

# 5. Větry a globální cirkulace atmosféry

## 5.1 Atmosférický tlak

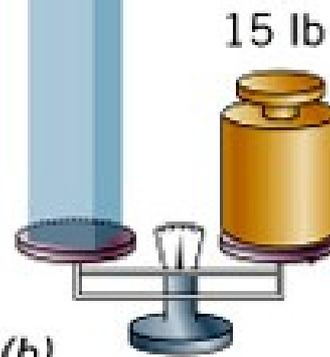
- **tlak**  $p$  – síla  $F$  rovnoměrně spojitě rozložená, působící kolmo na rovinnou plochu, dělená velikostí této plochy  $S$ , tedy  $p = F \cdot S^{-1}$  [Pa = N.m<sup>-2</sup>]
- **atmosférický (barometrický) tlak** – tlak atmosféry na všechna tělesa v ovzduší a na zemský povrch bez zřetele na orientaci stěn tělesa, který se rovná hmotnosti vzduchového sloupce nacházejícího se nad nimi [hPa = mbar]
- **normální barometrický tlak** 1013,2 hPa (760 Torrů)

Column of  
atmosphere  
one cm in  
cross section



(a)

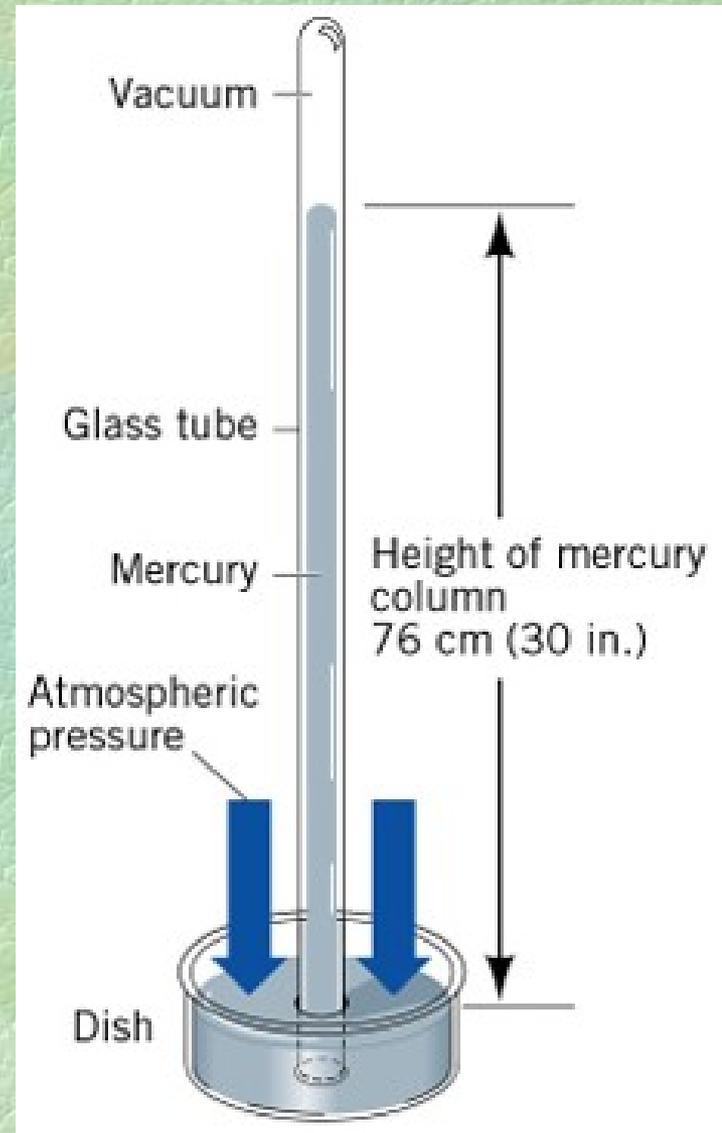
Column of  
atmosphere  
one inch in  
cross section

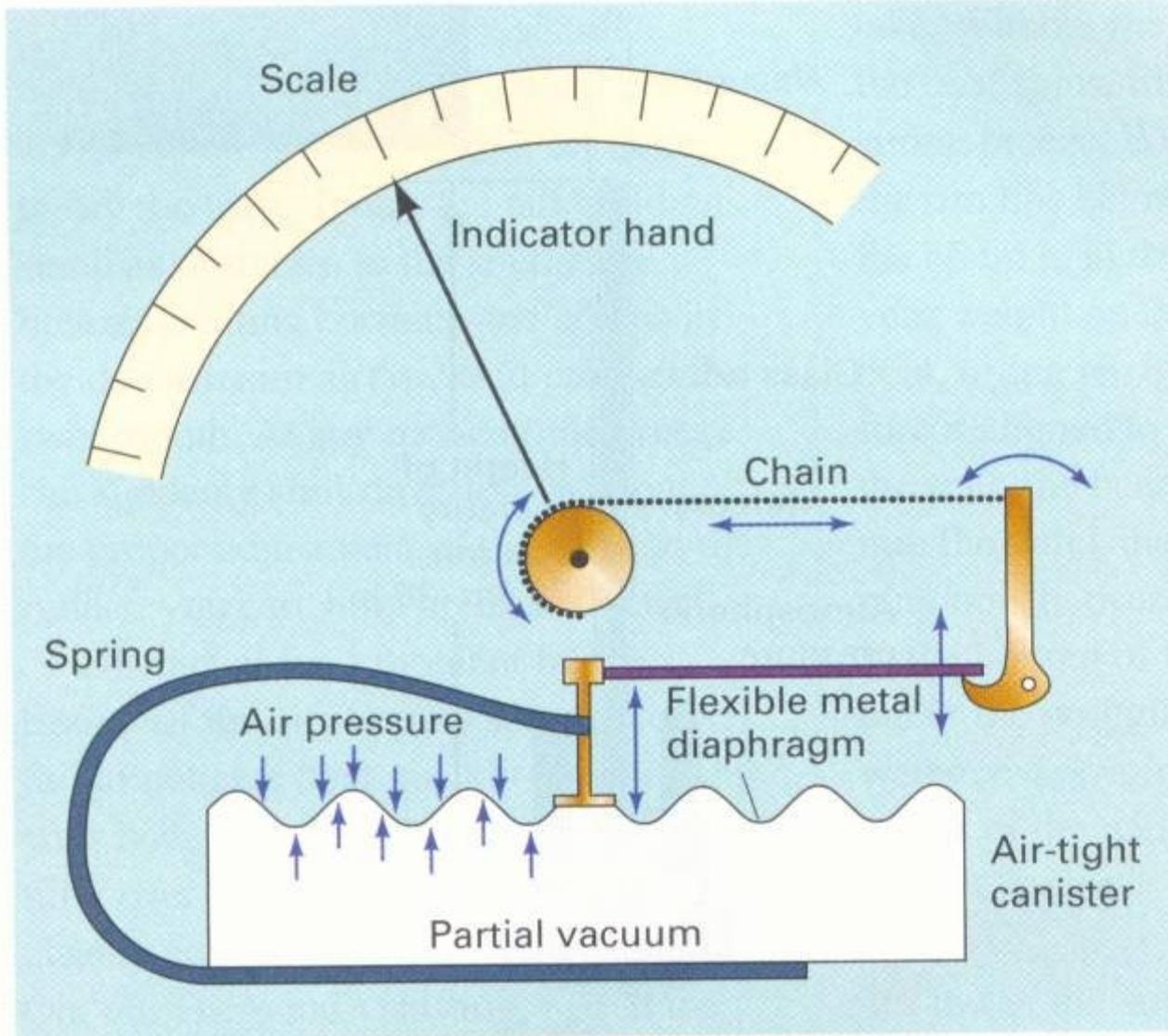


(b)

## 5.1.1 Měření tlaku

- **rtuťový tlakoměr** (barometr) – přístroj pro měření tlaku vzduchu
- tlak působí na rtuť v nádobě, která je vytlačena do trubice, v níž je vakuum (původně mm Hg)
- malá mezidenní kolísání tlaku – největší změny při putujících tlakových útvorech

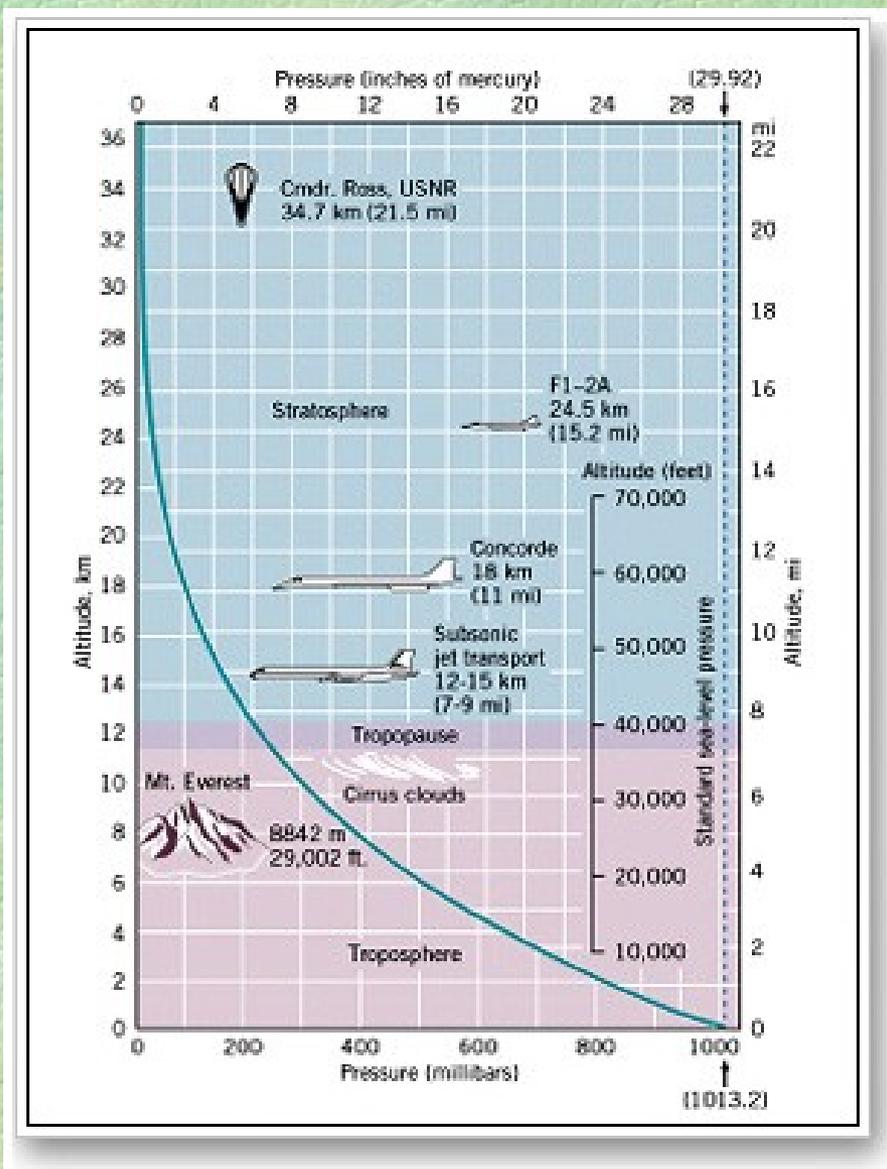




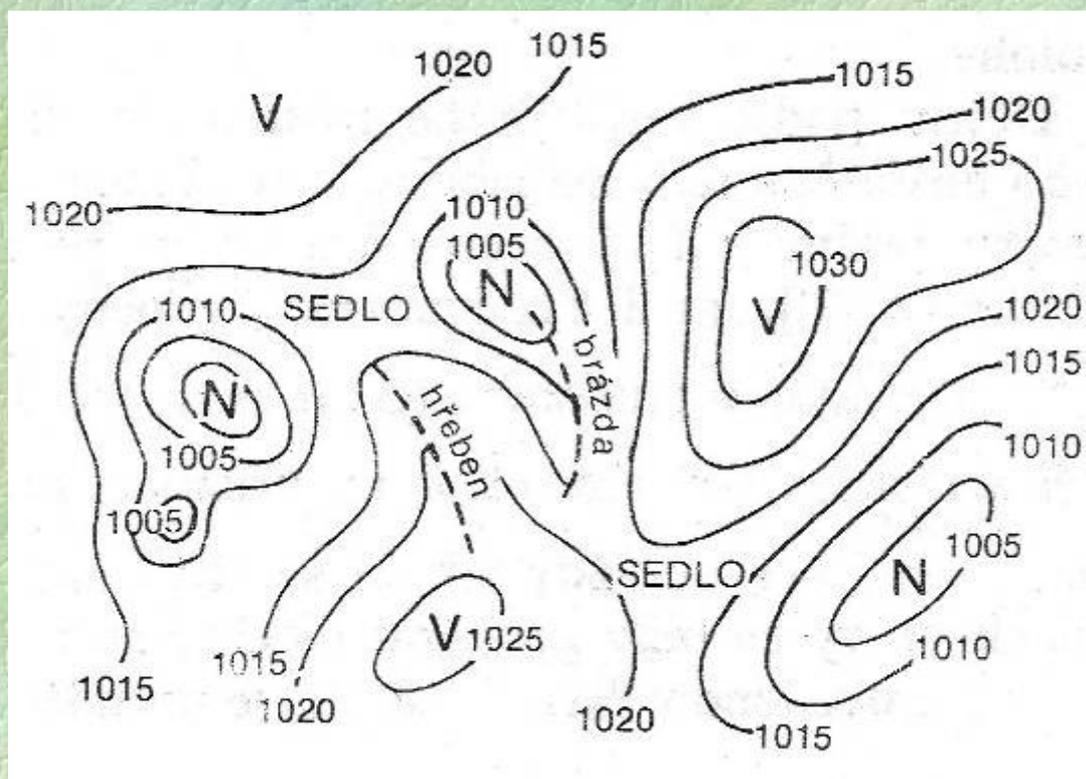
**5.3 Aneroid barometer** As air pressure varies, the diaphragm moves up and down. This motion is transmitted mechanically to move an indicator hand along a scale.

## 5.1.2 Změna tlaku vzduchu s výškou

- pokles tlaku vzduchu s výškou, v nižších výškách velmi prudký, ve vyšších výškách pomalejší, tj. menší změna výšky v troposféře znamená významnou změnu tlaku
- vliv poklesu tlaku s výškou na člověka – kyslík se dostává do plicních tkání pomaleji, zkrácení dechu a únava (kolem 3000 m a výše)

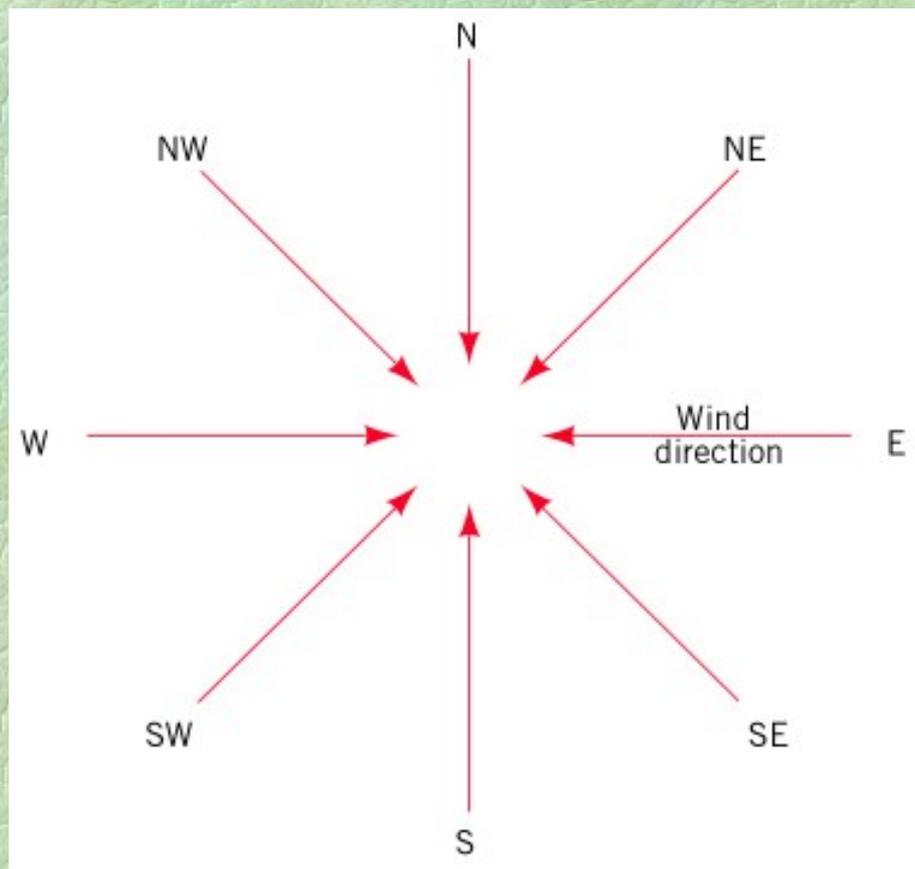


- **izobary** – čáry spojující místa se stejnou hodnotou tlaku vzduchu
- **charakteristické tlakové útvary:**
  - tlaková výše (anticyklona)** – uzavřené koncentricky uspořádané izobary s nejvyšším tlakem uprostřed
  - tlaková níže (cyklona)** – uzavřené koncentricky uspořádané izobary s nejnižším tlakem uprostřed
  - hřeben vysokého tlaku** – pásmo vyššího tlaku vybíhající z tlakové výše nebo oddělující dvě tlakové níže, nejvyšší tlak v ose hřebenu
  - brázda nízkého tlaku** – pásmo nižšího tlaku vybíhající z tlakové níže nebo oddělující dvě tlakové výše, nejnižší tlak v ose brázdy
  - barické sedlo** – část barického pole mezi dvěma protilehlými tlakovými výšemi a dvěma nížemi, příp. mezi dvěma hřebeny a dvěma brázdami

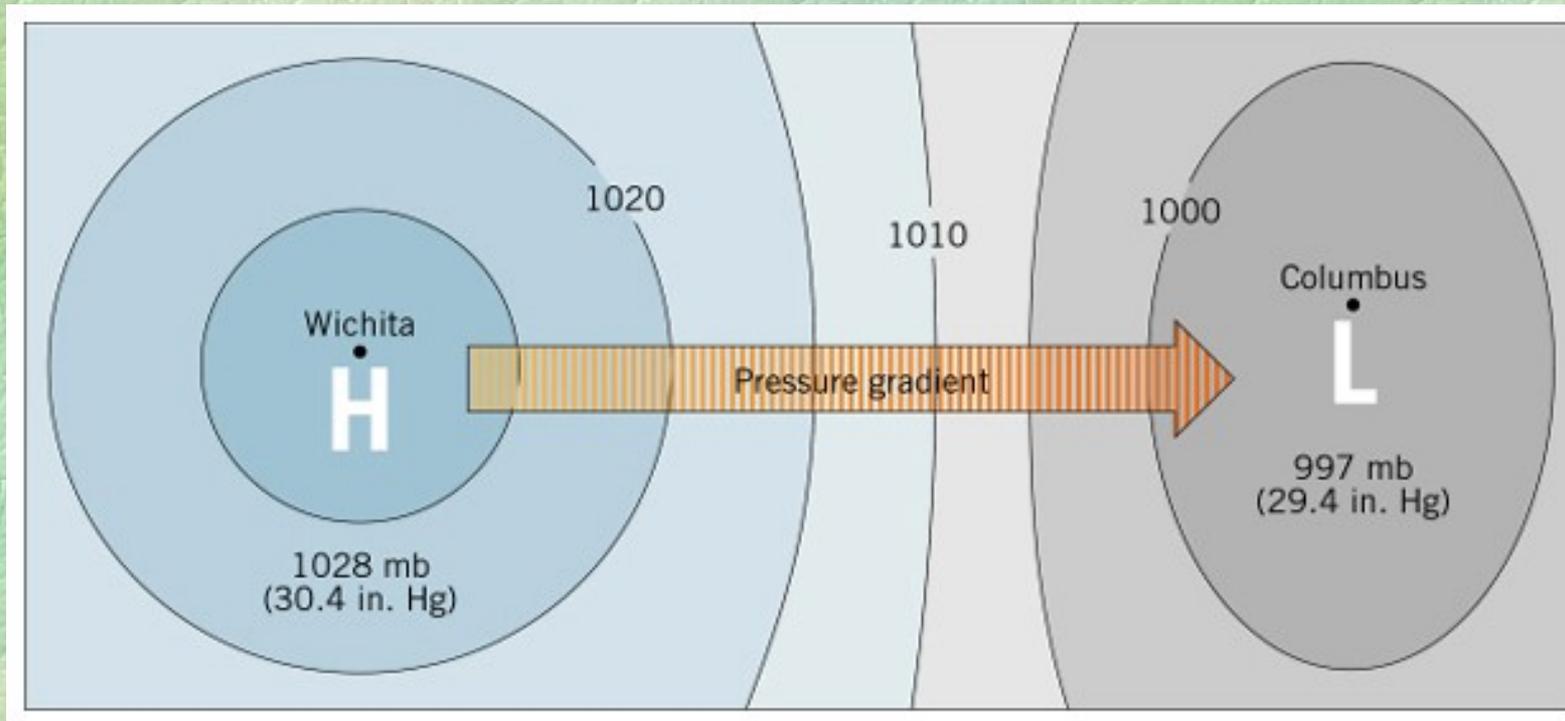


## 5.2 Větry a tlakové gradienty

- rozdíly v tlaku vzduchu jsou vyrovnávány prouděním
- **vítr** – horizontální složka proudění vzduchu
- **charakteristiky větru:**
  - a) **směr větru** – směr, odkud vítr vane (např. západní vítr – vane od západu k východu); měřen větrnou směrovkou (staví se proti větru)

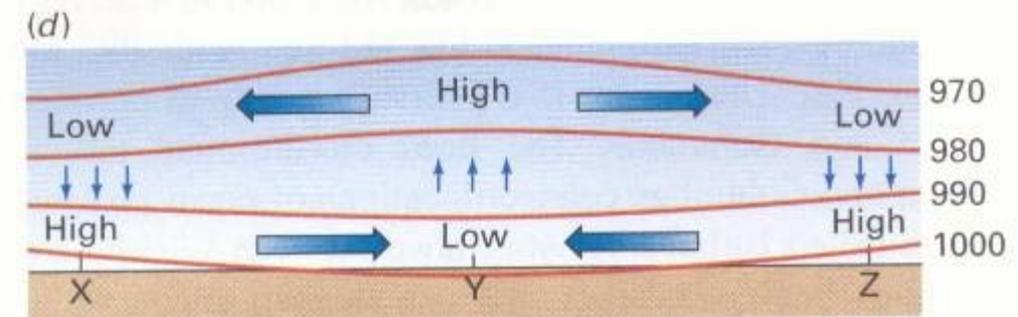
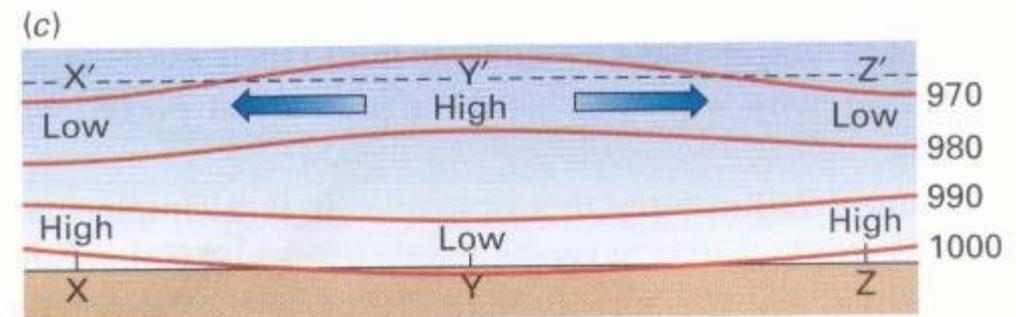
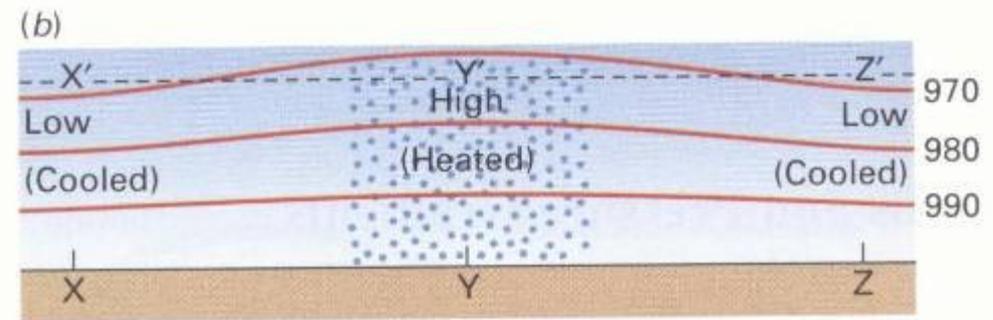
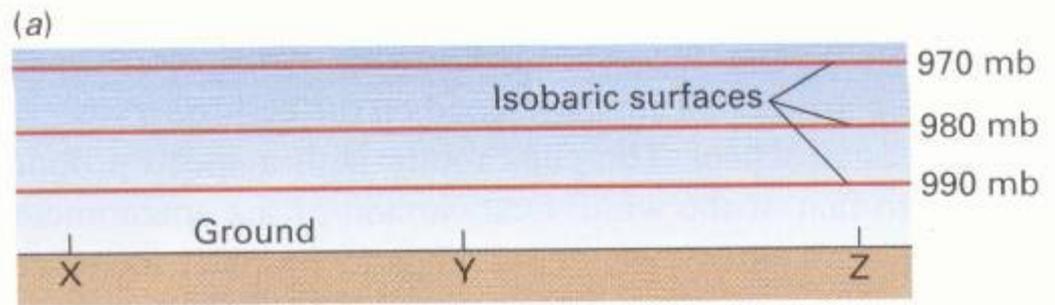


- b) rychlost větru** ( $\text{m.s}^{-1}$ ,  $\text{km.h}^{-1}$ ) – měřena anemometrem (počet otáček Robinsonova kříže je proporcionální rychlosti větru)
- vítr je vyvolán tlakovými rozdíly mezi dvěma místy a směřuje z oblasti vyššího tlaku vzduchu do oblasti nižšího tlaku vzduchu (tj. ve směru **síly horizontálního tlakového gradientu**)



## 5.2.1 Konvekční buňka

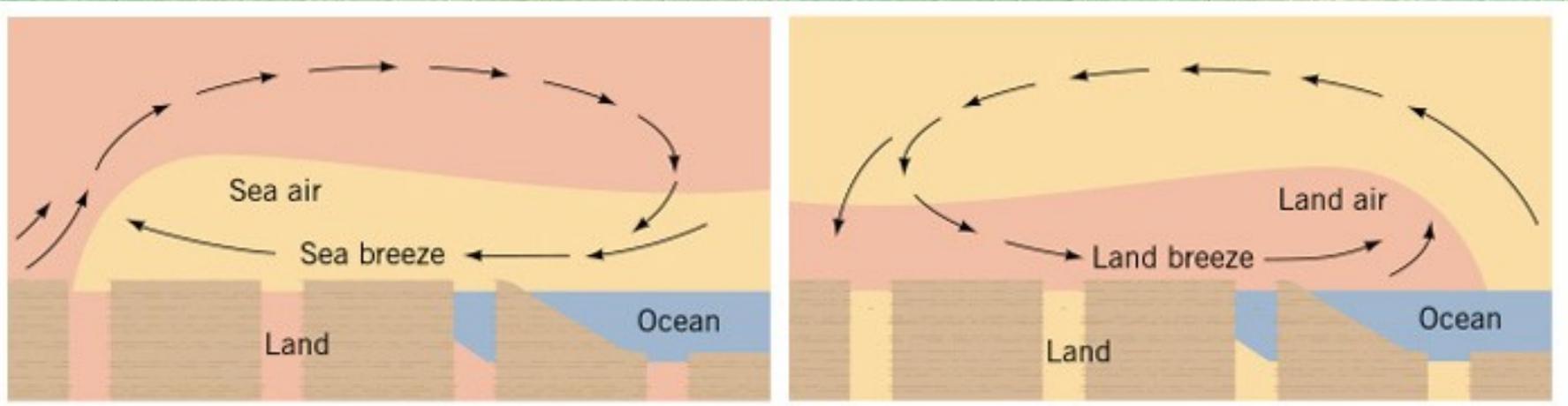
- tlakové rozdíly jsou podmíněny nesterjním zahříváním povrchu → teplotní diference → teplý vzduch má menší hustotu než studený
- v teplém vzduchu se izobarické plochy od sebe vzdalují

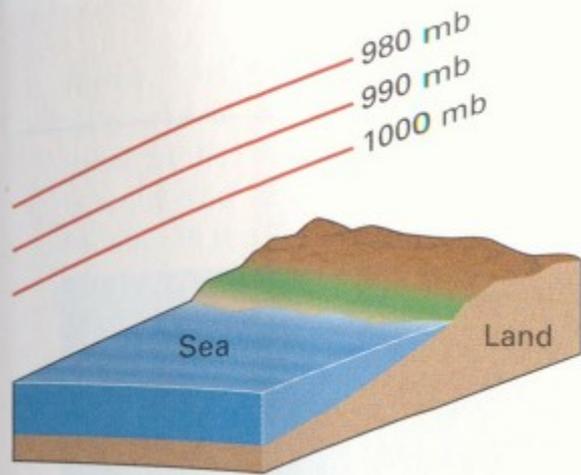


- **Místní cirkulační systémy** – rozdíly v energetické bilanci aktivního povrchu (změny fyzikálních vlastností AP, utváření reliéfu), změna orientace mezi dnem a nocí, vzhledem k rozměru a malé rychlosti se projevuje uchylující síla zemské rotace méně – vzduch protíná izobary (izohypsy)

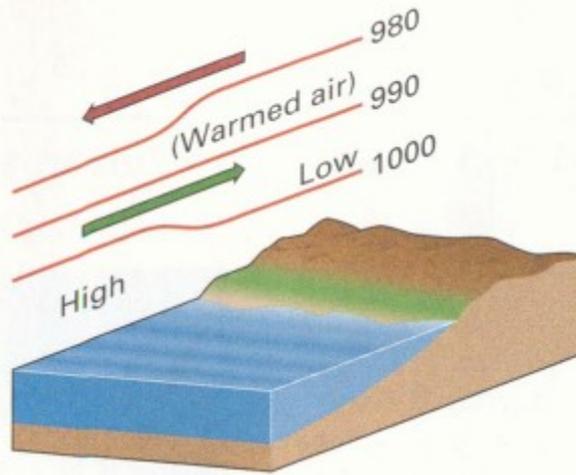
### 5.2.1.1 Brízová cirkulace

- pobřežní vánky (brízy) vanou mezi mořem a pobřežím v létě jako důsledek nestejnomyerného zahřívání vody a souše, které mění směr tlakového gradientu
- **mořský vánek** – odpoledne vane chladnější vzduch z moře na pevninu
- **pevninský vánek** – vane v noci z pevniny na moře

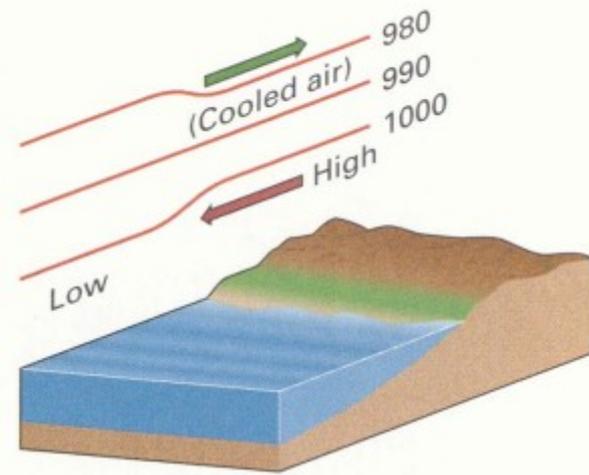




(a) Early morning—calm



(b) Afternoon—sea breeze



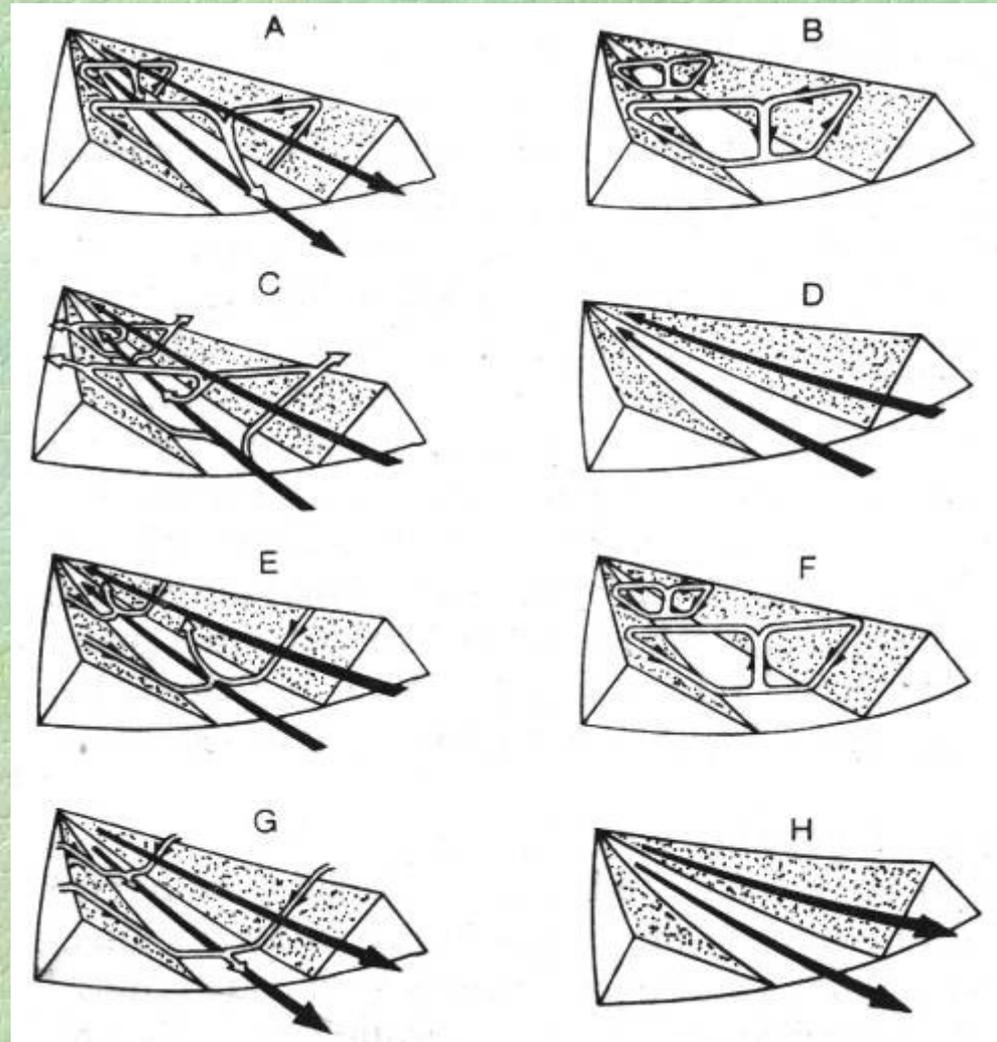
(c) Night—land breeze

**5.9 Sea and land breezes** The contrast between the land surface, which heats and cools rapidly, and the ocean surface, which has a more uniform temperature, induces pressure gradients to create sea and land breezes.

## 5.2.1.2 Údolní a horské větry

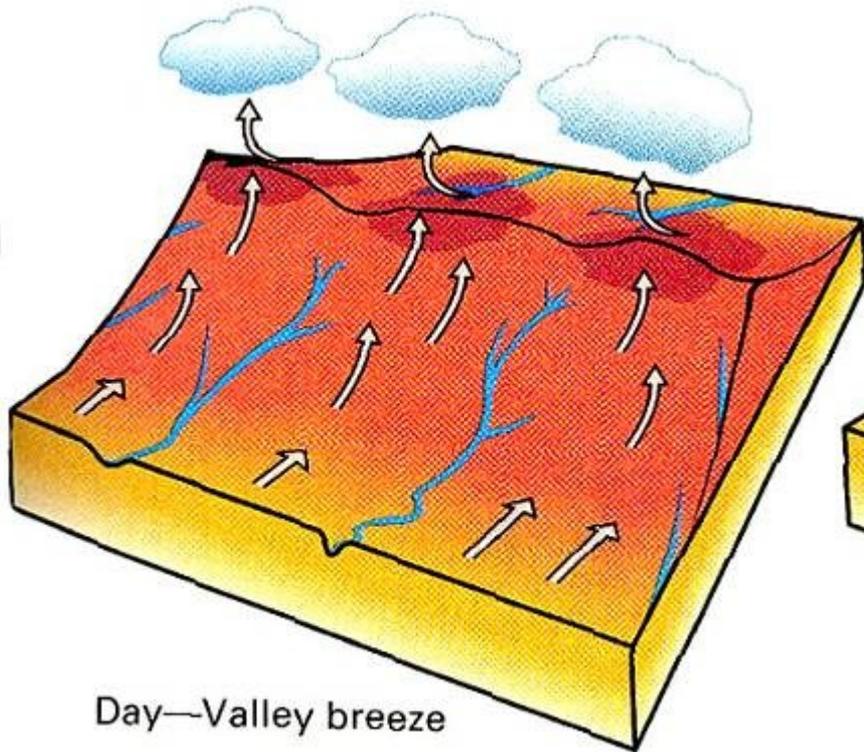
a) **horské a údolní větry** (součást podélné cirkulace v údolích) – během dne stoupá zahřátý vzduch údolními nahoru (**údolní vítr**), v noci tudy naopak stéká studený vzduch (**horský vítr**); kombinují se s příčnou cirkulací v údolích na svazích (ve dne výstup vzduchu po zahřátých svazích nahoru, v noci stékání ochlazeného vzduchu)

b) **katabatické větry** – studený vzduch stéká gravitací z vyšších poloh do nižších (např. ledovcový vítr)

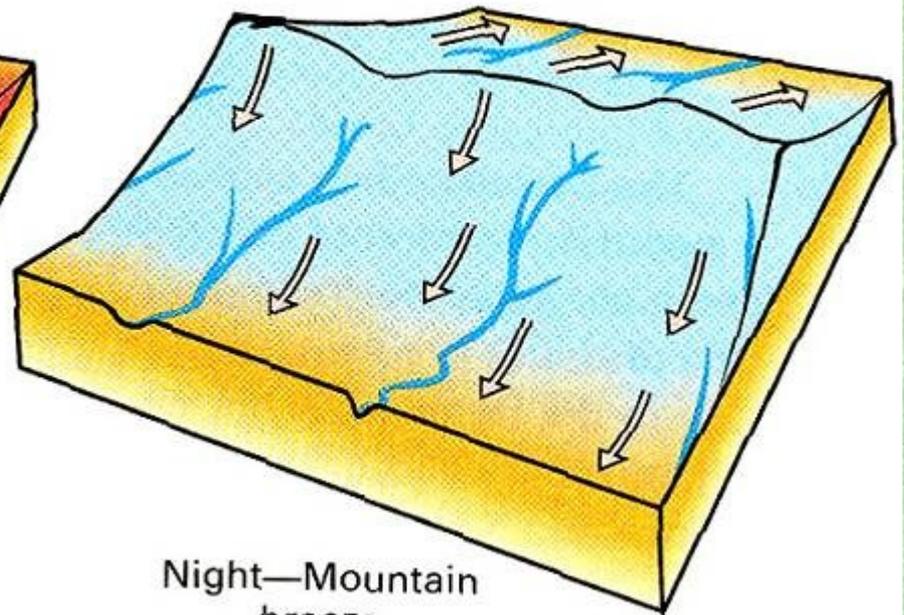


A – ráno, B – dopoledne, C – poledne a po poledni, D – pozdní odpoledne, E – večer, F – počátek noci, G – noc, H – konec noci, počátek ozáření Sluncem

# Údolní a horské větry



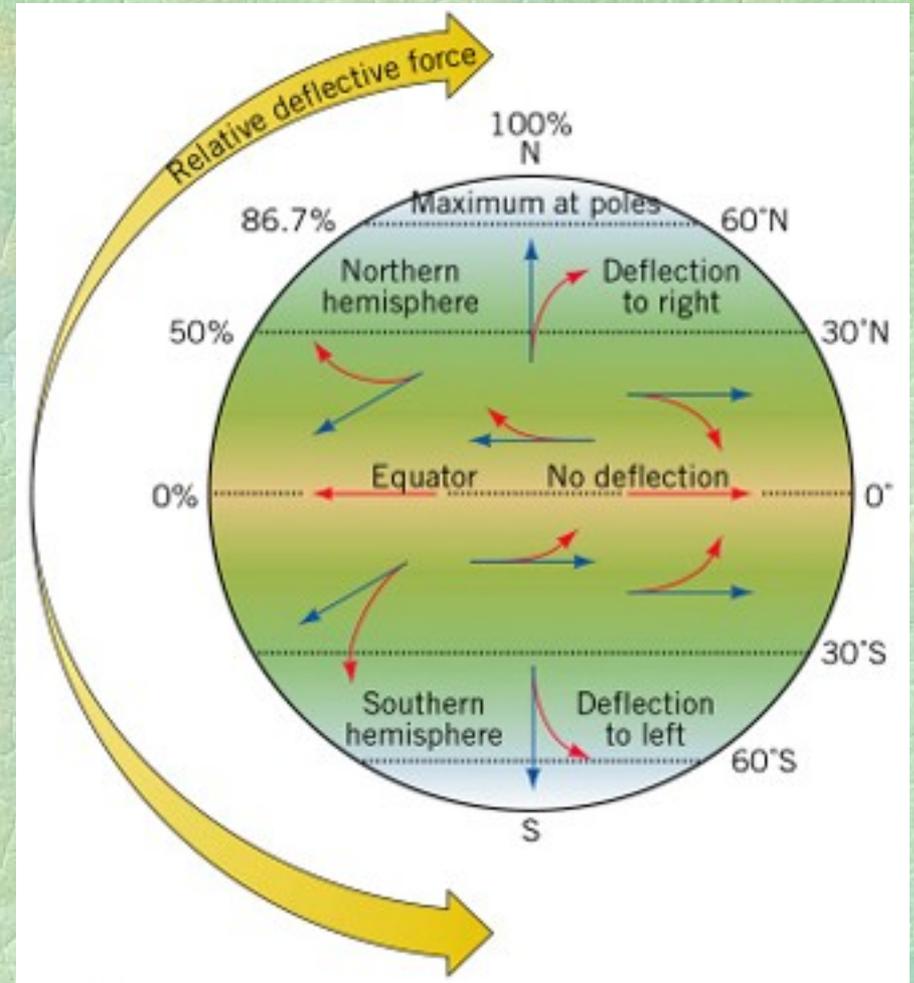
Day—Valley breeze



Night—Mountain breeze

## 5.2.2 Coriolisova síla a vítr

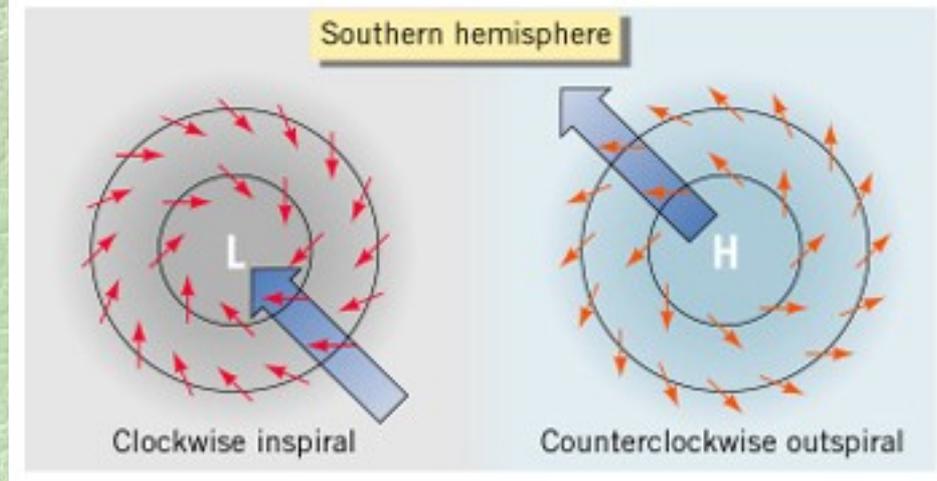
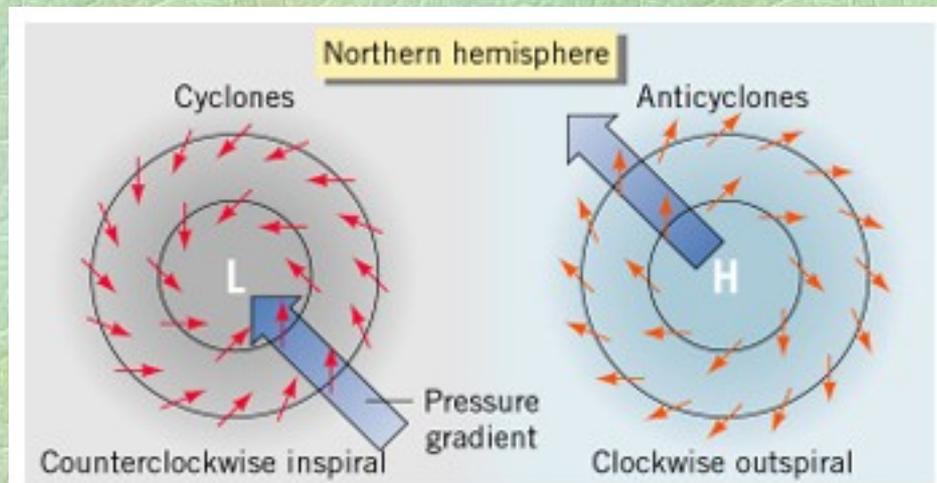
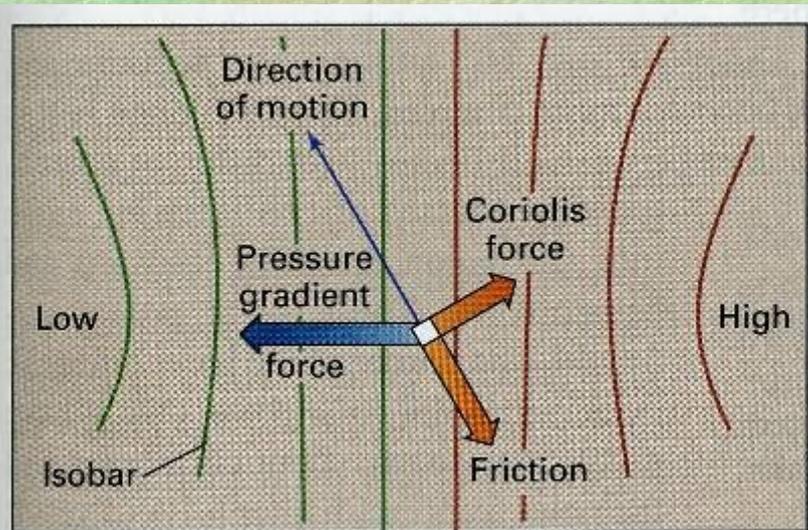
- pro větší větrné systémy se **směr pohybu odchyluje od směru horizontálního tlakového gradientu** díky Coriolisově síle
- **Coriolisova síla**, plynoucí z rotace Země (též uchylující síla zemské rotace), způsobuje na severní polokouli stáčení pohybujících se těles doprava, na jižní polokouli doleva (od směru pohybu) – je nulová na rovníku a roste s rostoucí zeměpisnou šířkou
- vliv na proudění vzduchu a pohyb mořských proudů



### 5.2.3 Cyklony a anticyklony

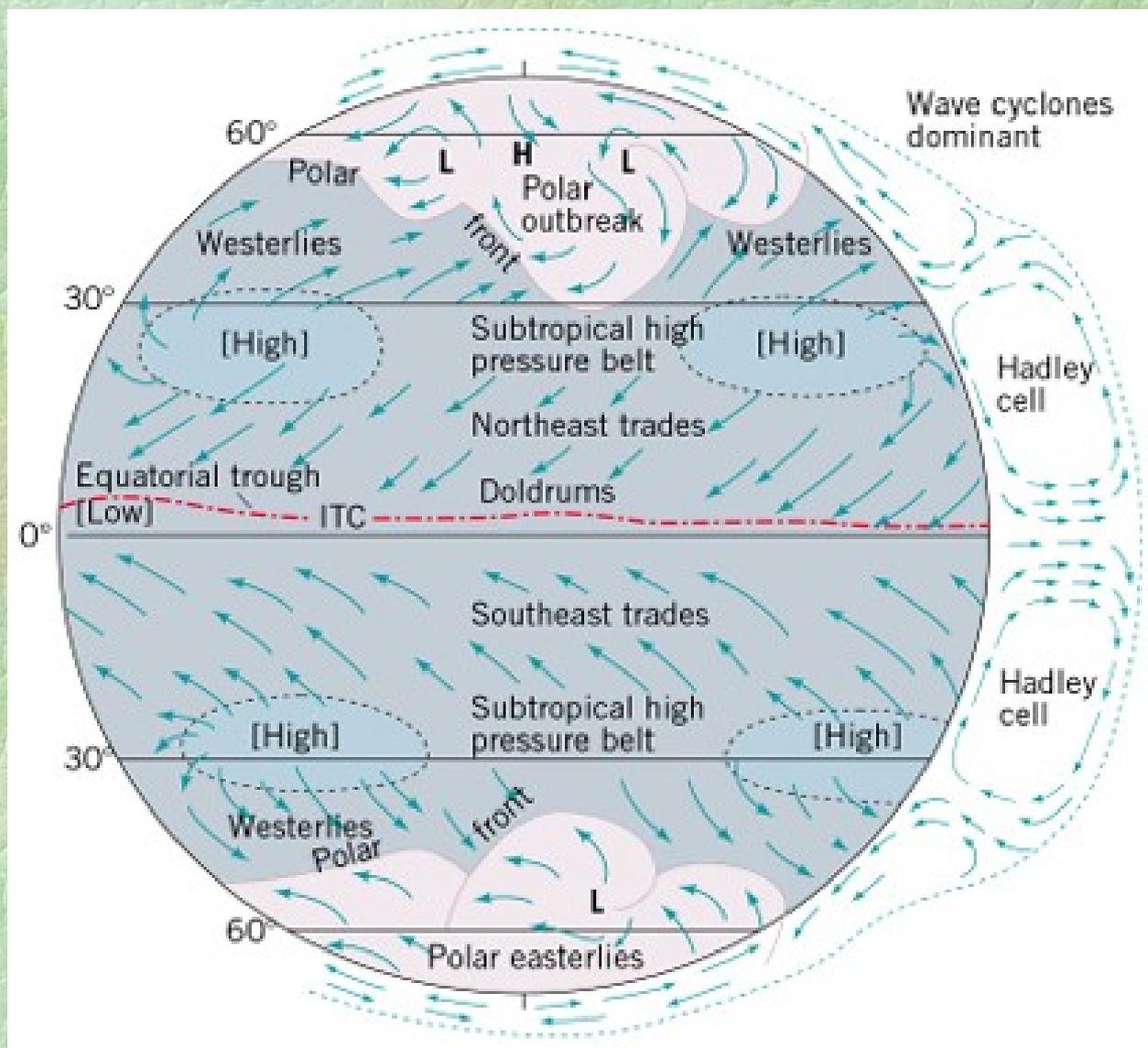
- proudění vzduchu je ovlivňováno následujícími sílami:
  - a) **sílu horizontálního tlakového gradientu**
  - b) **Coriolisovou sílu**
  - c) **sílu tření** – proti směru pohybu
  - d) **odstředivou sílu** – při pohybu po křivočaré trajektorii
- jejich působením se vzduch pohybuje na stranu nižšího tlaku vzduchu a je odchýlen o určitý úhel od směru horizontálního tlakového gradientu

- **cyklona** (oblast nízkého tlaku vzduchu) – vzduch natéká proti směru pohybu ručiček hodinových dovnitř a v centru vystupuje nahoru (oblačno, deštivo)
- **anticyklona** (oblast vysokého tlaku vzduchu) – vzduch klesá v centru a vytéká ve směru pohybu ručiček hodinových ven (jasné počasí)
- cyklony a anticyklony mají rozměry stovek až tisíců km, mohou být stacionární nebo pohyblivé



## 5.2.4 Proudění na ideální Zemi

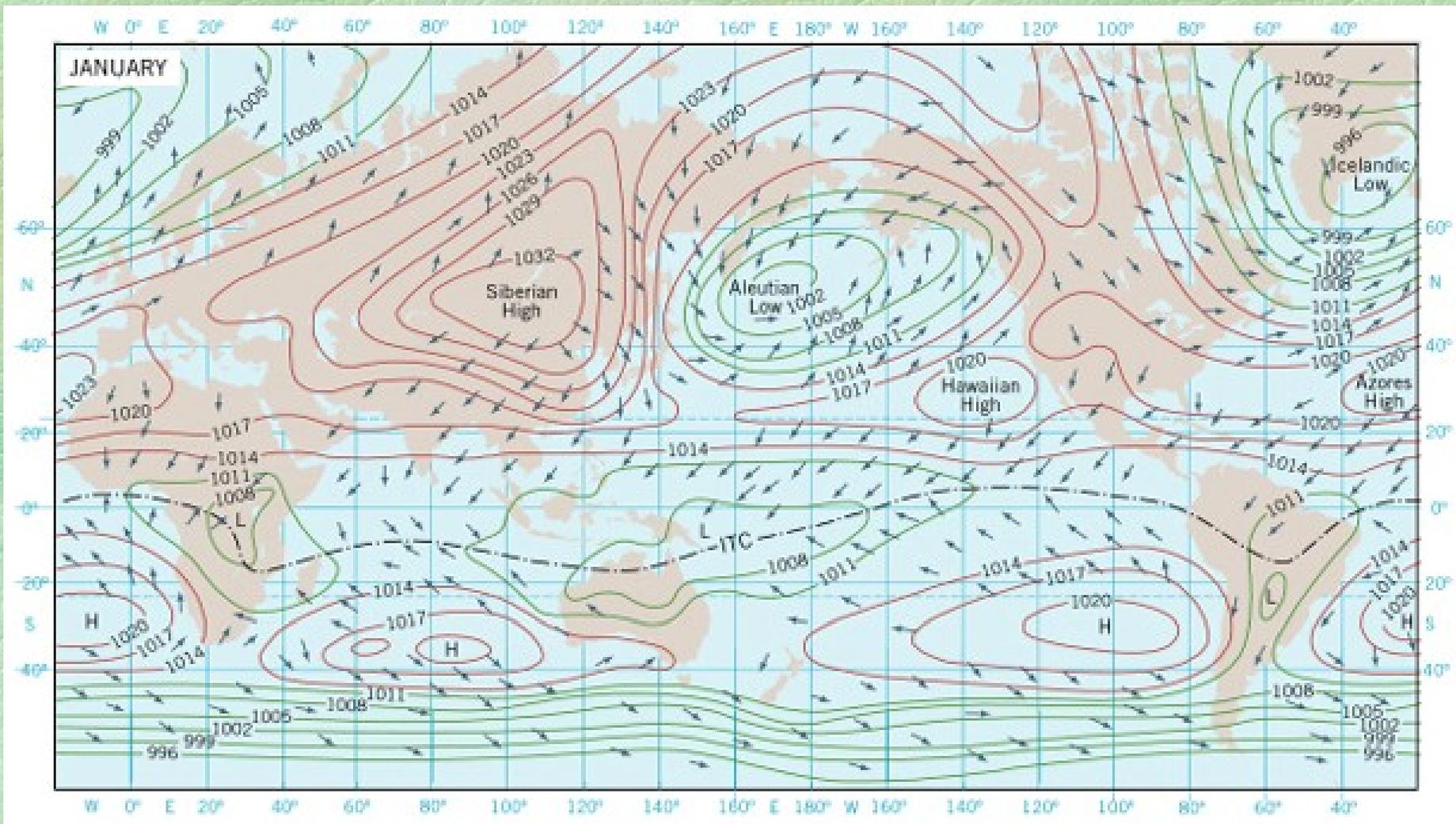
- ideální Země – homogenní povrch, bez sezónních změn



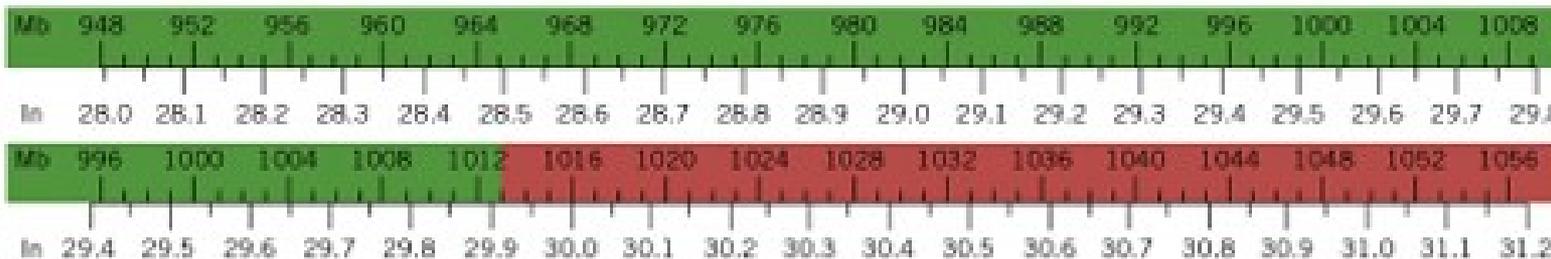
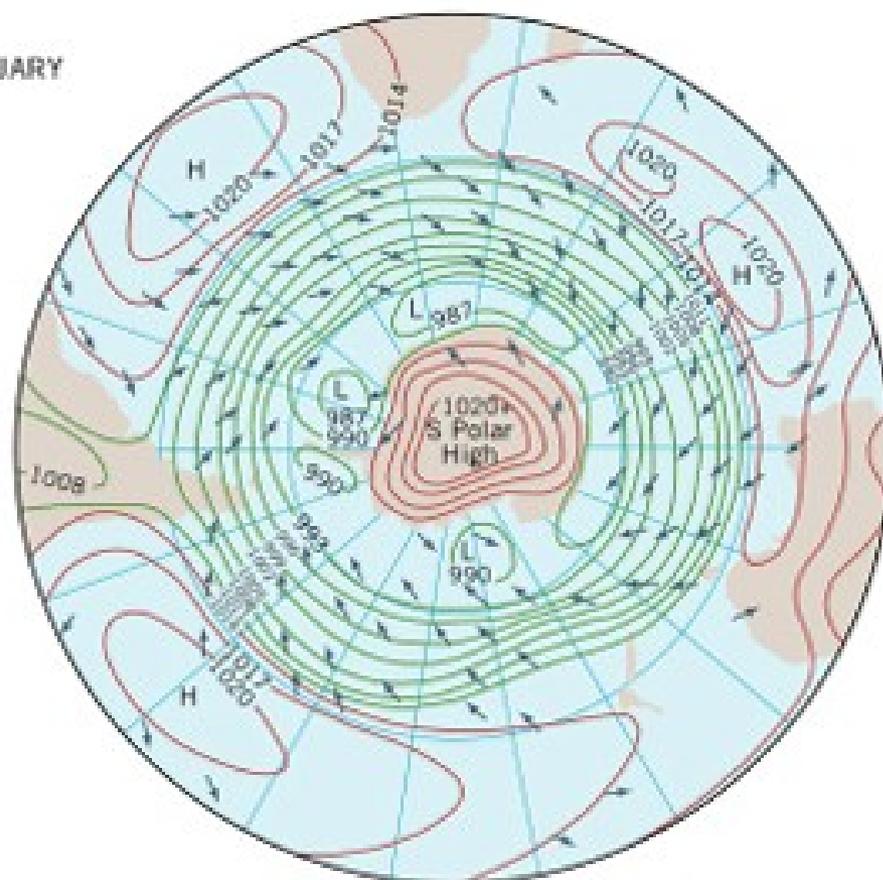
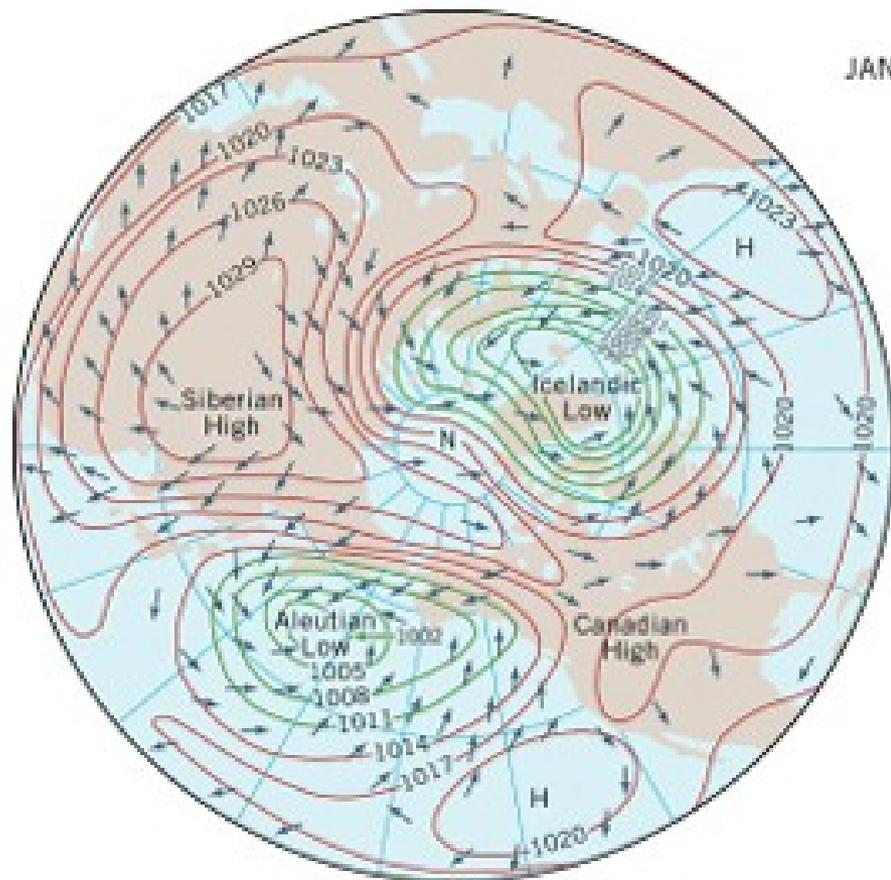
- **Hadleyho buňka** – zahřátý vzduch vystupuje na rovníku, odtéká k pólům a klesá asi na 30° z.š.
- **tropická zóna konvergence** – pásmo nízkého tlaku vzduchu, kde se střetávají pasáty obou polokoulí (pásmo rovníkových tišin)
- **subtropické pásmo vysokého tlaku vzduchu** – sestupné pohyby, 2-4 velké a stabilní anticyklony, slabé větry, časté bezvětrí – tzv. koňské šířky (převoz koní z Nového Skotska do Západní Indie)
- ze subtropického pásma vysokého tlaku vzduchu vytékají větry směrem k rovníku (**pasáty** – severovýchodní resp. jihovýchodní větry) a směrem k pólům (jihozápadní resp. severozápadní větry)
- pásmo 30-60° z.š. má složitější cirkulaci – vpády studeného a suchého vzduchu z vyšších šířek (**polární fronta**) – proměnlivost tlaku a větrů (v průměru převládá **západní proudění**)
- na pólech vysoký tlak v důsledku stále studeného vzduchu – převažuje **východní proudění** (v Arktidě toto proudění často narušováno)

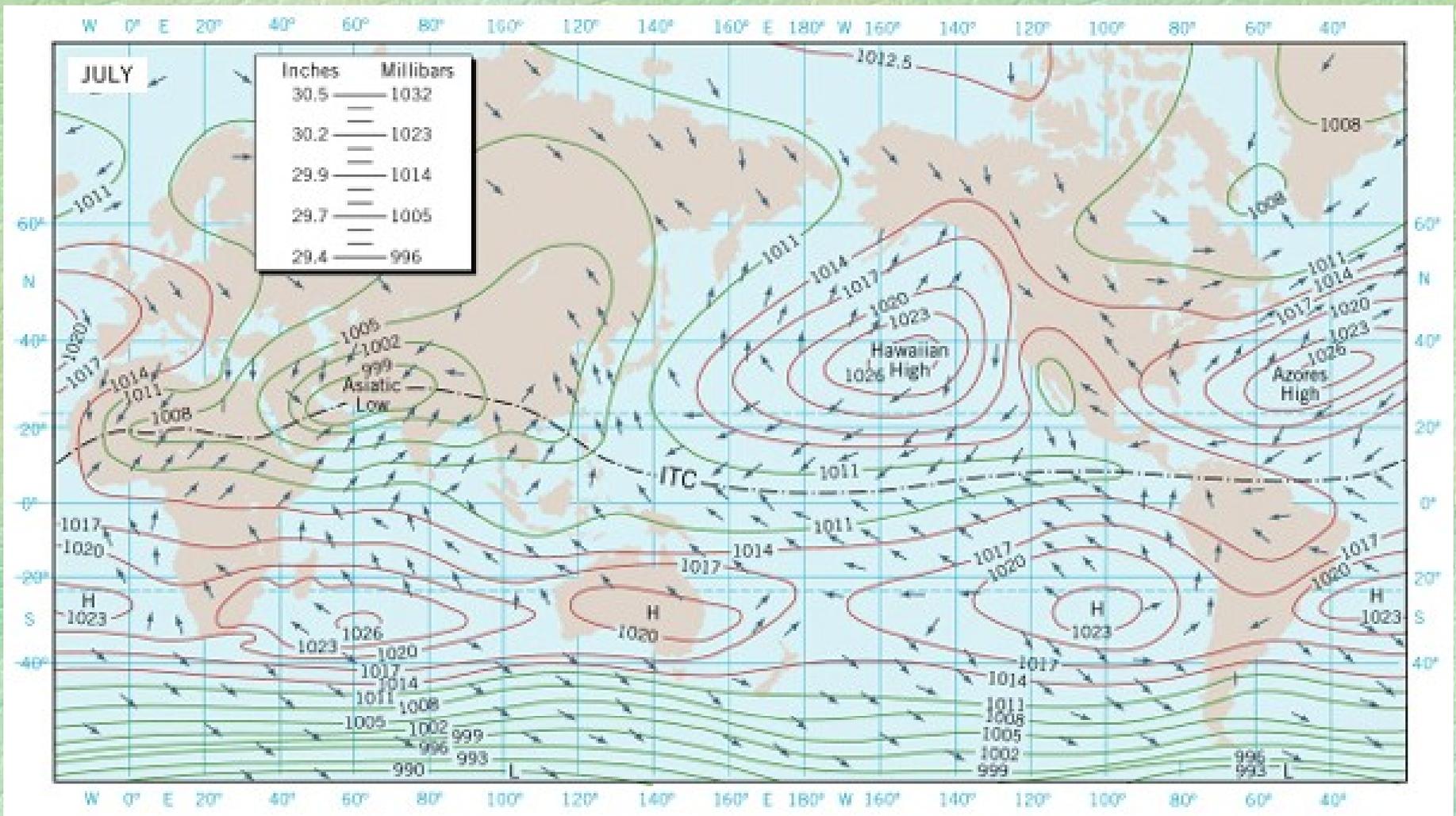
## 5.3 Globální větrné a tlakové poměry

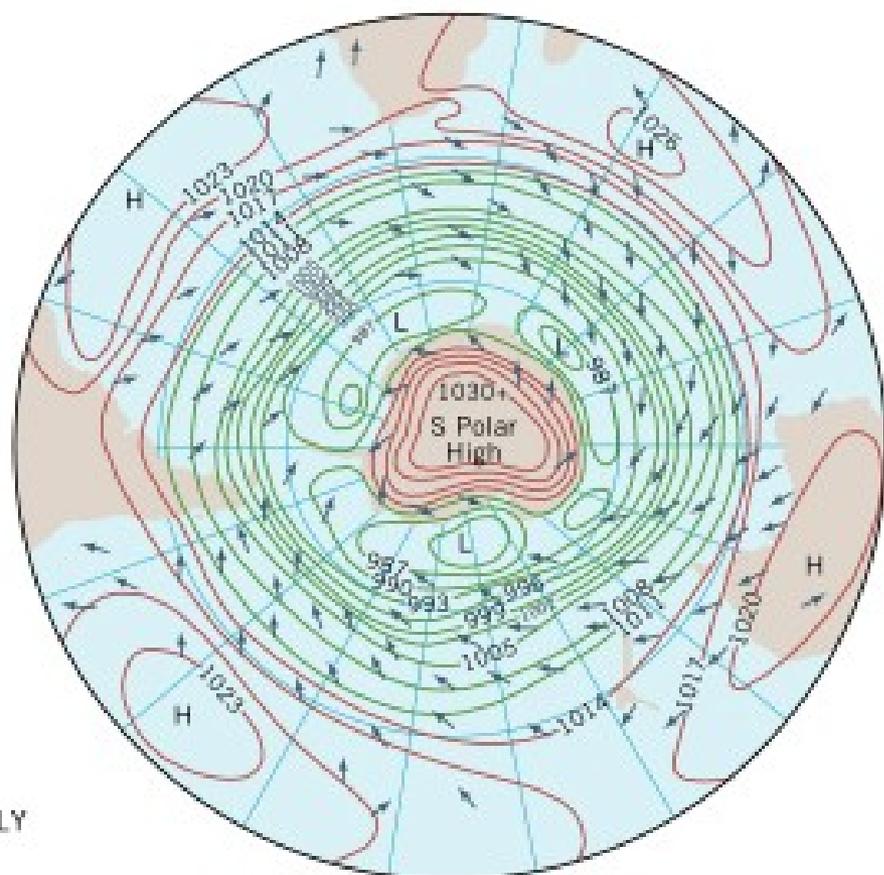
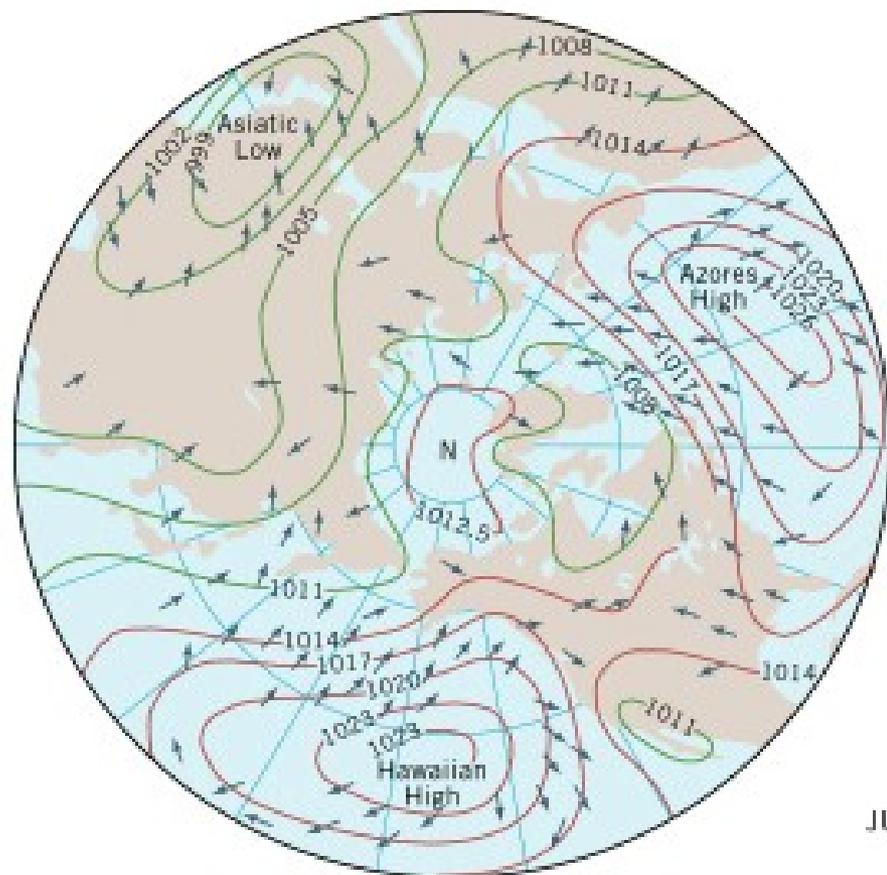
- mapy tlaku vzduchu redukovaného na hladinu moře pro leden a červenec (H – anticyklona, L – cyklona)



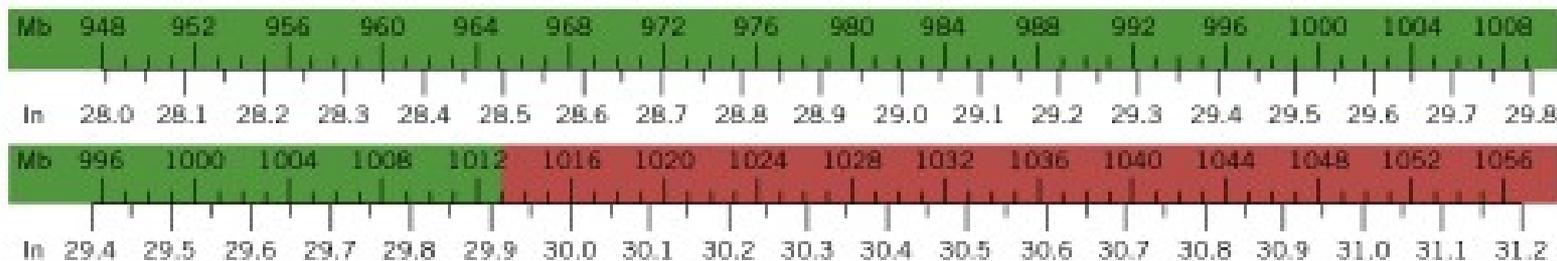
JANUARY





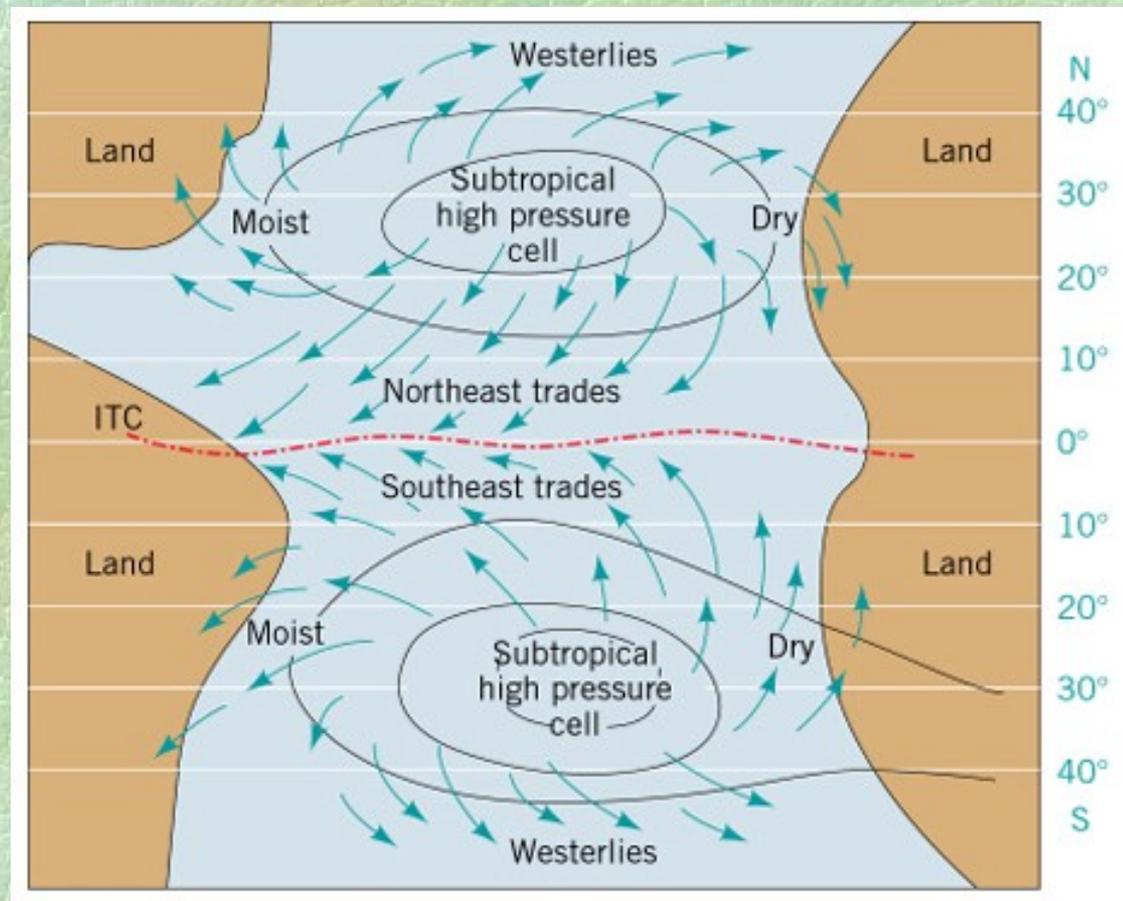


JULY



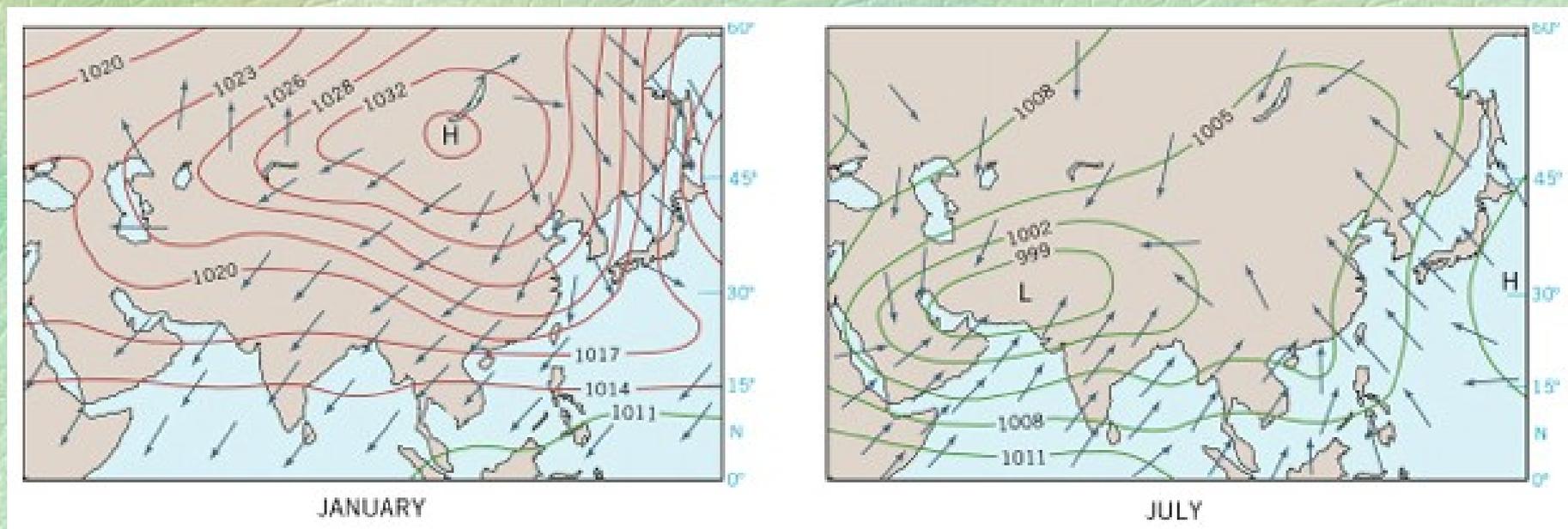
## 5.3.1 Subtropické pásmo vysokého tlaku vzduchu

- na jižní polokouli nad oceány tři velké oblasti vysokého tlaku vzduchu po celý rok, v červenci další nad Austrálií (ochlazení pevniny)
- na severní polokouli dvě velké anticyklony nad oceány – **Azorská** nad Atlantským a **Havajská** nad Tichým oceánem, zesilují od ledna k červenci a posouvají se více k severu
- východní část anticyklon sušší (intenzivnější subsidence), západní vlhčí (slabší subsidence, vzduch putující nad oceány se sytí vlhkostí)



## 5.3.2 Tropická zóna konvergence (TZK) a monzunová cirkulace

- TZK se meridionálně posunuje až o 40 šířkových stupňů během roku
- v oblasti Asie je zimní Sibiřská anticyklona vystřídání letní Asijskou (Iránskou) níží, což má vliv na vznik monzunů:
  - a) **zimní monzun** – přívod suchého a chladnějšího vzduchu ze severu
  - b) **letní monzun** – teplý a vlhký vzduch z Indického oceánu jde na sever a severozápad do Asie (velké srážky v jihovýchodní Asii)

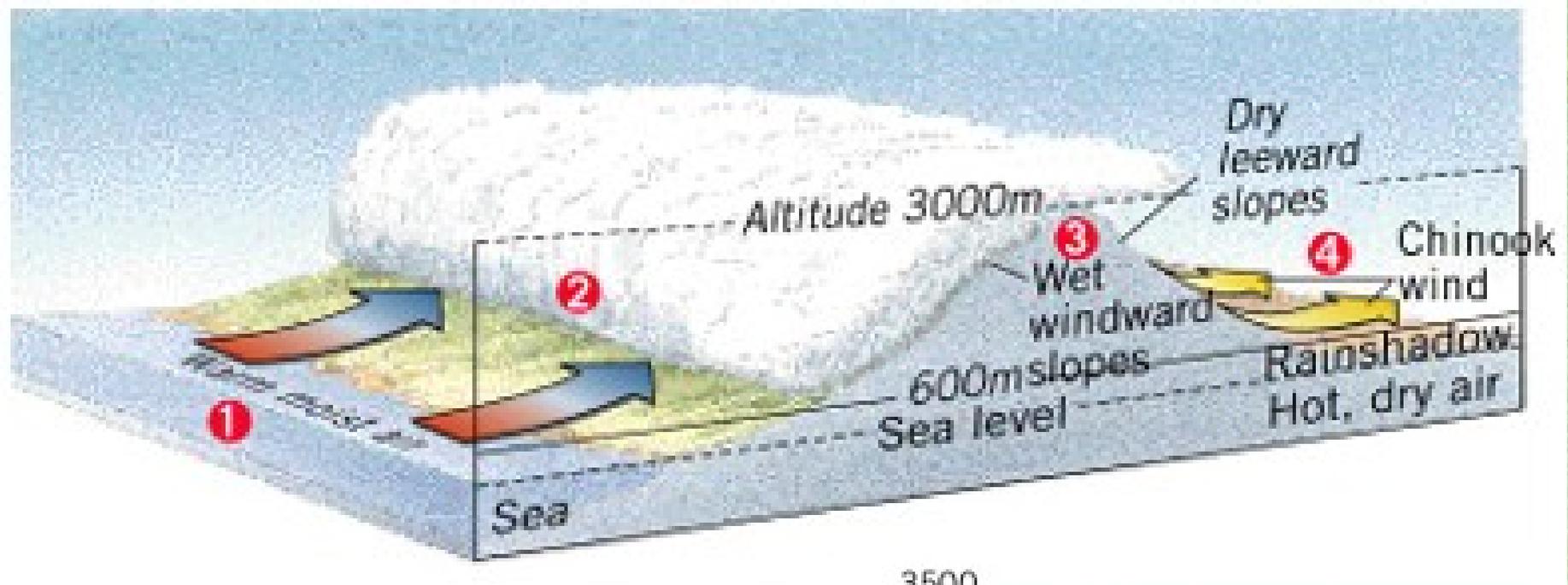


### 5.3.3 Proudění a tlak ve vyšších zeměpisných šířkách

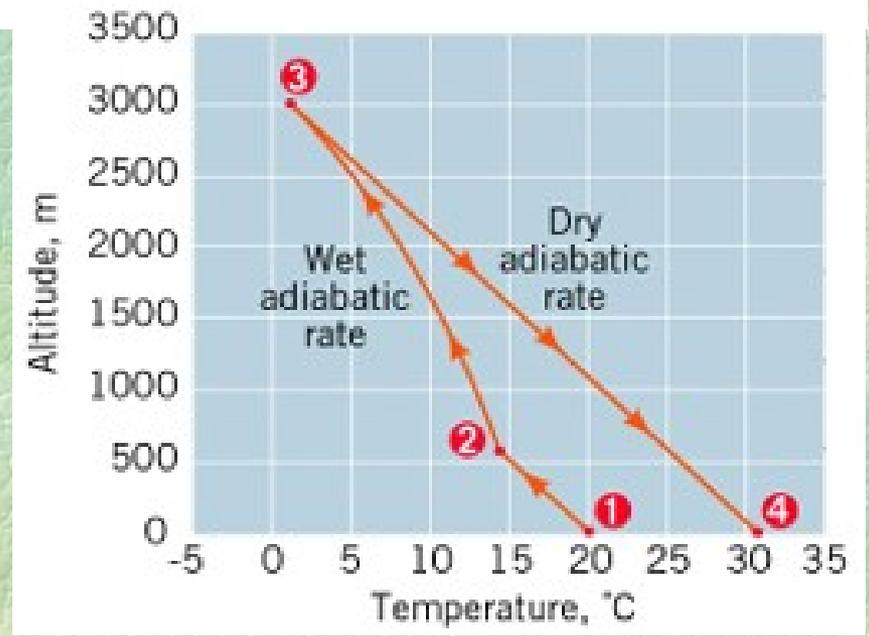
- výrazné rozdíly v rozložení pevnin a oceánů na obou polokoulích ovlivňují tvorbu tlakových center
- na severní polokouli v zimě nad pevninou Sibiřská a Kanadská anticyklona (chladný vzduch k jihu), nad oceány Islandská a Aleutská níže spíše jako oblasti v průměru nižšího tlaku vzduchu
- na severní polokouli v létě nižší tlak na kontinentech, výrazná Asijská níže, Azorská a Havajská výše
- na jižní polokouli díky výrazné anticykloně nad Antarktidou, obklopené pásmem nižšího tlaku, výrazná západní cirkulace

## 5.4 Místní větry

- **místní větry** – účinek výrazného reliéfu na všeobecnou cirkulaci atmosféry:
  - a) fén (föhn)** – suchý, teplý, padavý vítr vanoucí na závětrné straně horských překážek (princip viz 4.5.2); pól fénů – povodí řeky Rioni (Gruzie) – 114 dnů s fénem za rok; za 24 hodin rozpustí více sněhu než sluneční záření za 14 dnů; *chinook* (polykač sněhu) – východní svahy Skalnatých hor v Kanadě a USA, rychlé tání sněhu (vzestup teploty až o 20 °C za 7 minut)
  - b) bóra** – přetékání studeného vzduchu přes horské překážky lemující pobřeží, nejdříve se hromadí, pak přetéká průsmyky a sedly, prudký pokles teploty (podtéká pod relativně teplý vzduch – vlnobití), výskyt: pobřeží Jadranu, oblast Novorosijska, Nová Země, Bajkal, místní názvy: údolí Rhône - mistral

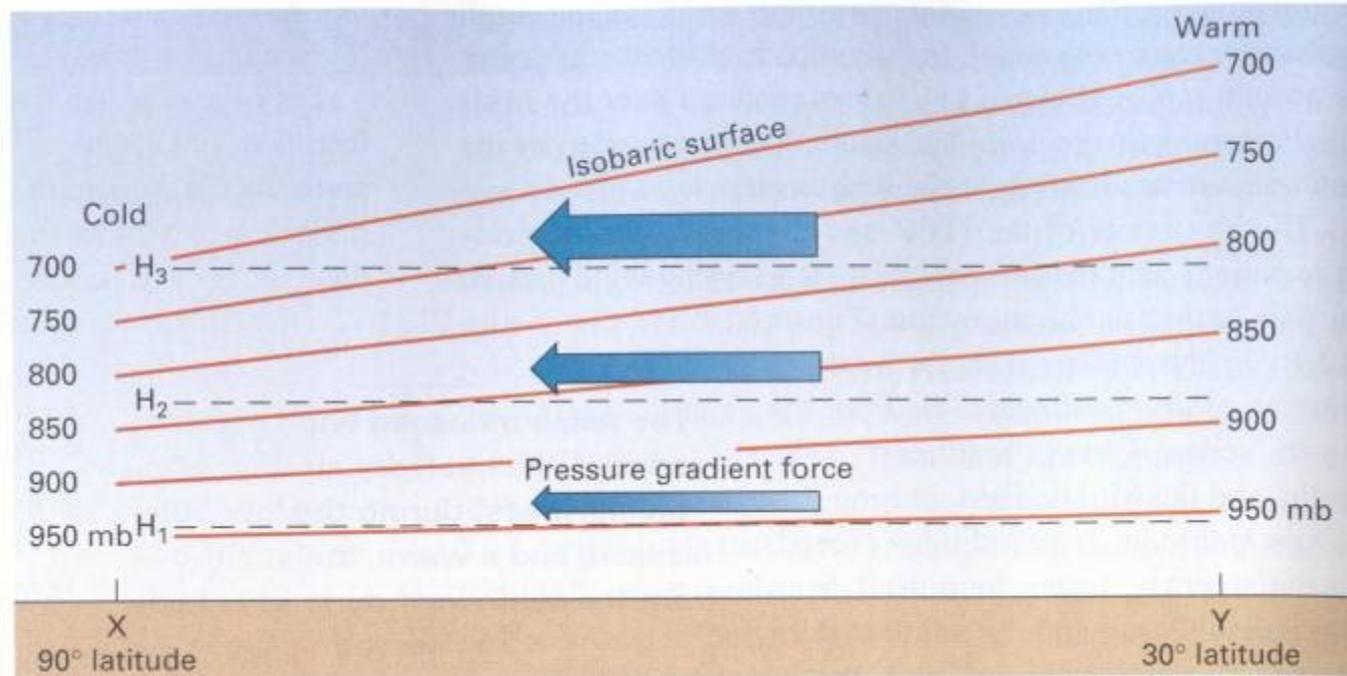


K podstatě vzniku fěnu

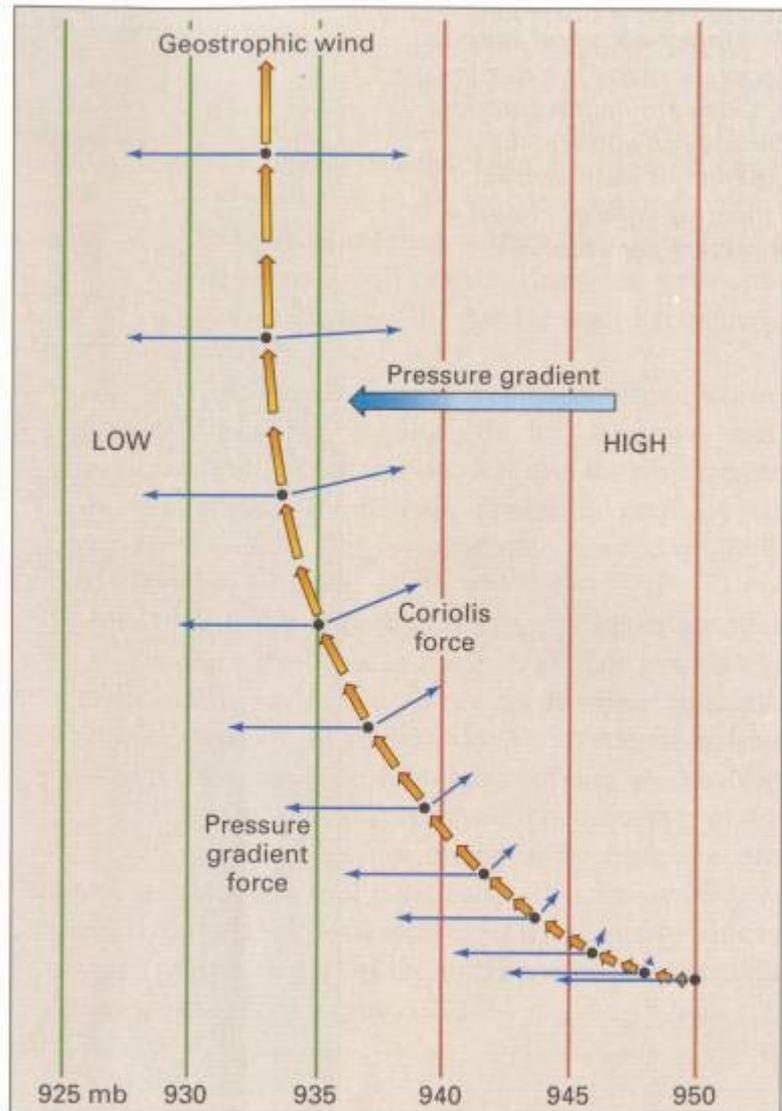
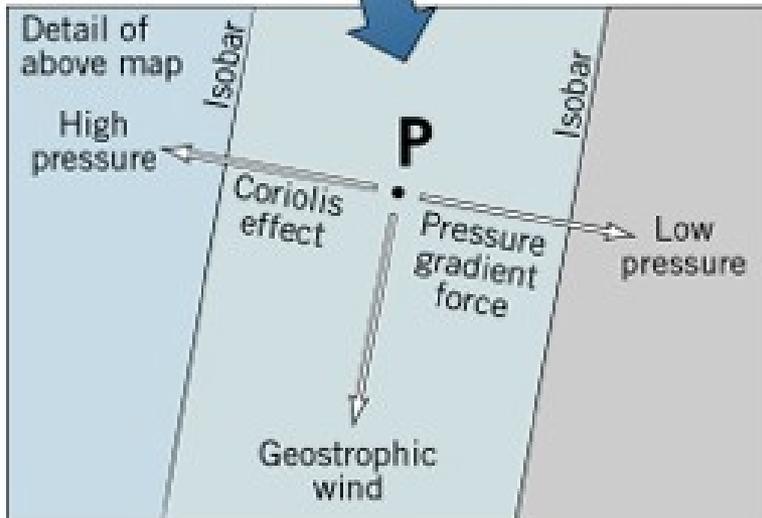
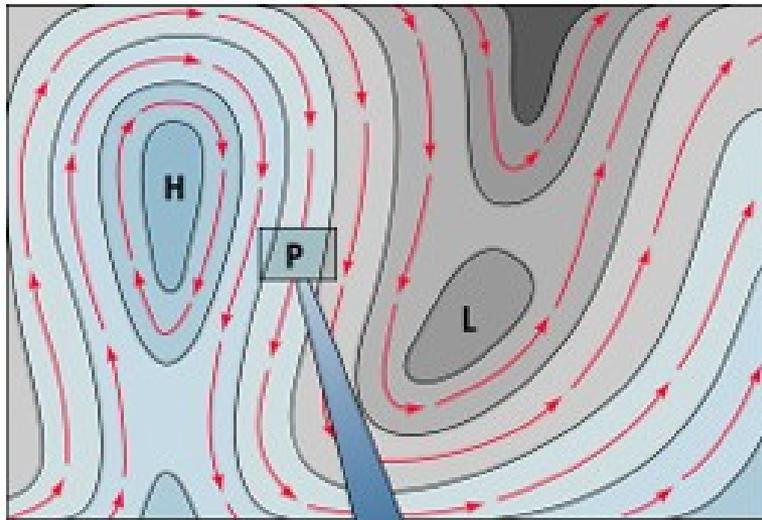


## 5.5 Větry ve výšce

**5.21 Upper-air pressure gradient** Because the atmosphere is warmer near the equator than at the poles, a pressure gradient force acts to push air poleward. The gradient force increases with altitude.



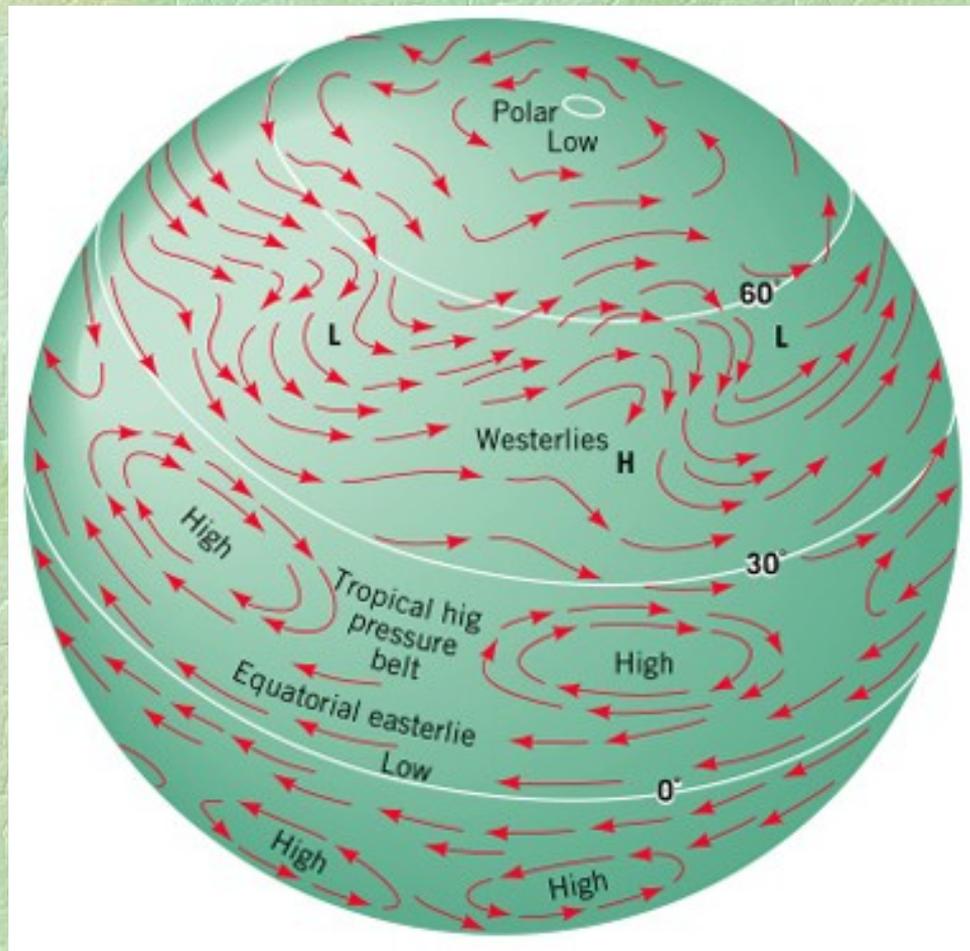
- **geostrofický vítr** (neprojevuje se vliv tření o zemský povrch) – pohyb vzduchu ve směru izohyps



**5.22 Geostrophic wind** (a) At upper levels in the atmosphere, a parcel of air is subjected to a pressure gradient force and a Coriolis force. (b) As a parcel of air moves in response to a pressure gradient, it is turned progressively sideways until the gradient force and Coriolis force balance, producing the geostrophic wind.

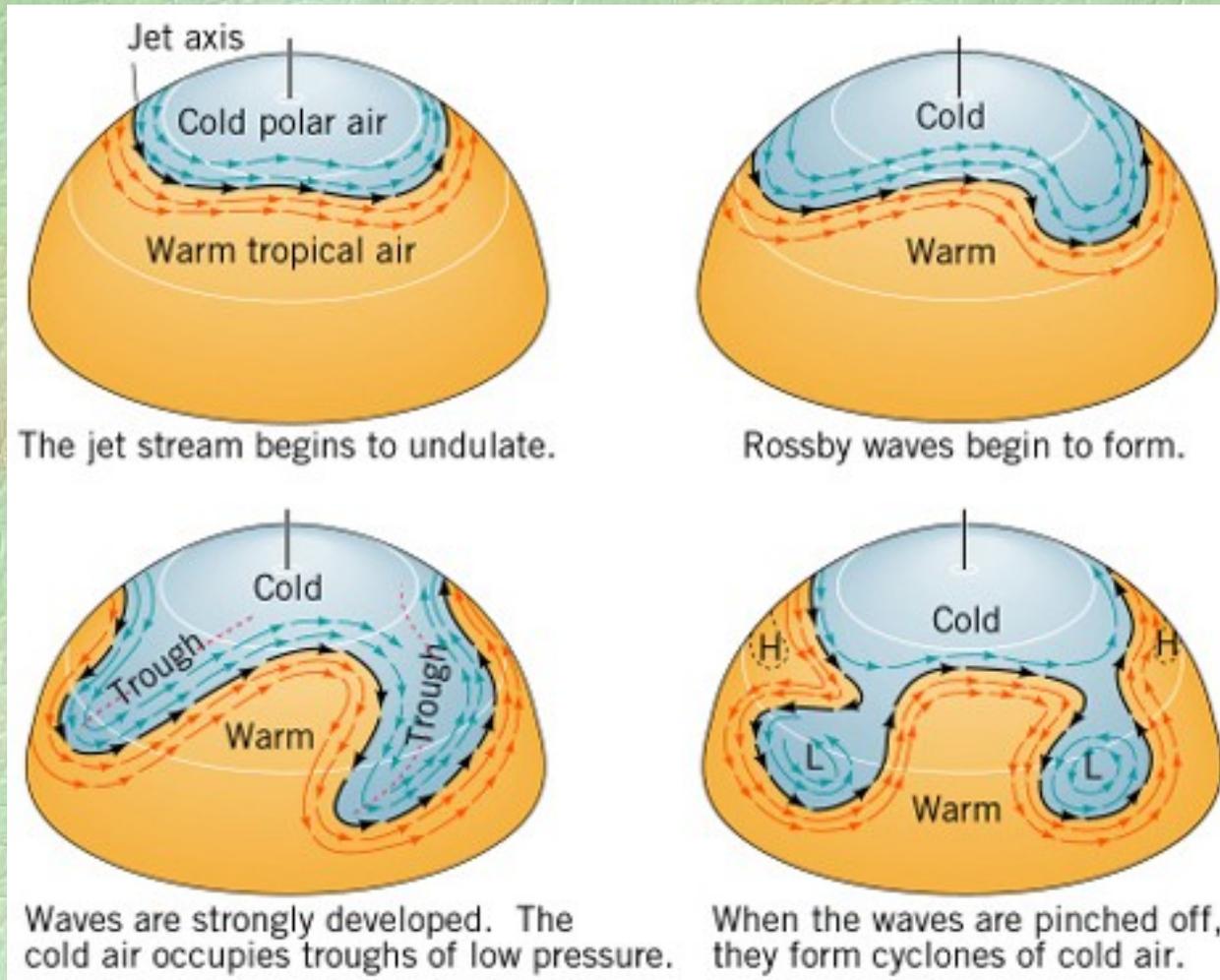
## 5.5.1 Globální cirkulace ve vyšších vrstvách atmosféry

- proudění ve vyšších vrstvách troposféry:
  - a) **západní větry** od asi 25° z.š. k pólům, kde vytváří cirkumpolární cirkulaci kolem polárních níží
  - b) **tropické pásmo vysokého tlaku** vzduchu mezi 15-20° s.š. a j.š.
  - c) **východní větry** mezi oběma tropickými pásy vysokého tlaku



## 5.5.2 Rossbyho vlny

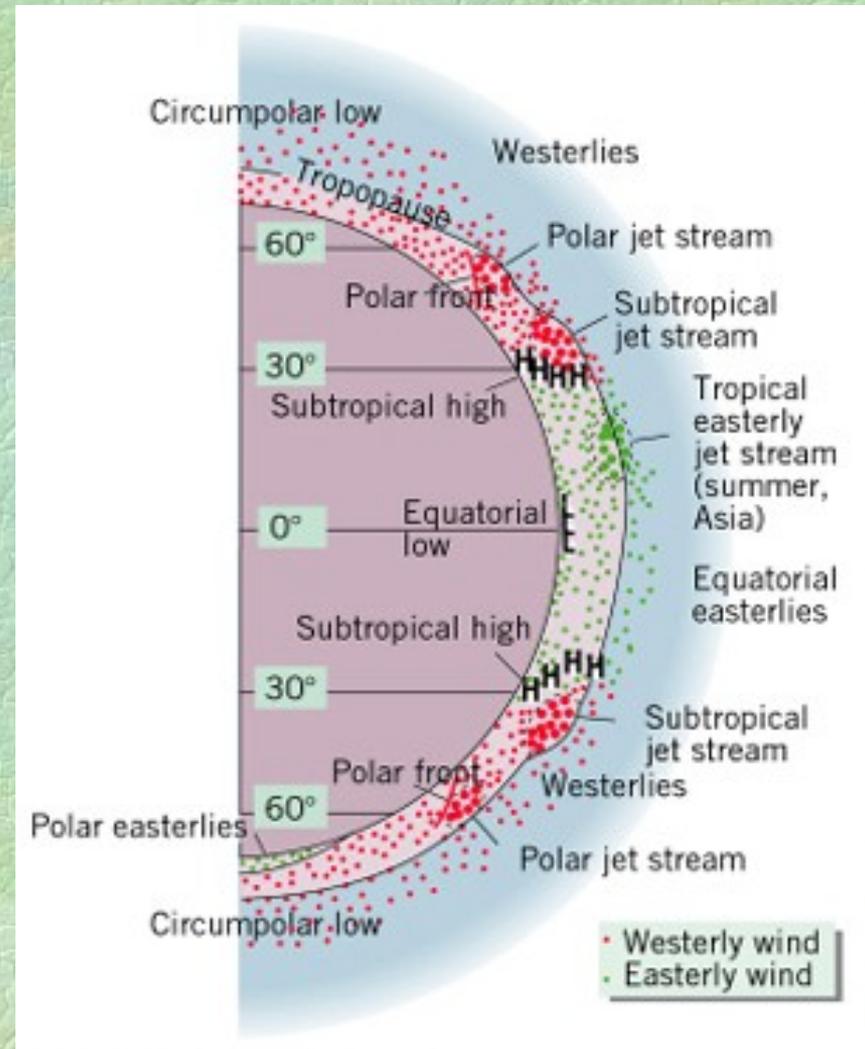
- **Rossbyho vlny** – vlny vznikající v západním výškovém proudění na severní polokouli na styku chladného polárního a teplého tropického vzduchu

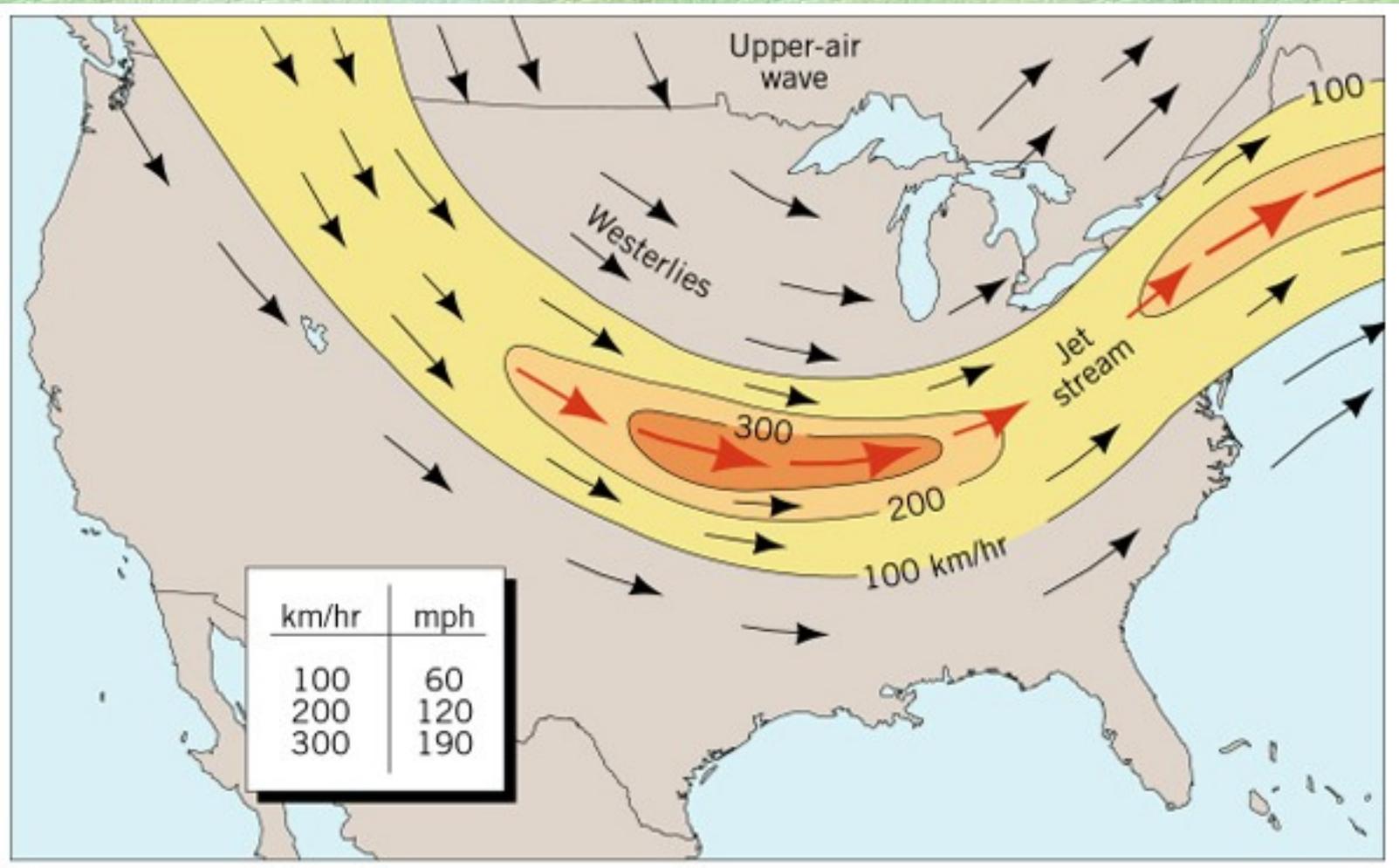


### 5.5.3 “Jet streamy” (trysková proudění)

- **jet stream** – úzké zóny ve vyšších vrstvách atmosféry, kde proudění dosahuje velmi vysoké rychlosti (při velkých teplotních gradientech), maximální rychlost klesá od centra k okrajům:

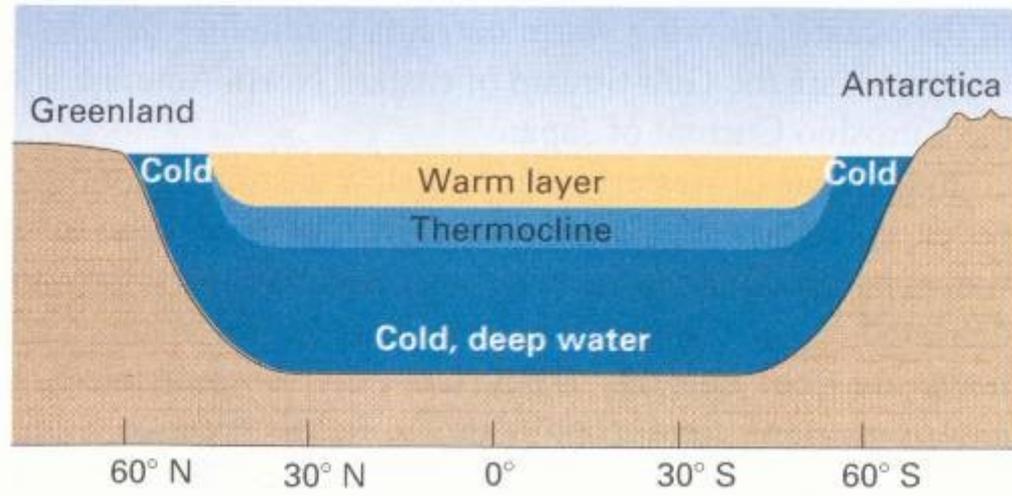
- polární jet stream** – mezi 35-65° z.š. obou polokoulí mezi chladným polárním a teplým tropickým vzduchem (okraj Rossbyho vln) ve výšce 10-12 km s rychlostmi 350-450 km.h<sup>-1</sup>
- subtropický jet stream** – při tropopauze nad Hadleyho buňkou (teplotní kontrast na okraji buňky) s rychlostmi 345-395 km.h<sup>-1</sup>
- tropický jet stream** – směřuje z východu na západ, jen v létě, omezen na jihovýchodní Asii, Indii a Afriku





## 5.6 Oceánská cirkulace

**5.29 Ocean temperature structure** A schematic north-south cross section of the world ocean shows that the warm surface water layer disappears in arctic and antarctic latitudes, where very cold water lies at the surface. The thickness of the warm layer and the thermocline is greatly exaggerated.



- **směšovací povrchová vrstva** (20–25 °C, až do 500 m)
- **termoklina** – pokles teploty a růst hustoty vody s hloubkou
- **hluboká vrstva** – studená (0–5 °C) a hustá voda

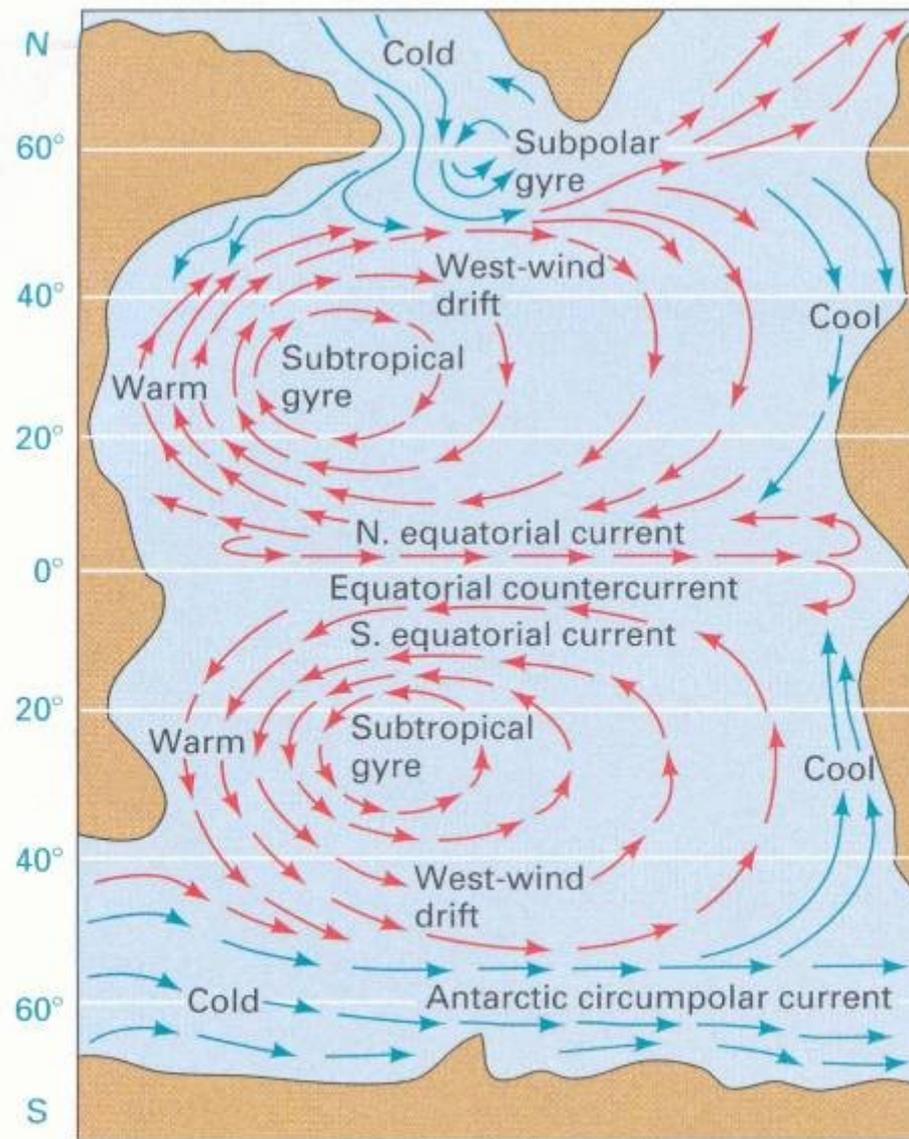
## 5.6.1 Mořské proudy

- **mořský proud** – stálý převážně horizontální tok oceánské vody
- mořské proudy zajišťují přenos tepla mezi nízkými a vysokými šířkami a dělí se na:
  - a) **povrchové proudy** – působením větrů
  - b) **hluboké proudy** – podmíněné změnami v teplotě a hustotě vody

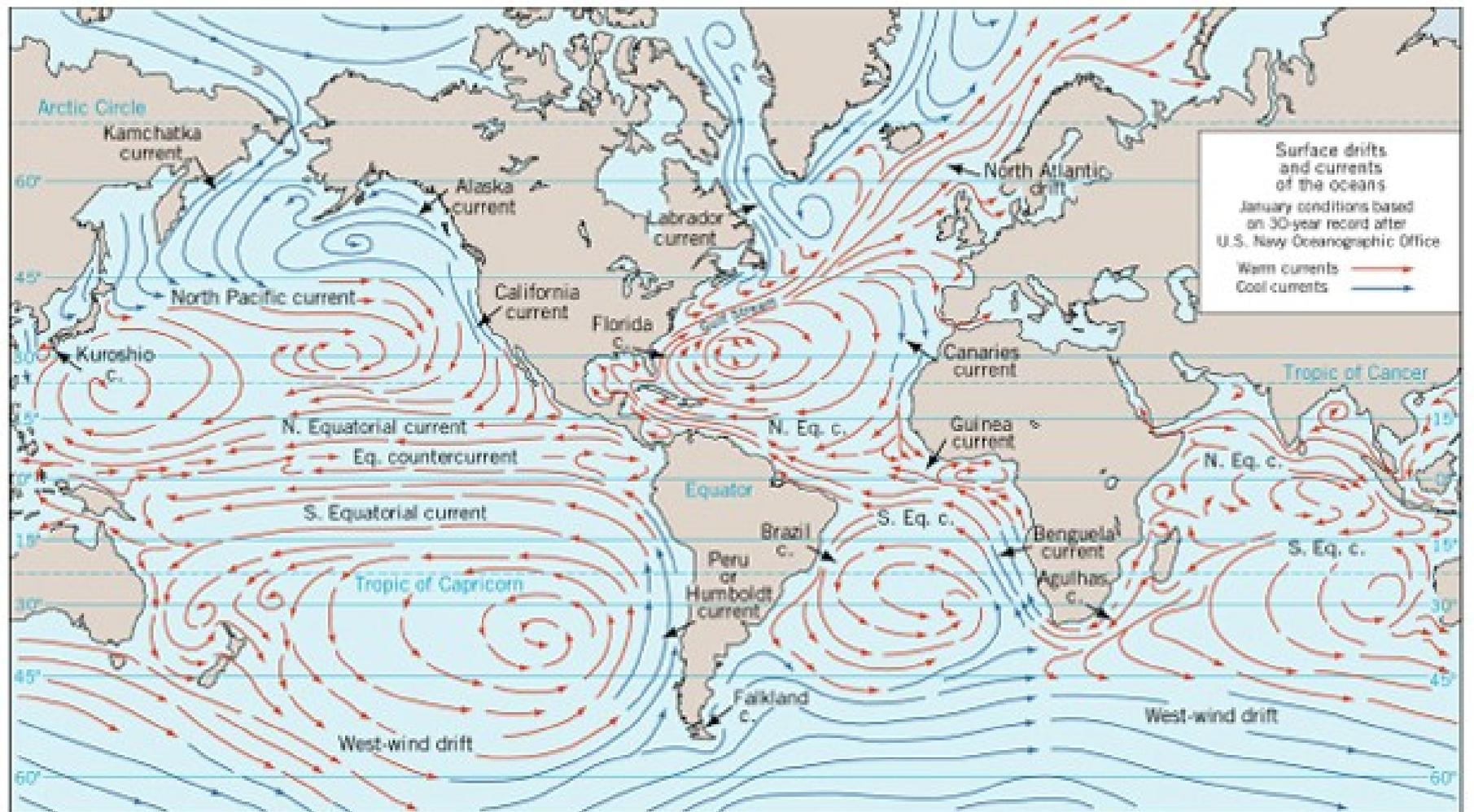
### 5.6.1.1 Povrchové proudy

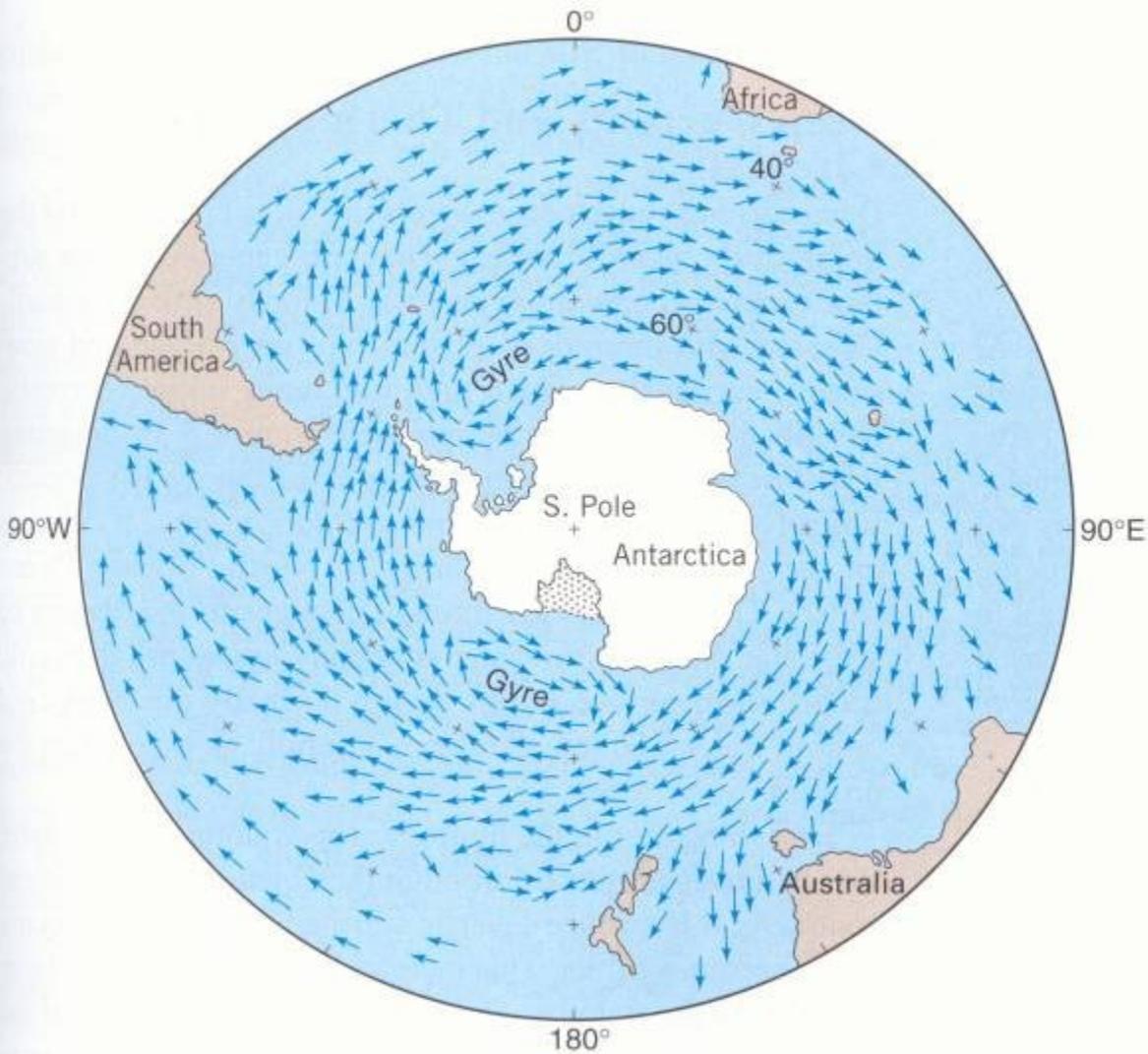
- vznikají působením větrů, kdy pohybová energie větru je vodě předávána třením
- působením Coriolisovy síly je jejich směr odchýlen asi o  $45^\circ$  od řídicího větru
- proudy nesoucí teplou vodu ve směru k pólům jsou **teplé proudy** a nesoucí chladnou vodu směrem k rovníku jsou **studené proudy**

- kolem 20-30° z.š. jsou centra proudových koloběhů vázaná na subtropické anticyklony
- v rovníkové oblasti tekou na západ → při pevnině se stáčí k pólům (teplé proudy – např. Golfský proud, Kuro-šio) → v zóně západních větrů se stáčí na východ → při pevnině se stáčí k rovníku (studené proudy – např. Humboldtův proud), často doprovázeny výstupem nižších chladnějších vod (**upwelling**)
- **klimatický vliv mořských proudů** – oteplování západních pobřeží (např. Severoatlantský proud v Evropě) a ochlazování východních pobřeží pevnin



**5.30 Ocean current gyres** Two great gyres, one in each hemisphere, dominate the circulation of shallow ocean waters.





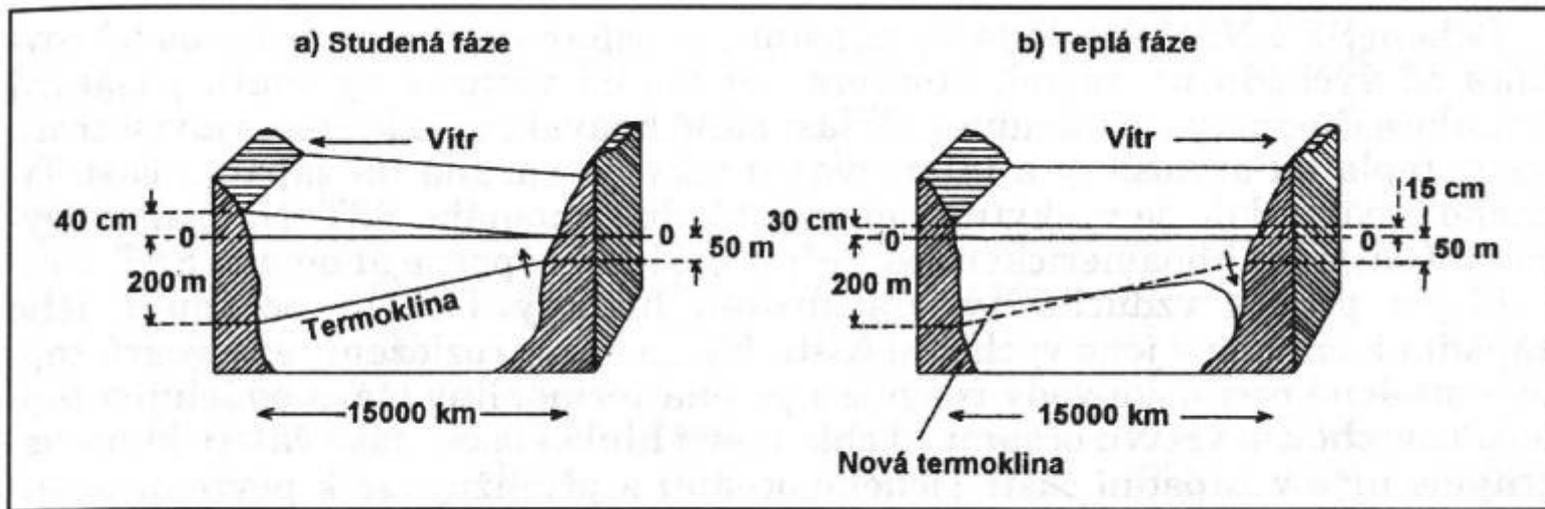
**5.32 Currents of the Southern Ocean**  
Surface water of the Southern Ocean flows continuously from west to east around Antarctica as a broad circumpolar current. This map is greatly simplified from a computer-generated model. (Based on NOAA data as presented by D. Olbers and M. Wenzel in *EOS, American Geophysical Union*, vol. 71, no. 1.)

### 5.6.1.1.1 ENSO

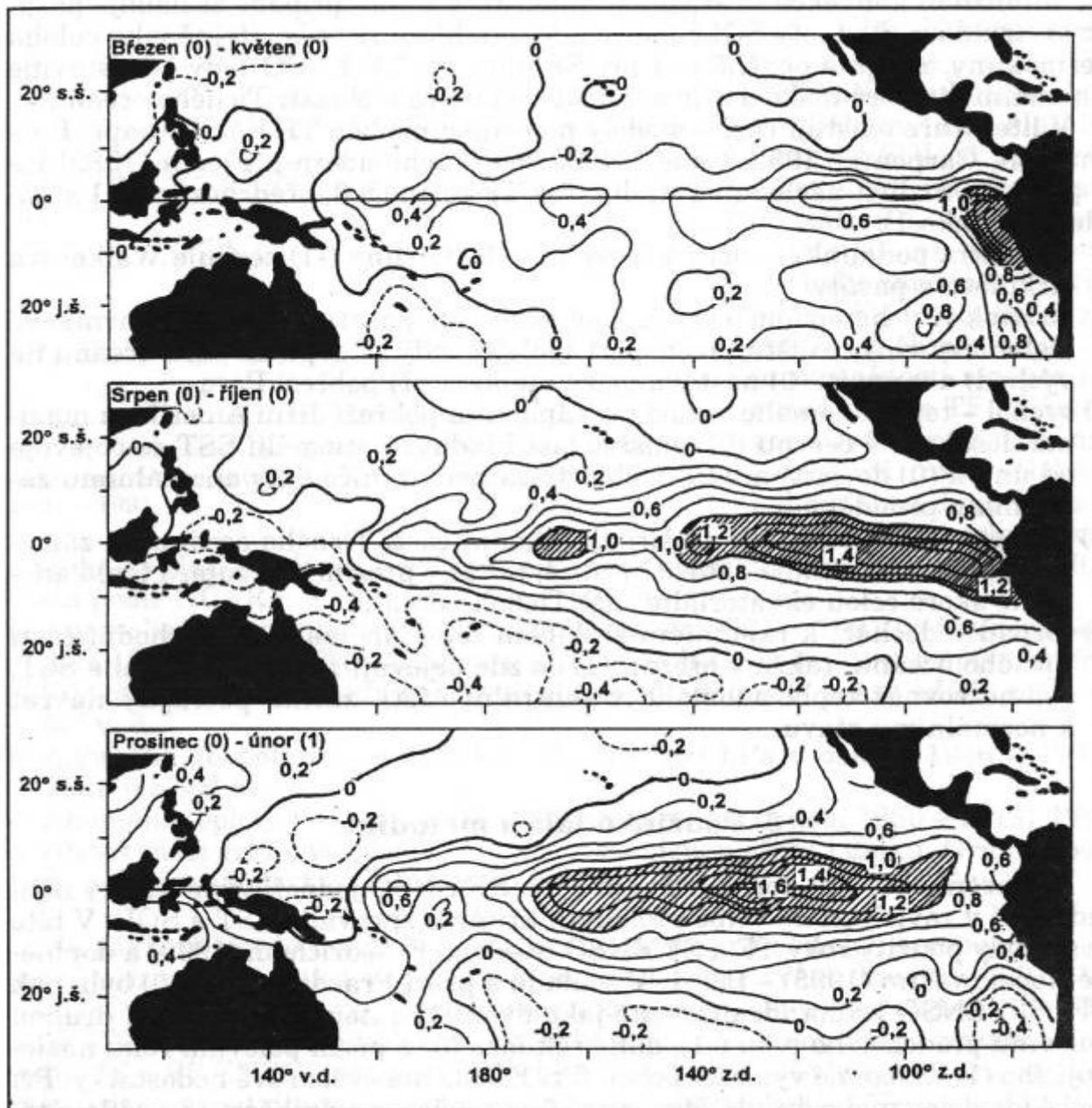
- ENSO = El Niño – Southern Oscillation (Jižní Oscilace) – interval 2-7 roků:

#### a) oceánská složka:

- **El Niño** (Ježíšek) – každoroční rovníkový protiproud podél peruánského pobřeží k jihu v létě
- **studená fáze ENSO** (La Niña): teplé vody v západním Pacifiku, studené ve východním (Humboldtův proud + upwelling, výrazná pasátová cirkulace)
- **teplá fáze ENSO** (El Niño): teplá anomálie povrchových vod v Tichém oceánu šířící se od jihoamerického pobřeží na západ, která se spojí s teplou anomálií vznikající v oblasti datové hranice (zeslabení upwellingu a pasátové cirkulace)

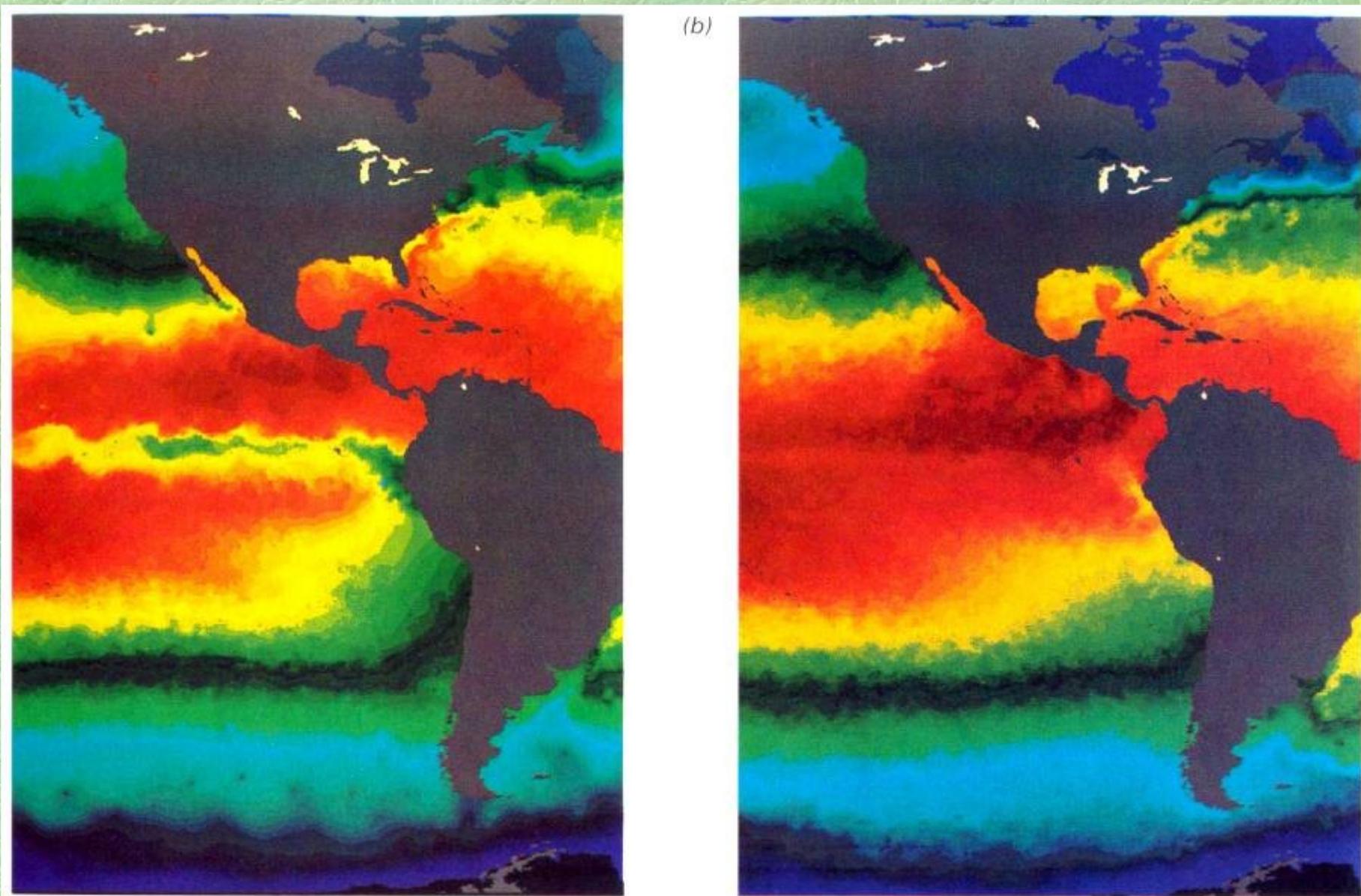


Obr. 2 – Změny polohy hladiny Tichého oceánu a termokliny během TF (b) a SF (a) ENSO (upraveno podle Fleera 1991)



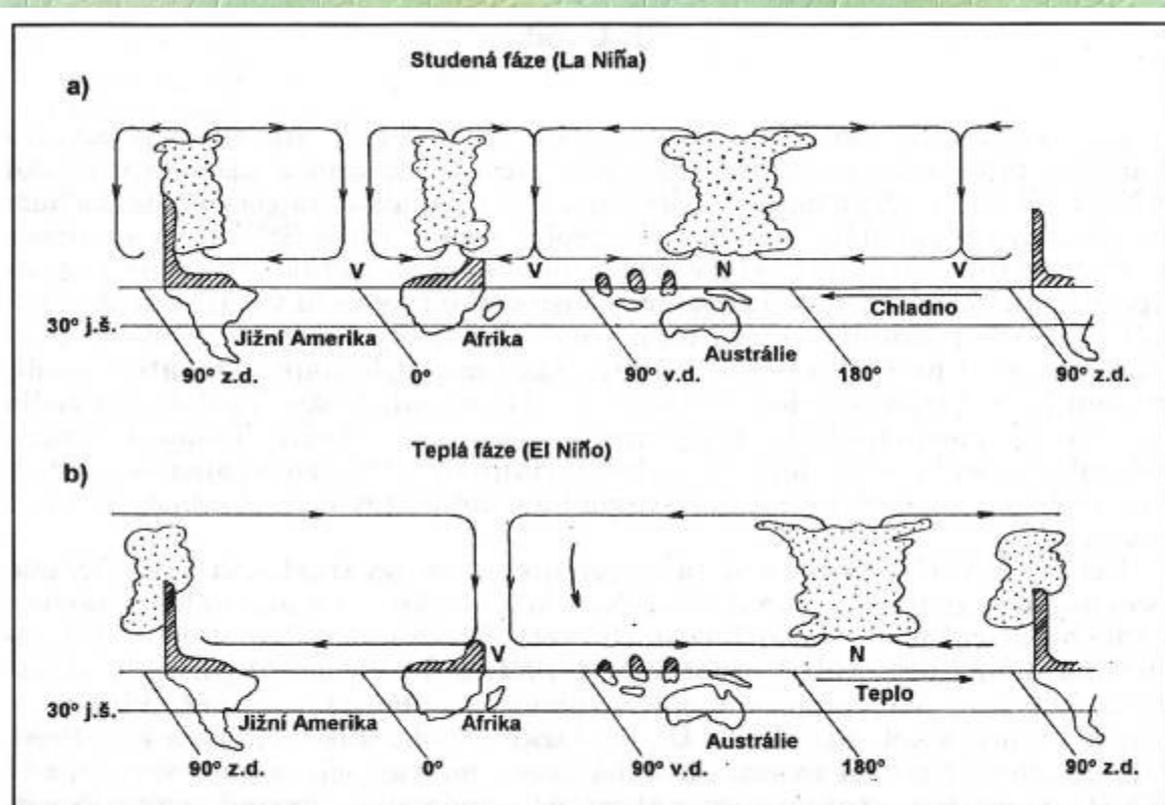
Obr. 3 – Anomálie SST (°C) průměrované pro TF ENSO v letech 1950 – 1973 (upraveno podle Rasmussona a Carpentera 1982)

## Povrchové teploty oceánu (SST) – La Niña versus El Niño



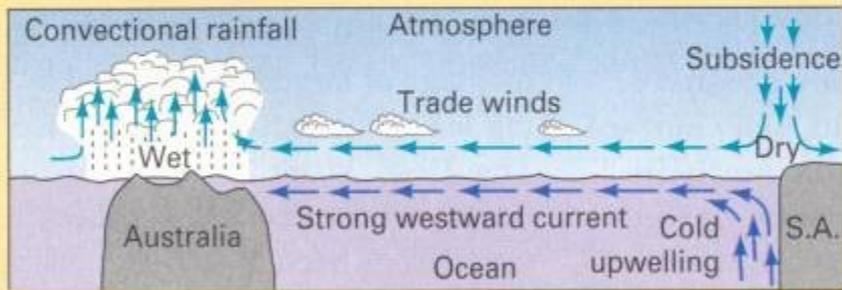
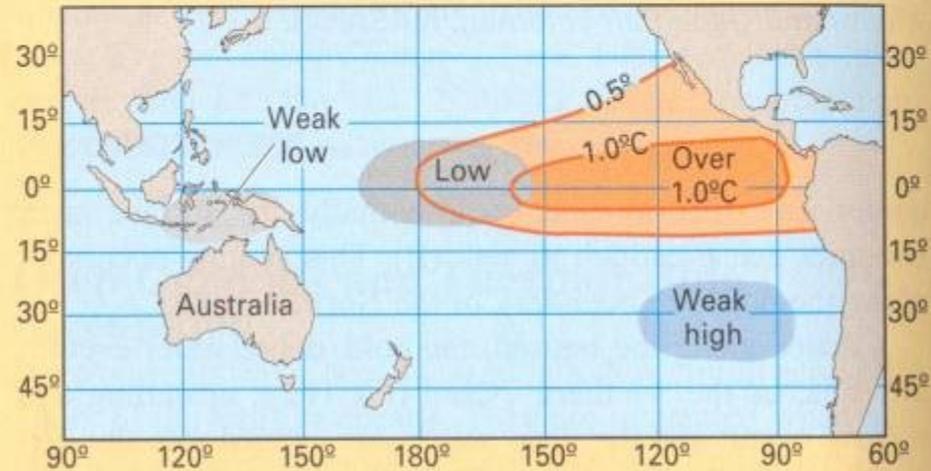
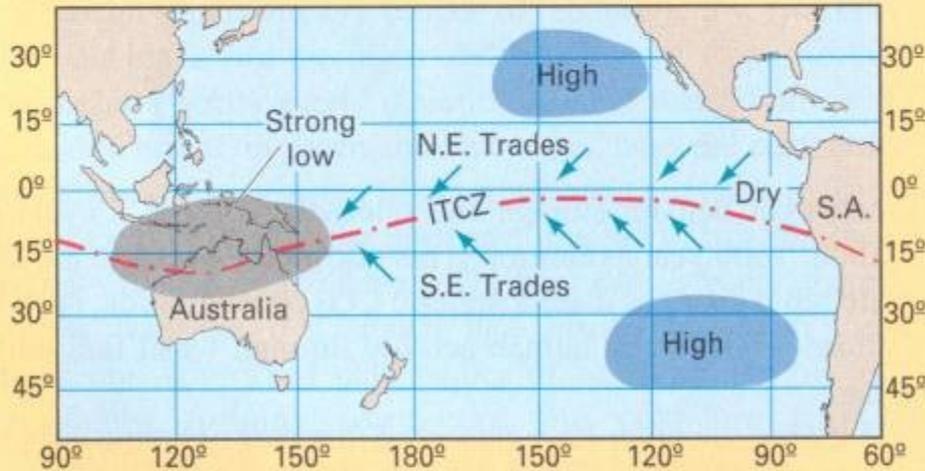
## b) atmosférická složka:

- **index Jižní oscilace** – rozdíl přízemního tlaku vzduchu mezi Tahiti ve Francouzské Polynésii a Darwinem v Austrálii – charakterizuje intenzitu pasátové cirkulace
- **Walkerova cirkulace** – charakterizuje cirkulaci podél rovníku ve vertikálním řezu
- studená fáze ENSO: intenzivní pasáty, cirkulační buňka s konvekcí nad Austrálií (srážky)
- teplá fáze ENSO: oslabení pasátů, přesun oblasti intenzivní konvekce nad střední část Tichého oceánu (Austrálie – subsidence vzduchu, sucho)
- dopady ENSO (např. teplota vzduchu, telekonekce, srážky a povodně, rybolov)



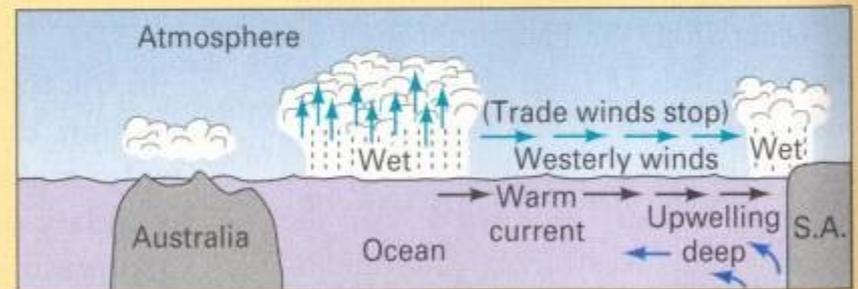
Obr. 1 – Schéma Walkerovy cirkulace v oblasti Tichého oceánu pro TF a SF ENSO (upraveno podle Barryho a Chorleye 1992)

**El Niño maps** Maps of pressures in the tropical Pacific and eastern Indian Ocean in November during normal and El Niño years. In a normal year (a), low pressure dominates in Malaysia and northern Australia. In an El Niño year (b), low pressure moves eastward to the central part of the western Pacific, and sea-surface temperatures become warmer in the eastern Central Pacific. (Copyright © A. N. Strahler.)



Normal

(a)

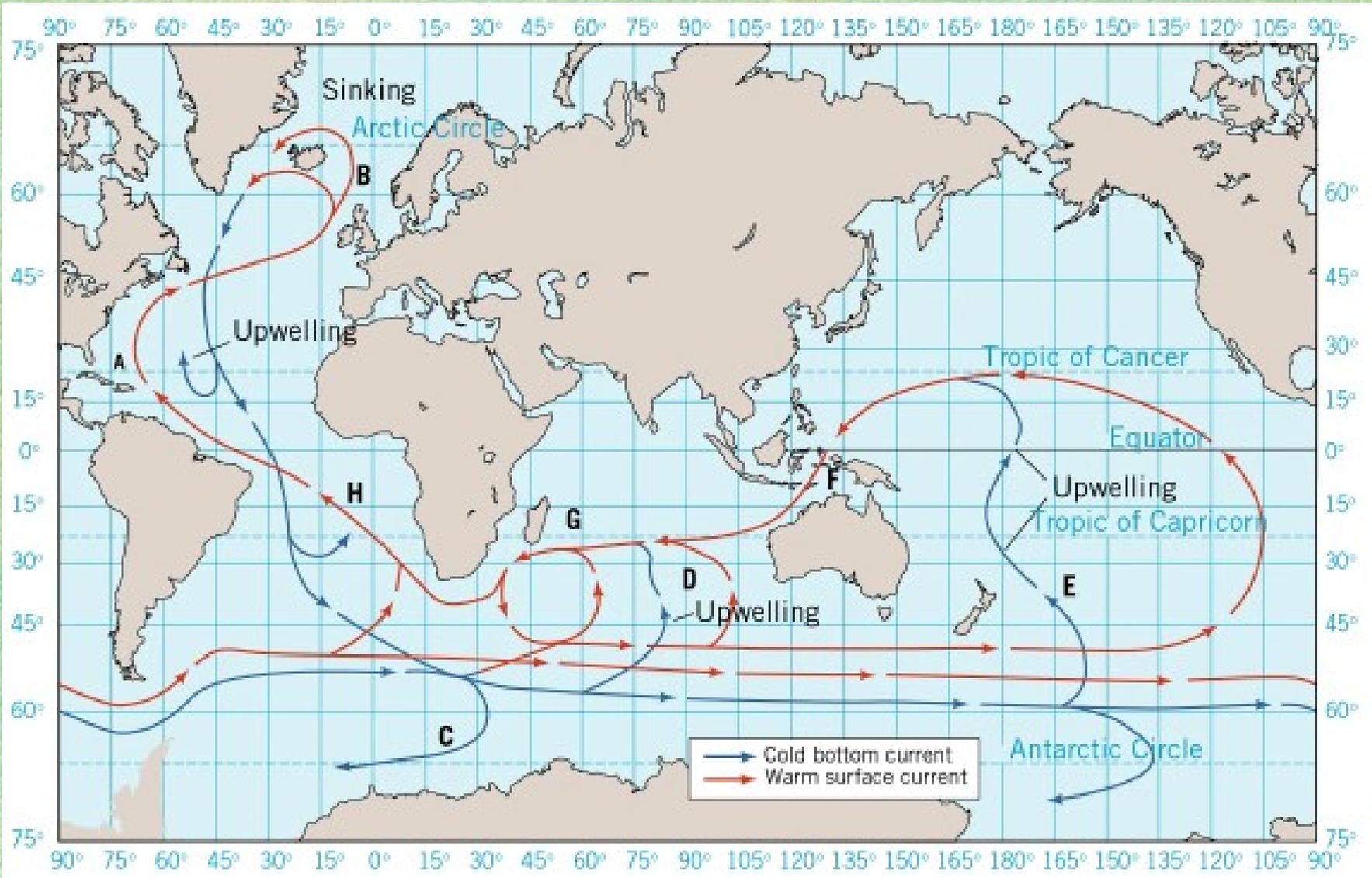


El Niño (Winter of N. Hemisphere)

(b)

## 5.6.1.2 Hlubokooceánské proudy a termohalinní cirkulace

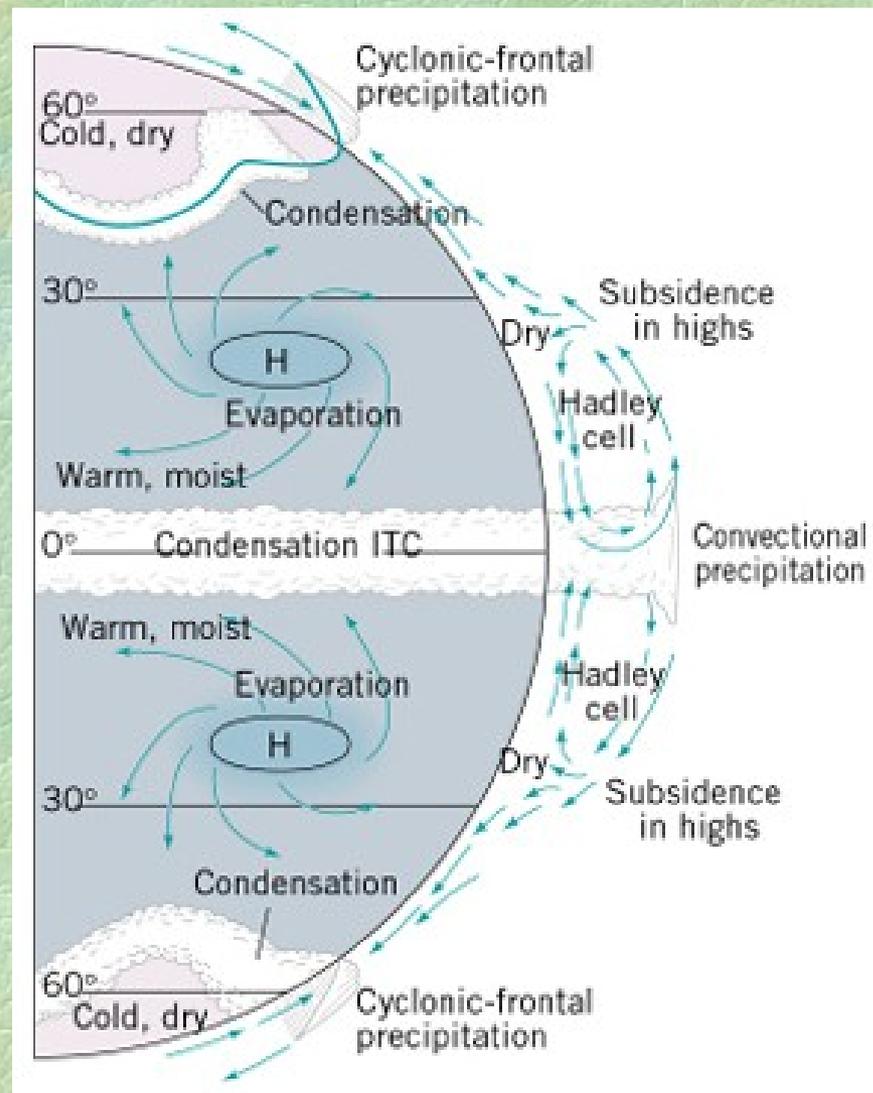
- hlubokooceánské proudy zajišťují pomalou výměnu vody mezi jednotlivými vrstvami v oceánu – jsou generovány pomalým poklesem povrchové vody s vyšší hustotou
- s nimi jsou spojeny široké a pomalé povrchové proudy
- **termohalinní cirkulace** – závisí na teplotě a slanosti vody v severním Atlantiku (**downwelling**)
- teplá voda má menší hustotu než studená, proto se povrchová voda nemíchá s chladnější vodou pod ní



- vysvětlení procesu:
  - a) bod A: teplá povrchová voda pomalu postupuje na sever, výpar – voda se stává slanější a hustší
  - b) bod B: voda se dostala do severního Atlantiku a odevzdala teplo atmosféře, je dostatečně hustá, aby mohla klesat do hloubky (downwelling)
  - c) bod C: chladná a hustá voda se dostává dolní vrstvou do Jižního ledového oceánu (tzv. atlantský přenosový pás)
  - d) cirkulace se uzavírá prouděním v tichooceánském přenosovém pásu
- termohalinní cirkulací se dostává do oceánských hlubin voda bohatá  $\text{CO}_2$  – součást uhlíkového cyklu (**vázání uhlíku z atmosféry**)
- termohalinní cirkulace by mohla být zastavena přívodem většího množství sladké vody do severního Atlantiku (pokles hustoty) – možnost náhlých klimatických změn

## 5.7 Meridionální transport tepla a vláhy

- transport tepla a vláhy z rovníkových a tropických oblastí se uskutečňuje prostřednictvím globální cirkulace a mořských proudů



- Hadleyho buňka jako “tepelná pumpa”: proudění k rovníku transportuje latentní teplo, které je pak součástí **přenosu tepla ve výšce od rovníku do subtropů**, kde může divergovat v anticyklonách do vyšších šířek (může se obohacovat latentním teplem při výparu)
- termohalinní cirkulace je důležitá z hlediska **transportu teplejší vody** do severního Atlantiku – část tohoto tepla přenášená západním prouděním nad Evropu

## **Literatura:**

- Netopil, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha. Kap. 2.3.7-2.3.8.3: s. 75-93; kap. 3.10.7, s. 254-259.
- Strahler, A., Strahler, A. (2006): Introducing Physical Geography. Wiley, New York. Kap. 5: Winds and Global Circulation, s. 150-183.