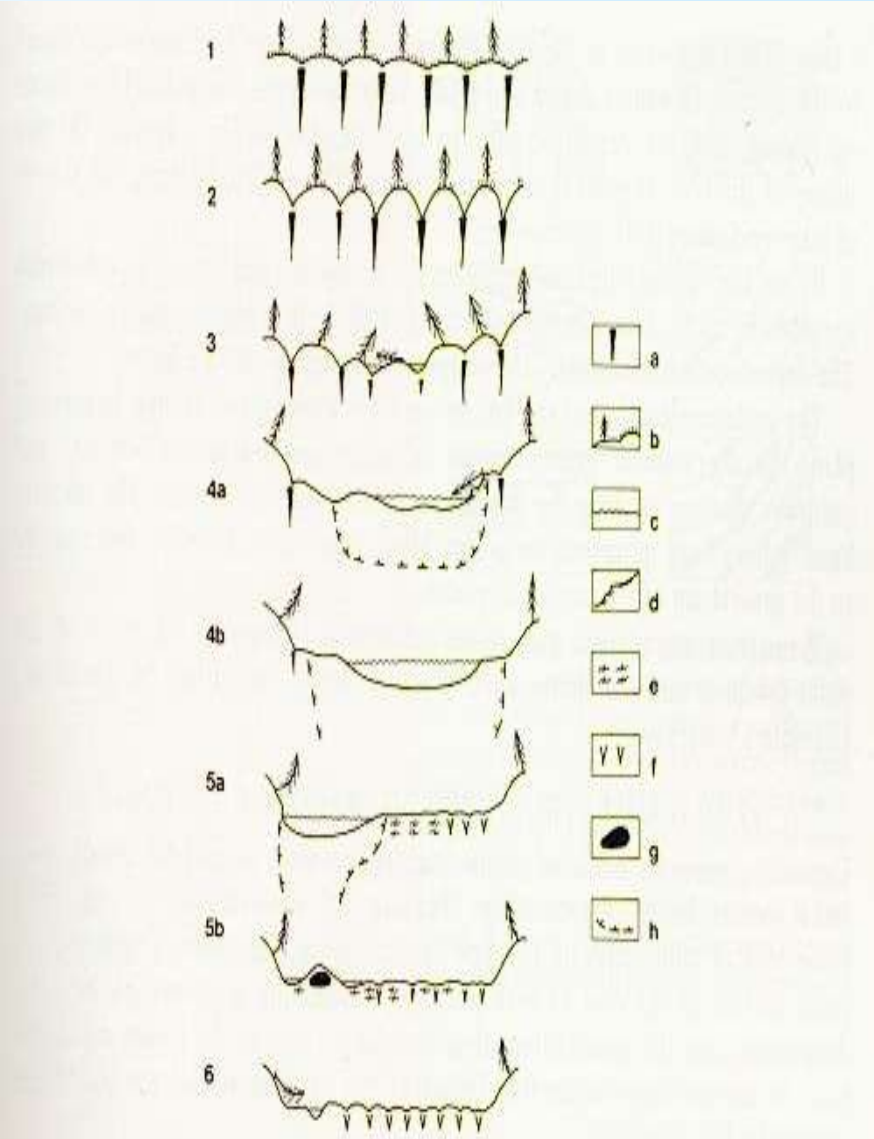


FIG. 9.1. Schematic representation of alas development as a result of permafrost degradation from above (T. Czudek and J. Demek, 1973). Key: 1. original surface with syngenetic ice wedges, 2. beginning of permafrost degradation and origin of baydjarakhs, 3. duyoda, 4a and b, alas, 5a and b, khonu with pingo, 6. thermokarst valley.

Termokrasové sníženiny

- Táním permafrostu vzniká nerovný povrch tvořený jednak polygonálními sníženinami po vytátých ledových klínech a jednak nepravidelnými sníženinami po vytátém segregačním ledu, v kterých se hromadí voda

Bajdžarachy, Jakutsko, Rusko

Degradace permafrostu – bajdžarachy Jakutsko

Ďujoďa, Jakutsko, Rusko

Alas s alasovým jezerem, Jakutsko

Alas s travnatým dnem,Jakutsko

Alasové údolí v Jakutské nížině

Degradace permafrostu z boku

Termokar u řeky Aldan

Termokar u řeky Aldan

Termokrasová sníženina (očko) v ledovcové nížině - Německo

Struktura permafrostu,kryogenní a postkryogenní textury

- Permafrost v závislosti na způsobu svého vzniku a vývoje obvykle obsahuje různé druhy podzemního ledu. Krystaly texturního ledu o velikosti od několika mm do několika cm vytvářejí při zmrzání typickou kryogenní texturu. Typ kryogenní textury závisí na genezi permafrostu a na environmentálních podmínkách, v nichž se permafrost vyvíjí
  - **Indikátor podnebí: MAAT 3 až -10 ^{0}C**

Kryogenní textura permafrostu

Typy kryogenní textury

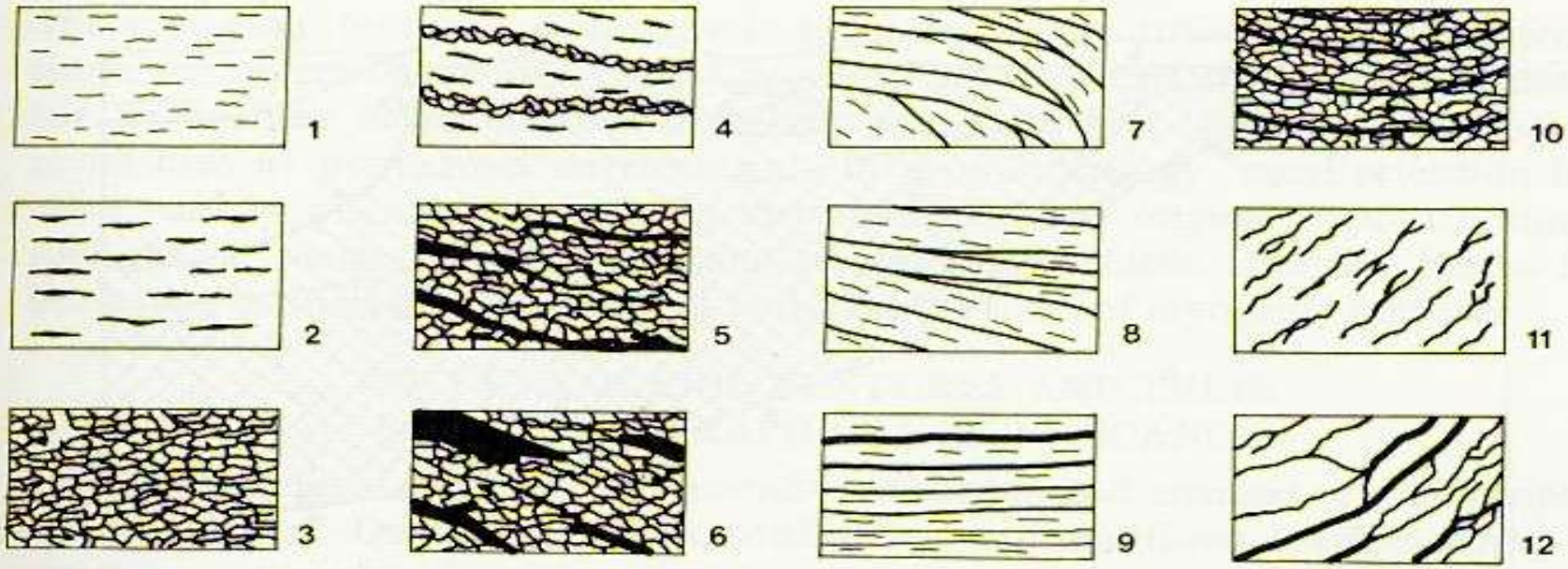


FIG. 9.2. Main cryogenic textures caused by syngenetic freezing of unconsolidated deposits (P. I. Melnikov and N. I. Tolstikhin, 1974). Key: *cryogenic textures of subaerially freezing deposits. Simple textures*: 1. texture of fine ice lenses (typical of solifluction deposits), 2. lenticular texture (typical of dry slope deposits), 3. reticulate texture (typical of solifluction terraces and streams). *Complicated textures*: 4. texture of undulating bands (typical of humid slope deposits). 5. reticulate texture, tilted (typical of rather humid slope deposits), 6. texture of interrupted bands and nets (typical of creep deposits), 7. strongly undulating lenticular texture (typical of mobile solifluction terraces and streams), 8. fan-like lenticular texture (typical of alluvial cones), 9. horizontal stratified texture (typical of floodplains), 10. stratified texture with concave curvature (typical of higher levels of floodplain with ice-wedges).

Kryogenní jevy pravděpodobně vázané na permafrost

- U některých kryogenních jevů se názory badatelů liší – někteří je považují za jevy vázané na permafrost, jiní soudí, že mohou vznikat v periglaciální zóně i bez přítomnosti permafrostu. Jsou to zejména
- kryoplanační terasy, kryopedimenty, perikryopedimenty a kongeliflukce (periglaciální soliflukce, geliflukce) a s ní související sedimenty

Kryoplanační terasy a plošiny

- Odnosové tvary vyskytující se v chladném podnebí. Svahové nebo vrcholové stupně tvořené jednak mrazovými sruby nebo srázy a jednak plošinami. Šířka od 10 m do 2 – 3 km, největší délka přesahuje 10 km. Vznikají působením nivace kombinované s kongeliflukcí, plošným splachem a mrazovým vzdouváním.
- **Indikátor podnebí:**Péwe,Reger MAAT -12 stupňů nebo chladnější

Mrazový srub a kryoplanační terasa

Aldanskoje nagorje, Jakutsko,Rusko

Nivace při úpatí aktivního mrazového srubu, Jakutsko

Aktivní mrazový srub a kryoplanační terasa, Devon Is. Kanada

Povrch aktivní kryoplanační terasy, v pozadí nivace při úpatí mrazového srubu. Devon Is., Kanada

Fosilní vrcholová kryoplanační plošina s tumpem, Sýkoř,Česko

Tor, Aldanskoje nagorje, Rusko

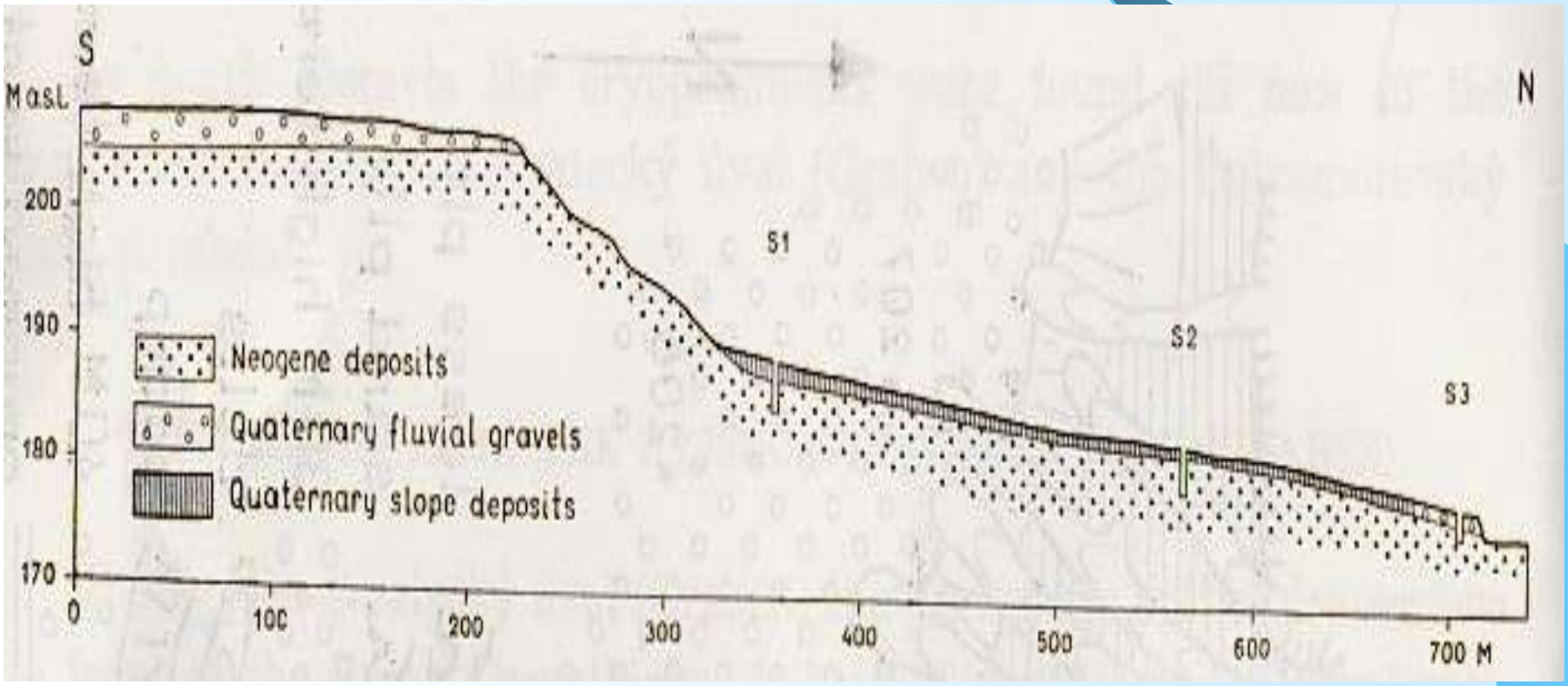
Kryopedimenty

- Kryopedimenty jsou mírně ukloněné odnosové povrchy při úpatí příkřejších svahů vznikající v chladném podnebí
- Mají rozměry od malých (rozměry několik set m^2) až po regionální (několik km^2). Jsou to erozní a transportní povrchy při jejichž vývoj hraje hlavní úlohu nivace, plošný splach a kongeliflukce. V příčném profilu jsou kryopedimenty konkávně prohnuté.
  - **Indikátor podnebí: MAAT 3 až –6 ^{0}C**

Aktivní kryopedimenty na Sibiři, Rusko

Pleistocenní kryopediment u Pouzdřan, Česko

Profil krypedimentem –Nová Ves ,Česko



Perikryopedimenty

- Perikryopedimenty jsou pedimenty pokryté kongeliflukčními a splachovými sedimenty, které mají mocnost větší než 1,5 m.

Fosilní peripediment Dobrá studně, Česko

Kongeliflukce (synonyma periglaciální soliflukce, geliflukce)

- Kongeliflukce je pomalý pohyb roztátého materiálu ve směru sklonu svahu po zmrzlém podloží v chladném podnebí. Kongeliflukce je typ soliflukce předpokládající přítomnost buď sezónně zmrzlé půdy nebo permafrostu. Terminologické odlišení je potřebné, protože poněvadž soliflukce není vázána na chladná podnebí.

Kongeliflukční tvary

- Existuje celá řada kongeliflukčních tvarů a sedimentů včetně kongeliflukčních plášťů se stupňovitými čely, kongeliflukční jazyky, kamenná moře, kamenné proudy a haldy. Kongeliflukční sedimenty obvykle obsahují ostrohranný materiál a jsou netříděné a většinou nevrstevnaté.
- **Indikátor podnebí: periglaciální podnebí**

Kongeliflukční svah v tundře, Kolymskoje nagorje, Rusko

Kongeliflukční svah s kongeliflukčními jazyky, Ťan-šan, Kazachstán

Kamenné moře Králický Sněžník, Česko

Současný permafrost v České republice

- V balvanových mořích v Českém středohoří byly zjištěny trvalé celoroční teploty pod bodem mrazu. Tedy i současném podnebí se u nás vyskytuje permafrost.Je to způsobeno cirkulací vzduchu v prostorech mezi jednotlivými úlomky hornin.

Podmrzlé kamenné moře, Plešivec, Česko

Kamenná halda, Jeseníky, Ztracené kameny, Česko

Úpady (dellen)

- Ploché a mělké protáhlé sníženiny. V půdorysu většinou přímočaré.Jsou bez vodních toků. Ploché dno pozvolna přechází v mírné svahy. Vznikají dvěma způsoby:
- v zeminách vytáváním ledových klínů a sesedáním jejich okolí
- ve skalních horninách korazí materiálu pohybovaného kongeliflukcí

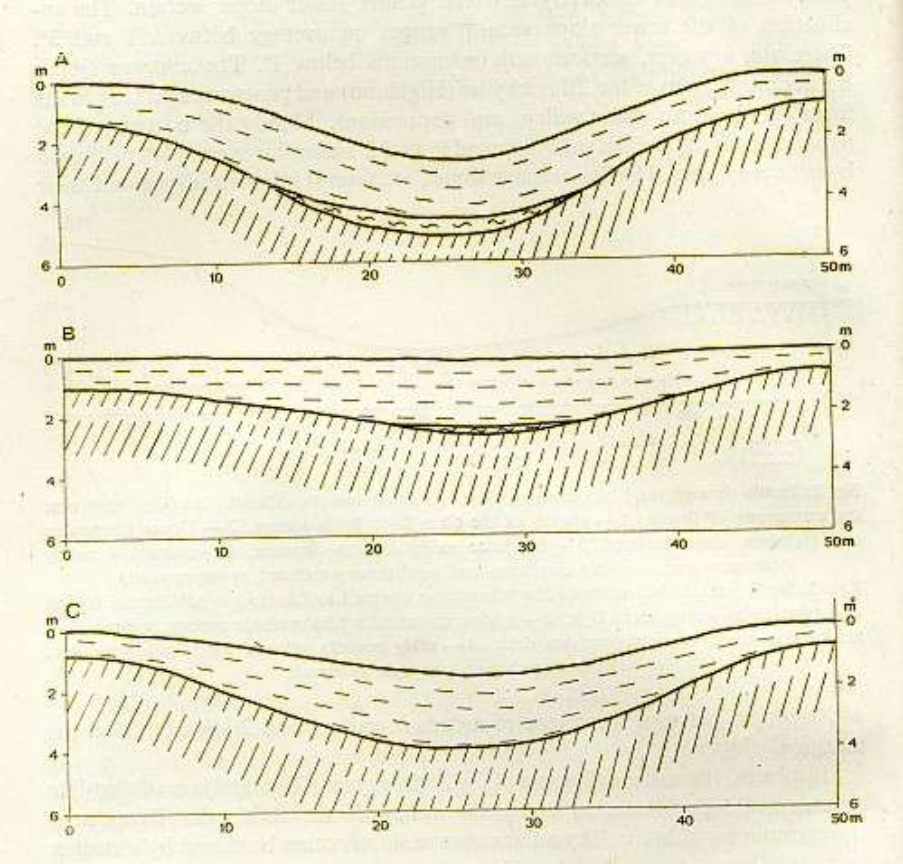
Úpady (dellen)

- V holocénu se v pleistocenních úpadech jednak hromadí materiál urychlené eroze půdy a jednak místy v osách úpadů vznikají strže.
- **Indikátor podnebí**: úpady vzniklé v propustných zeminách (např. píscích) jsou dokladem přítomnosti permafrostu, který v době jejich vzniku tvořil nepropustnou vrstvu pro vodu.

Úpad ve flyši, Česko

Úpad v krystaliniku Českomoravské vrchoviny

Úpad – schéma



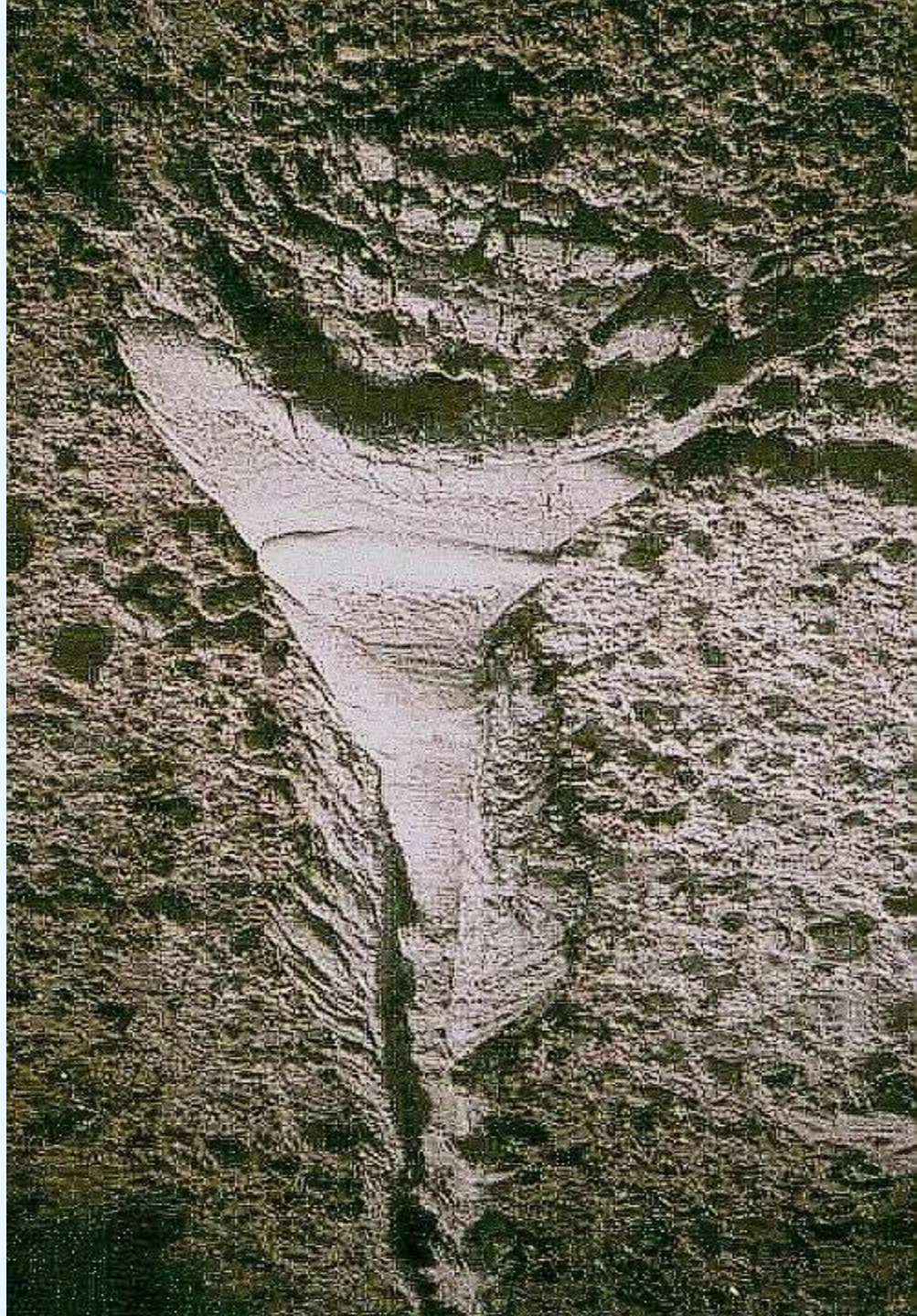
Doklady přítomnosti pleistocenního permafrostu na území ČR

- K nejdůležitějším přímým dokladům výskytu pleistocenního permafrostu na území ČR náleží
- 1) epigenetické a syngenetické postkryogenní textury v hloubce větší než bylo sezonní tání a zamrzání (tj. mocnost činné vrstvy);
- 2) pseudomorfózy po ledových klínech, mrazové klíny s primární výplní eolickým pískem, relikty složených mrazových klínů
- 3) mrazové (kryogenní) rozvolnění skalních hornin podél puklin až do hloubky několika desítek metrů pod povrch terénu;
- 4) kry sedimentů dopravované pevninskými ledovci ve zmrzlém stavu;
- 5) deformace původního uložení vrstev (včetně vzniku pals) v hloubce větší, než byla mocnost činné vrstvy
- 6) kamenné ledovce.

Pleistocenní permafrost na území ČR

- S přítomností permafrostu na území ČR mohou souviset
- kryoplanační terasy a náhorní kryoplanační plošiny
- kryopedimenty
- nivační sníženiny
- svahové deformace (kerné sesuvy, odsedání svahů)
- úpady a suchá údolí
- strukturní půdy
- kryogenní eluvium
- spraše, sprašové hlíny, niveoeolické sedimenty a rytmicky zvrstvené usazeniny s „open work“ strukturou
- kongeliflukční (geliflukční) sedimenty.

Pseudo-morfóza po ledovém klínu zvaná mrazový klín v neogenním písku, Brodek Česko



Pseudomorfózy po ledových klínech – Brno

Profil a půdorys sítí pseudomorfóz po ledových klínech

Síť pseudomorfóz po ledových klínech - Brno

Paleoklimatologický význam sítě pseudomorfóz

- Nález sítí pseudomorfóz po ledových klínech ve stratigrafických posicích v jednom profilu je dokladem, že v pleistocénu v naší krajině i v nižších polohách opakovaně vznikal a degradoval permafrost.Průměrná roční teplota vzduchu (MAAT) se v době vzniku ledových klínů pohybovala v rozmezí cca -6 až -8 stupňů C.

Fosilní kryopediplén v Česku

Děkuji za pozornost!