

*H*YDROLOGIE

Povrchová a podzemní voda,
GeKa, FGg, HPZ



Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Přírodovědecká fakulta UK v Praze
katedra fyzické geografie
a geoekologie

jansky.b@seznam.cz, jansky@natur.cuni.cz

ZÁSOBY VODY NA ZEMI

- *Voda je počátkem všech počátků, vše vzniklo z vody, vše se navrací zpět ve vodu.*

Thalés z Mílétu

- *Jestliže lidé nazývají svou planetu modrou, neměli by zapomínat, že tuto barvu jí propůjčují právě oceány.*

Hydrosféra – veškerá vodní hmota na zemském povrchu, pod ním a v zemské atmosféře ve skupenství kapalném, pevném i plynném.

Vymezení: od cca 800 m pod z.p. → cca 11 km nad z.p.

Světový oceán zaujímá

360,7 mil. km², tj. **70,7 %**

- Plocha Země:

510, 1 mil. km²

Pevnina zaujímá

149,4 mil. km², tj. **29,3 %**

Zásoby vody v dílčích částech hydrosféry

Část hydrosféry	Objem vody (tisíce km ³)	% z celkových zásob
Světový oceán	1 360 000	97,6784
Ledovce a dlouhodobá sněhová pokrývka	24 000	1,7237
Voda v atmosféře (do výše cca 11 km)	13	0,0009
Povrchová voda na souši:		
Sladkovodní jezera	130	0,0093
Slaná jezera	105	0,0075
Umělé vodní nádrže	6	0,0004
Močály, bažiny	6	0,0004
Koryta řek (průměr roku)	1,25	0,0001
Podpovrchová voda:		
Půdní vláha	25	0,0018
Voda v pásmu provzdušnění (zóna aerace)	40	0,0029
Voda v pásmu nasycení (zóna saturace)	8 000	0,5746
Celkové zásoby vody na Zemi	1 392 325,25	100%

Světový oceán

- Střední hloubka světového oceánu - **3790 m.**
- Kdyby se vody oceánu rovnoměrně rozprostřely po celém zemském povrchu, vytvořily by vrstvu 2440 m.
- Větší podíl zaujímají moře a oceány na polokouli jižní než na polokouli severní:

severní polokoule:

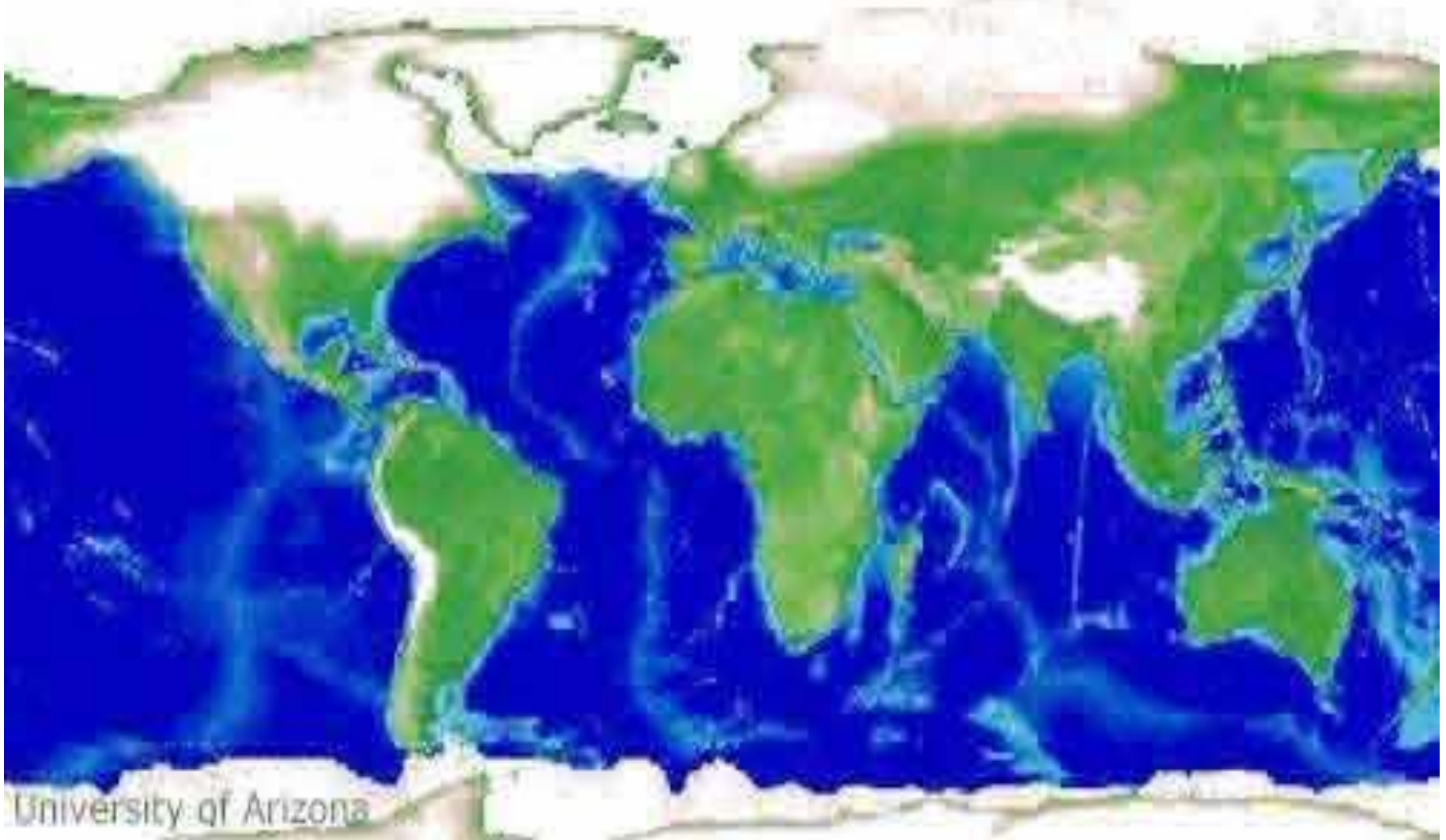
jižní polokoule:

Vodstvo	60,7 %	80,9 %
Pevnina	39,3 %	19,1 %

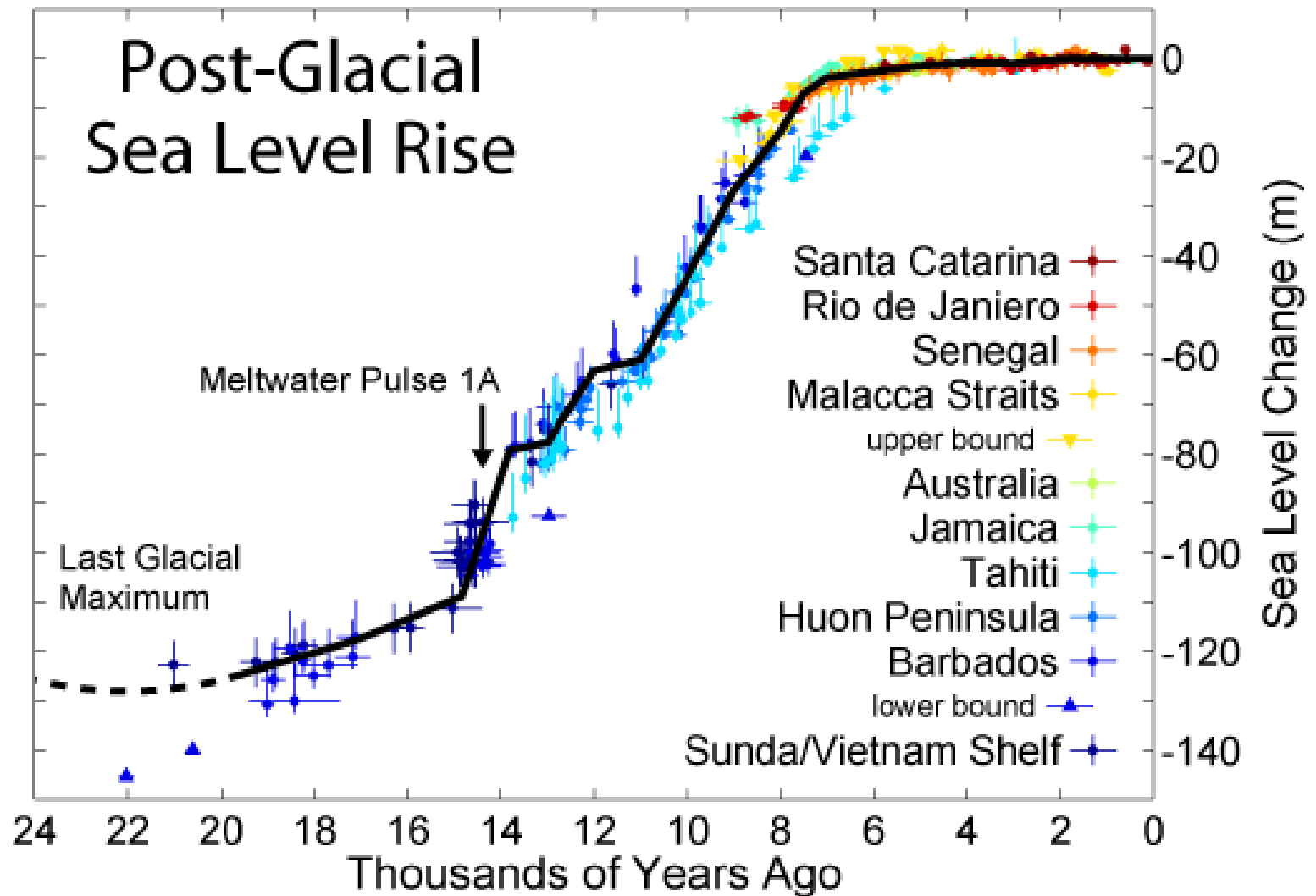
- Nad 50 % pevniny jen mezi 45° a 70° severní z.š. (Eurasie, Sev. Amerika)
- Mezi 55° a 65° jižní z.š. – oceán téměř 100 %.

Celý objem vody v oceánech se promíchá průměrně za 2500 let. V glaciálech méně vody v mořích, v teplých obdobích naopak více (před 3 mil. lety asi o 50 m výše než dnes).

Ledovce na Zemi v poslední době ledové (před 20 tis. lety)



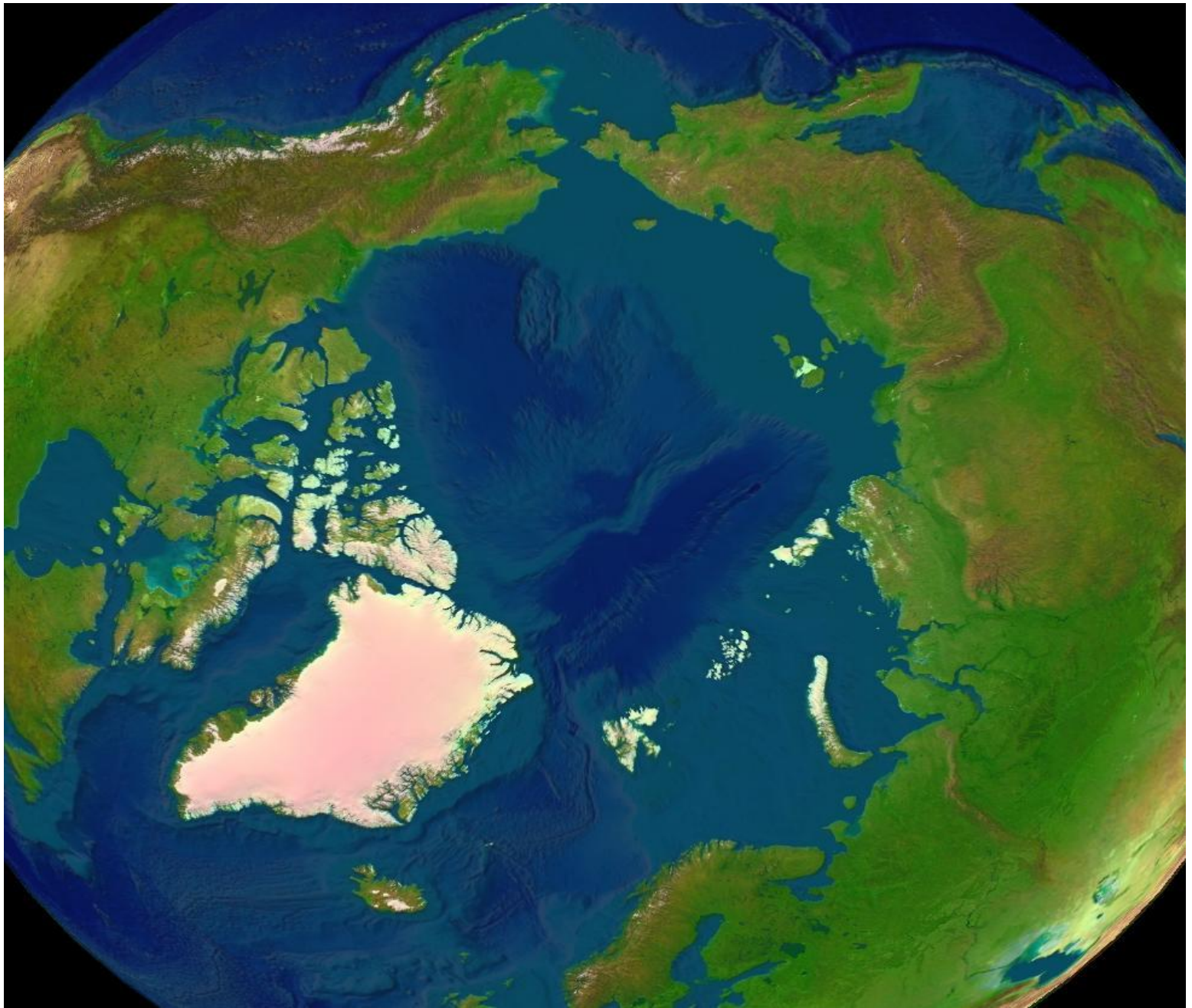
Hladina oceánu byla asi o 122 m níže než dnes.
Před 125 tis. lety asi o 5 m výše než dnes.



Ledovce

- Převážná část sladké vody na pevnině (kolem 74 %) je akumulována v ledovcích, které zaujímají plochu přes 14,9 miliónů km², tj. asi 10 % plochy souše.
- *Antarktický pevninský ledovec* - 90 % ledovcové hmoty na pevnině (mocný až přes 4000 m)
- *Grónský pevninský ledovec* - 8 % (průměrně 1500 m)
- Další ledovce pevninského typu – Kanadské arktické souostroví (153 000 km²), Alaska Range – Coastal Mts. (USA, Kanada, 92 500 km²), Svalbard (57 000 km²), Novaja Zemlja (24 300 km²), Severnaja Zemlja (17 500 km²), země Františka Josefa (13 730 km²), Island (11 252 km²)

Kdyby roztály všechny ledovce, stoupla by hladina oceánu asi o 66 m!





Grónský kontinentální ledovec – východní pobřeží

Grónský kontinentální ledovec

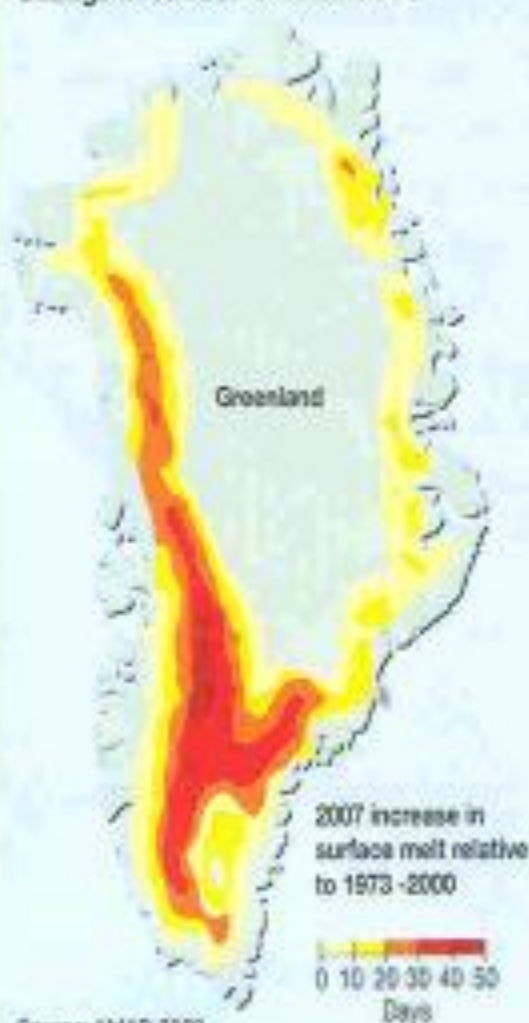
- Největší zaledněná plocha severní polokoule s druhým nejmohutnějším ledovcem na Zemi.
- Je v něm akumulováno asi 2,93 miliónů km³ ledovcové hmoty.
- Pokud by Grónský ledovec zcela roztál, stoupla by hladina světového oceánu přibližně o sedm metrů!
- Zatímco *globální roční teplotní anomálie* pro roky 2005 – 2007 v porovnání s obdobím 1951 – 1980 činí 0,7° C, anomálie pro Grónsko se pohybuje kolem 1,5° - 1,9 ° C.
- V nejbližších dekáдах se předpokládá, že řada ledovců v horách arktického a subarktického pásu zcela zmizí (např. rychlý ústup horských ledovců v pohoří Brooks Range a Alaska Range na Aljašce).

Plocha oblastí postižená letním táním na povrchu ledovce v posledních letech vzrostla.

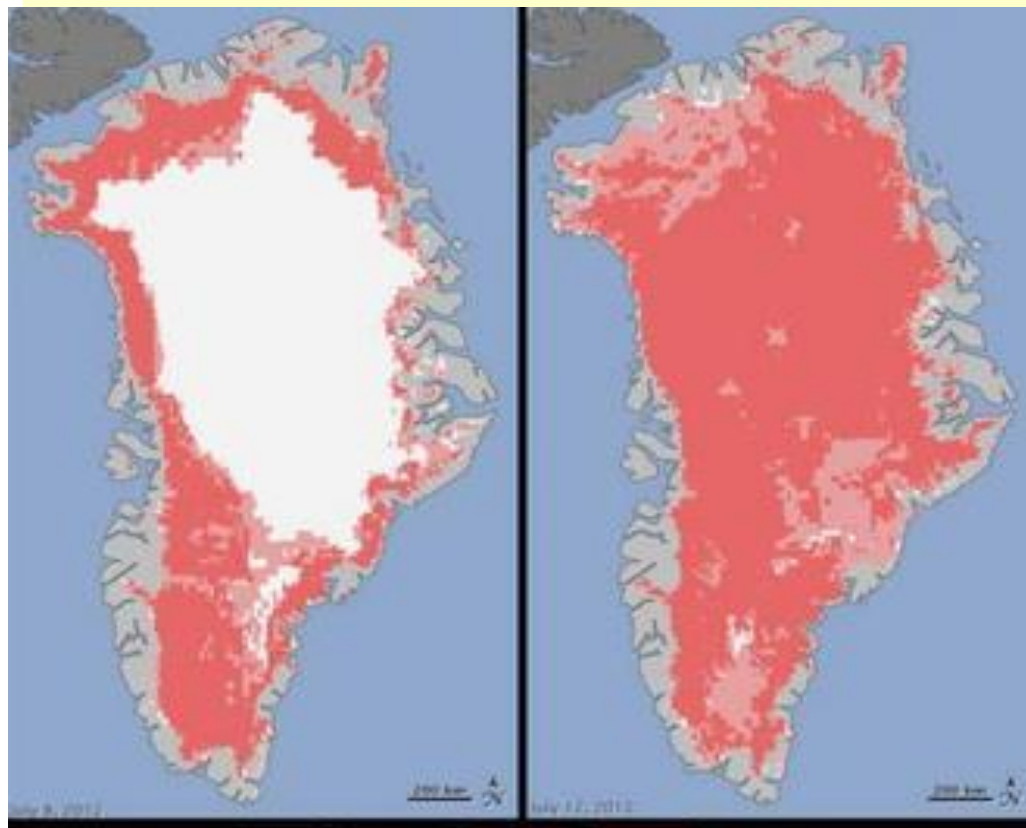
V roce 2007 byla o 60 % větší než v létě roku 1998.



Change in surface melt duration

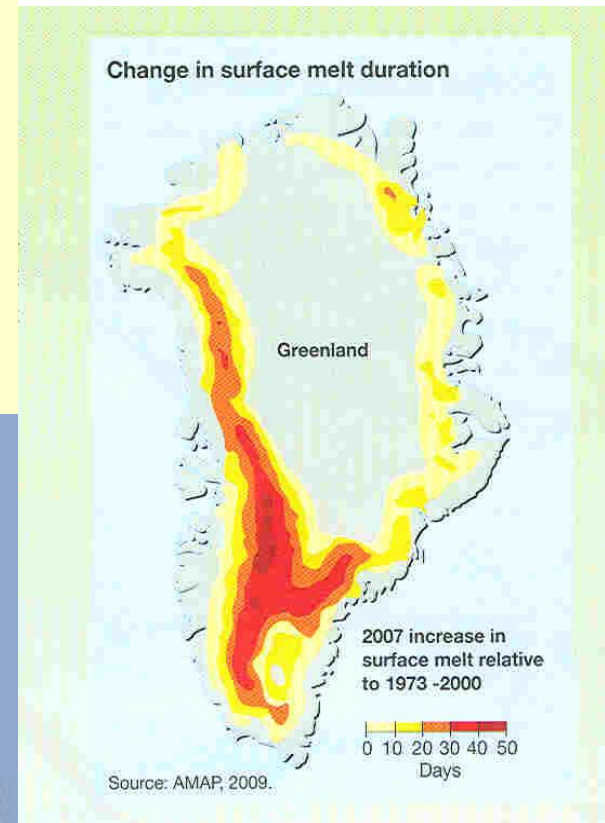


**Plocha oblastí postižená letním
táním** na povrchu ledovce
v posledních letech vzrostla.
V roce 2007 byla o 60 % větší než
v létě roku 1998.

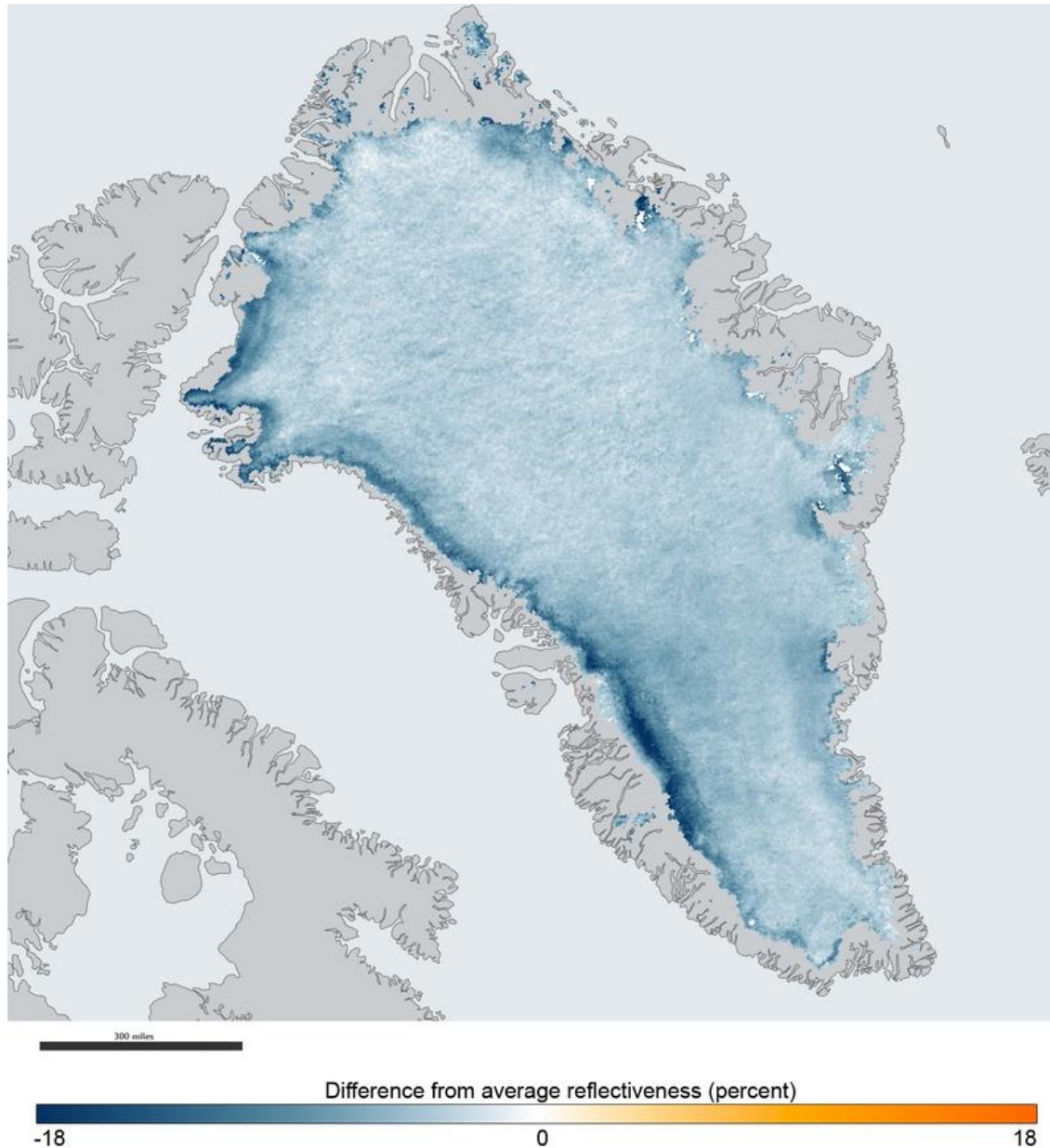


8.7. 2012

12.7.2012

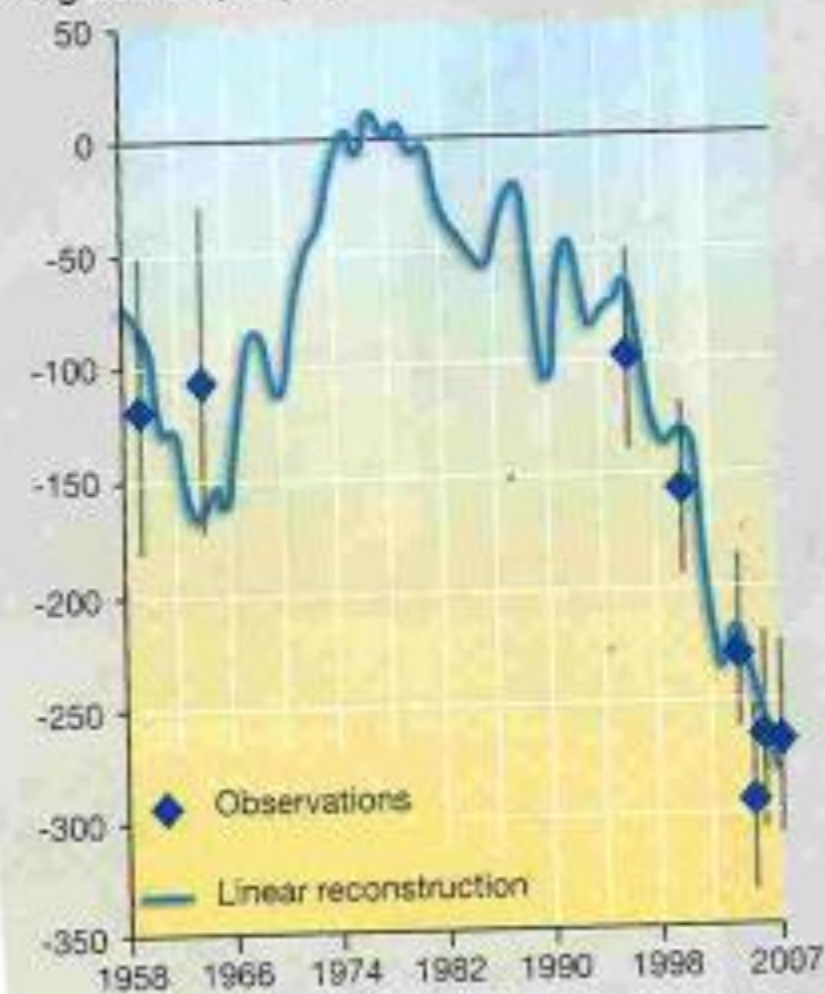


Změna albeda na území Grónska (2011 ve srovnání s průměrem 2006 - 2010)



By Map by NOAA's climate.gov team, based on NASA satellite data processed by Jason Box, Byrd Polar Research Center, the Ohio State University.

Mass balance of the Greenland Ice Sheet
Gigatonnes per year



Změny v objemové bilanci Grónského ledovce v období 1958 – 2007

- Modré body: bilance sněhových srážek a odtoku vody
- Modrá křivka: lineární rekonstrukce bilance hydrologické ledovce

1 gigatuna – spotřeba vody
ve městě s 8 mil. obyv./rok.





Horské ledovce

- 0,6 % objemu ledovců na Zemi
- Asie – 89 000 km² (Himálaj 33 000 km², Karākoram 13 660 km², Tian Shan 8 600 km², Pamir a Alajské poh. 8 400 km²)
- Jižní Amerika – 25 000 km² (Andy)
- Evropa – Alpy (3 600 km²), Skandinávské pohoří (3200 km²)
- Oceánie – N. Zéland (cca 1000 km²), N. Guinea (15km²)
- Afrika – 15 km² (Ruwenzori, Mt. Kenya, Kilimanjaro)

A photograph of a massive glacier flowing from snow-capped mountains into a lake. The glacier is a thick, white mass of ice, with some dark rocks visible within it. It flows from the right side of the frame towards the left, where it meets a calm body of water. In the background, several jagged, snow-covered mountain peaks rise against a clear blue sky. The foreground shows a dark, rocky shoreline on the left. A white text box is overlaid in the bottom left corner.

**N.P. Los Glaciares
(Argentina)**

Klimatická sněžná čára – linie vyrovnané bilance přírůstku a úbytku ledovcové a sněhové hmoty.
Tzn. nad sněžnou čarou ledovce přibývají, pod ní ubývají.

- Nadmořská výška s.č. klesá od rovníku k pólům, nejvýše položená na kolem obratníků, kde horší srážkové podmínky než na rovníku (Chilsko-Argentinské Andy až 6200 m n.m., Kilimanjaro 5200 m, země Fr. Josefa 50 m)
- Nadmořská výška závisí kromě zem. šířky i na kontinentalitě klimatu – s.č. např. stoupá od západu Evropy do nitra Eurasie (Alpy 2600 – 2900, Kavkaz 3500, Pamír 5000 – 5500 m).



Ledovec Petrova
(Tien – Shan), Kyrgyzstán



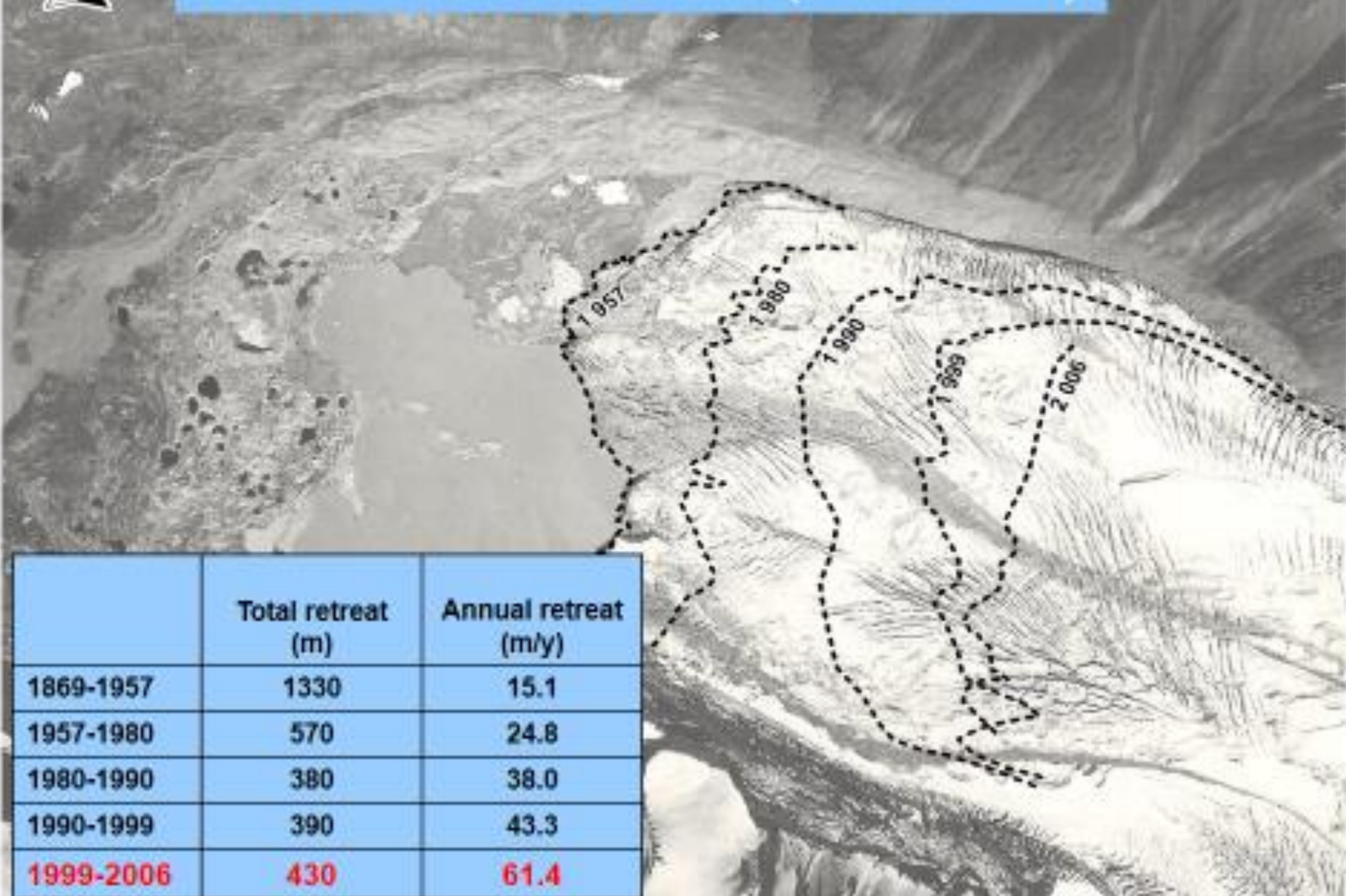
Jezero Petrova a ledovec Petrova



Satelite image of the Petrov Lake area (QuickBird 2003)



Petrov Glacier retreat (1957-2006)



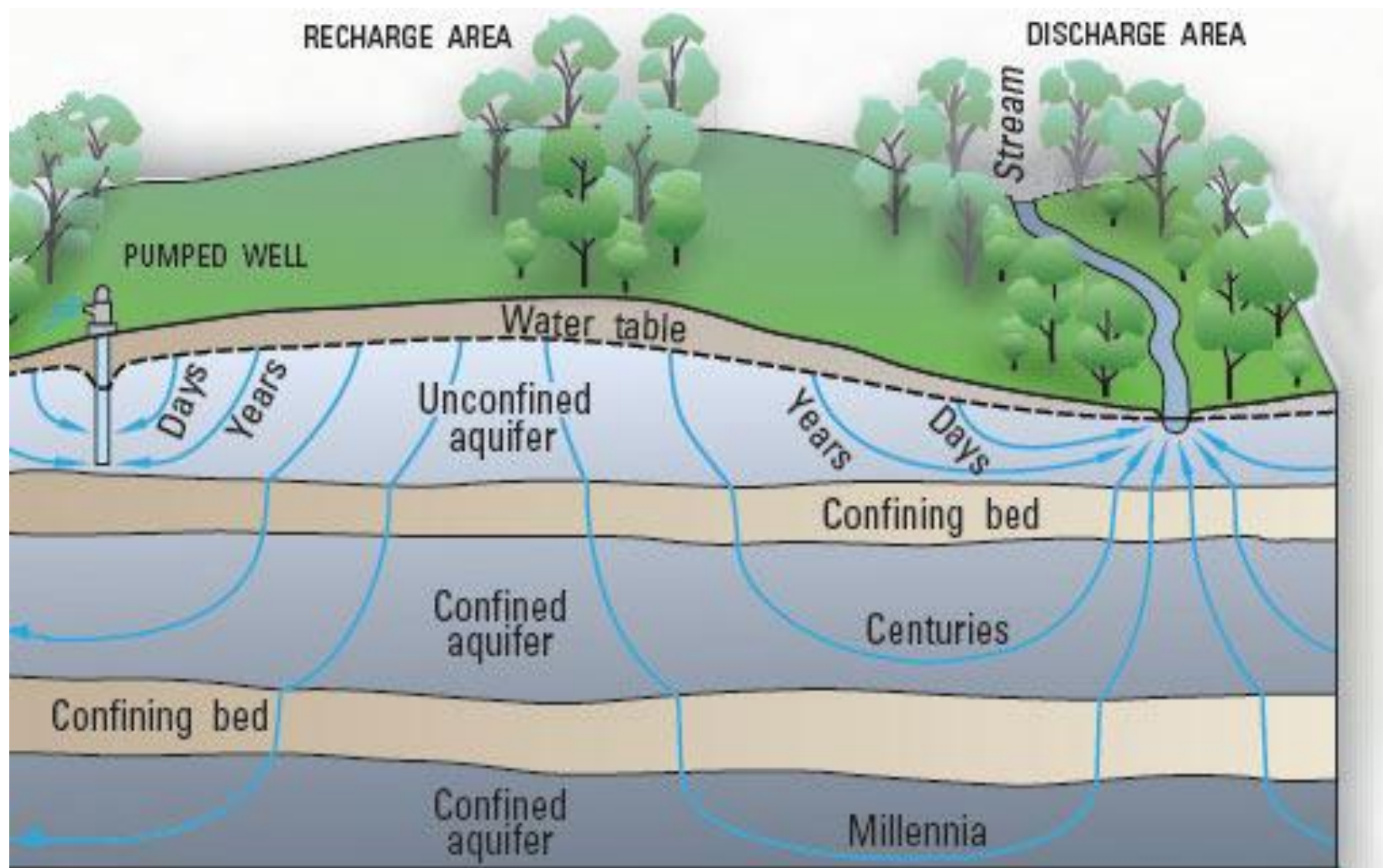


Nudo Coropuna
(Jižní Peruánské Andy)

Podpovrchová voda

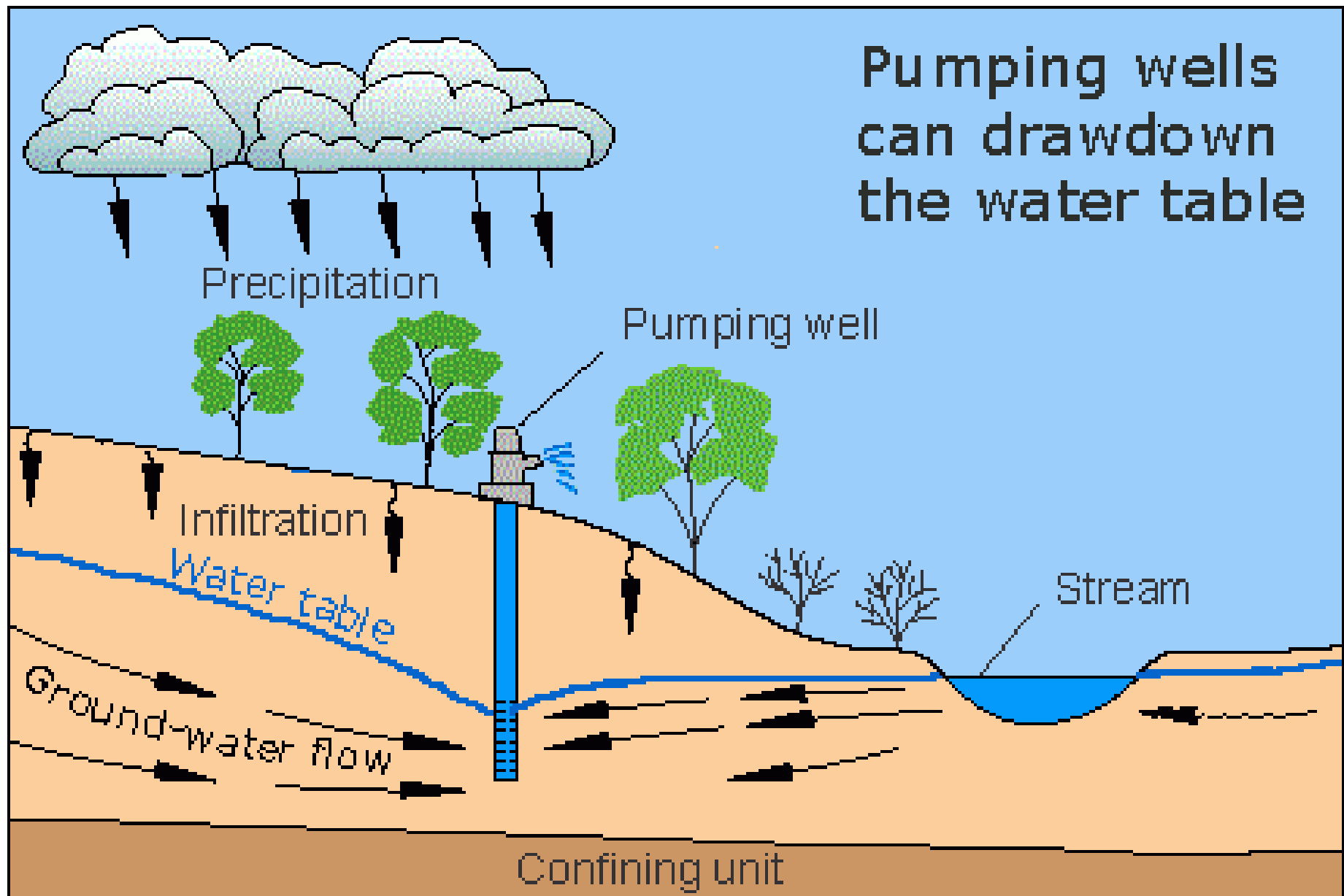
- Pod zemským povrchem asi 25 % sladké pevninské vody, pokud nezahrneme ledovce – až 97 % kapalné vody Země.

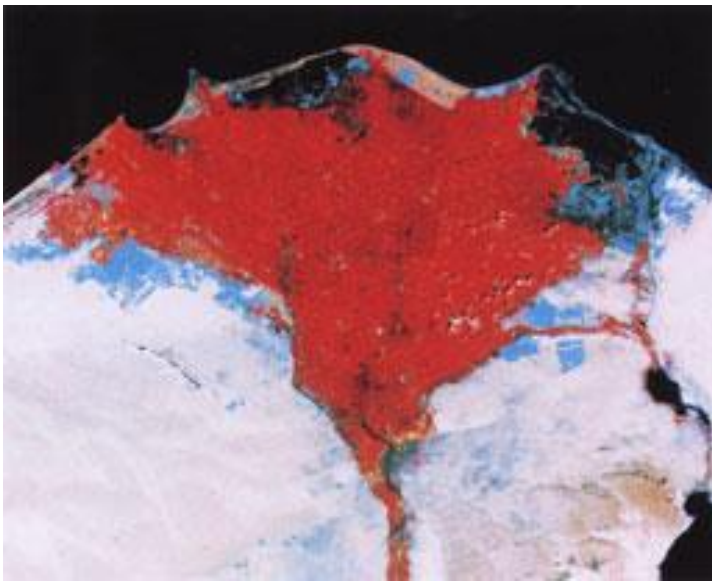
Mimořádný význam v suchých oblastech – **artéské pánve.**



Pohyb podpovrchové vody a její dynamika

Pumping wells
can drawdown
the water table





Delta Nilu



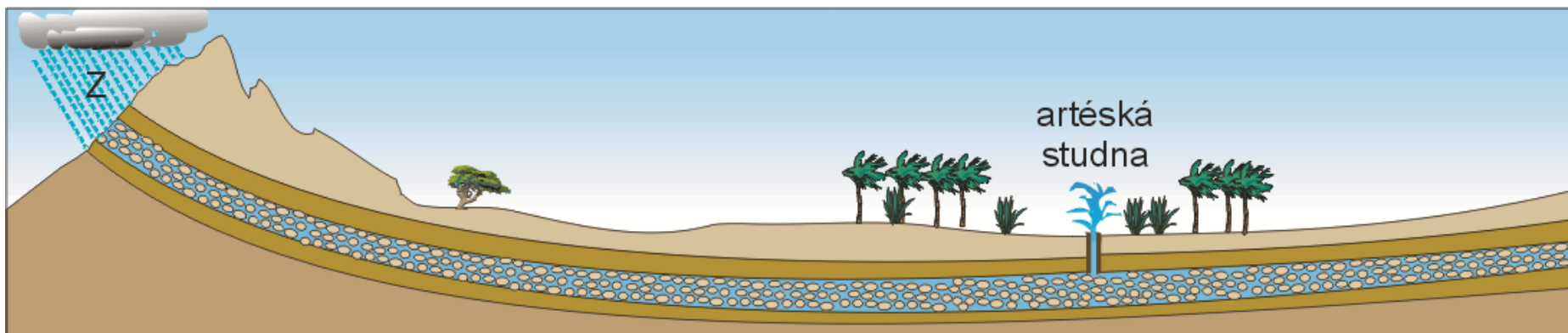


Schéma oázy s artéskou studnou

Voda přitéká ze vzdálené horské oblasti, kde se vyskytují srážky (Z - zóna napájení artéské pánve). Podzemní voda stéká po nepropustném podloží a je směrem k povrchu uzavřena artéským stropem. Na povrch vystupuje po jeho navrtání nebo po puklinách.

V jižní části **Sahary**- zasypávání míst s vegetací saharským pískem. Jedná se o proces **desertifikace** → degradace savan a jejich postupná přeměna v poušť. Vedle klimatických vlivů se negativně uplatňuje kácení stromů a spásání vegetace dobyt看kem.



Ground-water discharge in Snake River Plain, Idaho, USA



Well flowing under artesian pressure

Sladkovodní jezera

- Tři světové oblasti, v nichž je soustředěna většina objemu sladkovodních jezer:
- Severní Amerika – 25 % celosvětových zásob (Velká Kanadsko-americká jezera, další jezera Kanady)
- Afrika (Východoafrická příkopová propadlina) – 22 % světových zásob
- Bajkal – 18 % světových zásob (nejhlubší jezero na Zemi – 1637 m)



Velká Kanadská jezera

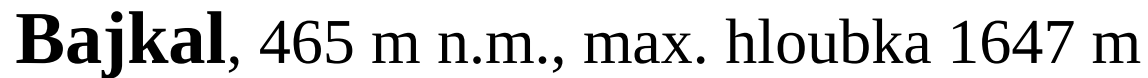






Jezero Malawi (Njasa)





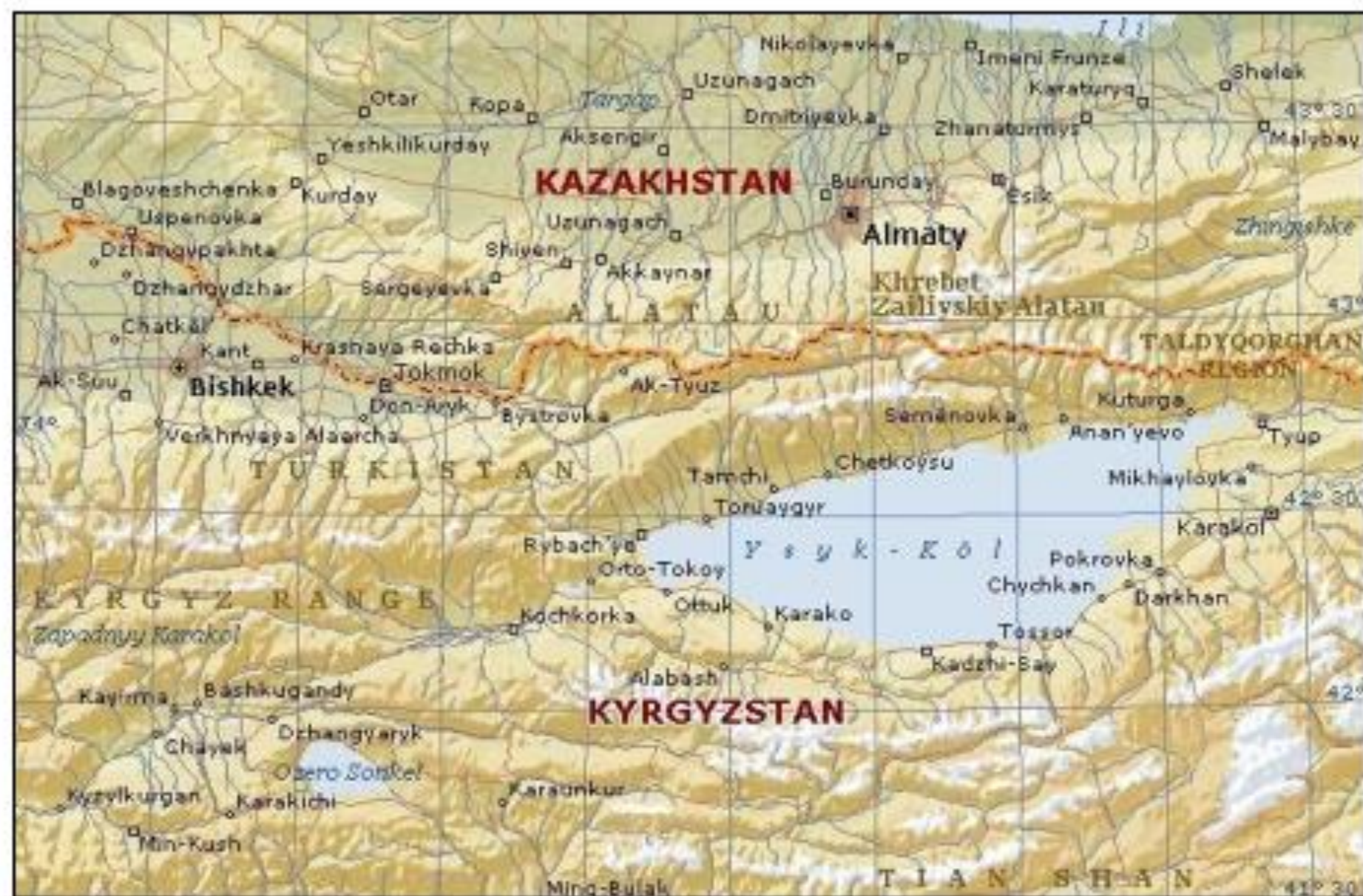
Bajkal, 465 m n.m., max. hloubka 1647 m



Bajkal, ostrov Olchon



**Issyk – Kul
(Kyrgyzstán)**





Tektonické jezero **Issyk – Kul** (max. hl. 668 m), salinita cca 5‰

Slaná jezera

- Převážně v subtropech a vnějších tropech, kde výpar převládá nad srážkami. V létě ztrácejí značné množství vody, zmenšují svoji rozlohu, popř. se pokrývají solnou kůrou.
- Téměř $\frac{3}{4}$ jejich objemu je v pánvi Kaspického jezera (největší jezero na Zemi, slanost 12 – 13 ‰). Slaná jezera mají často větší slanost než světový oceán (Mrtvé moře 245 ‰ na hladině, 280 ‰ v hloubce). Další příklady: Great Salt Lake (USA), Lago de Poopó, Salar de Uyuni (Bolívie), Salinas Grandes (Argentina), Salar de Atacama (Chile), Lake Eyre (Austrálie), L. Turkana (Keňa), Van Gölü (Turecko), Daryācheh-ye Orūmīyeh (Irán), Balchaš (Kazachstán), Lop Nur (Čína).







Laguna de Salinas (Peru)



Salar de Uyuni (Bolívie), 3656 m n.m.



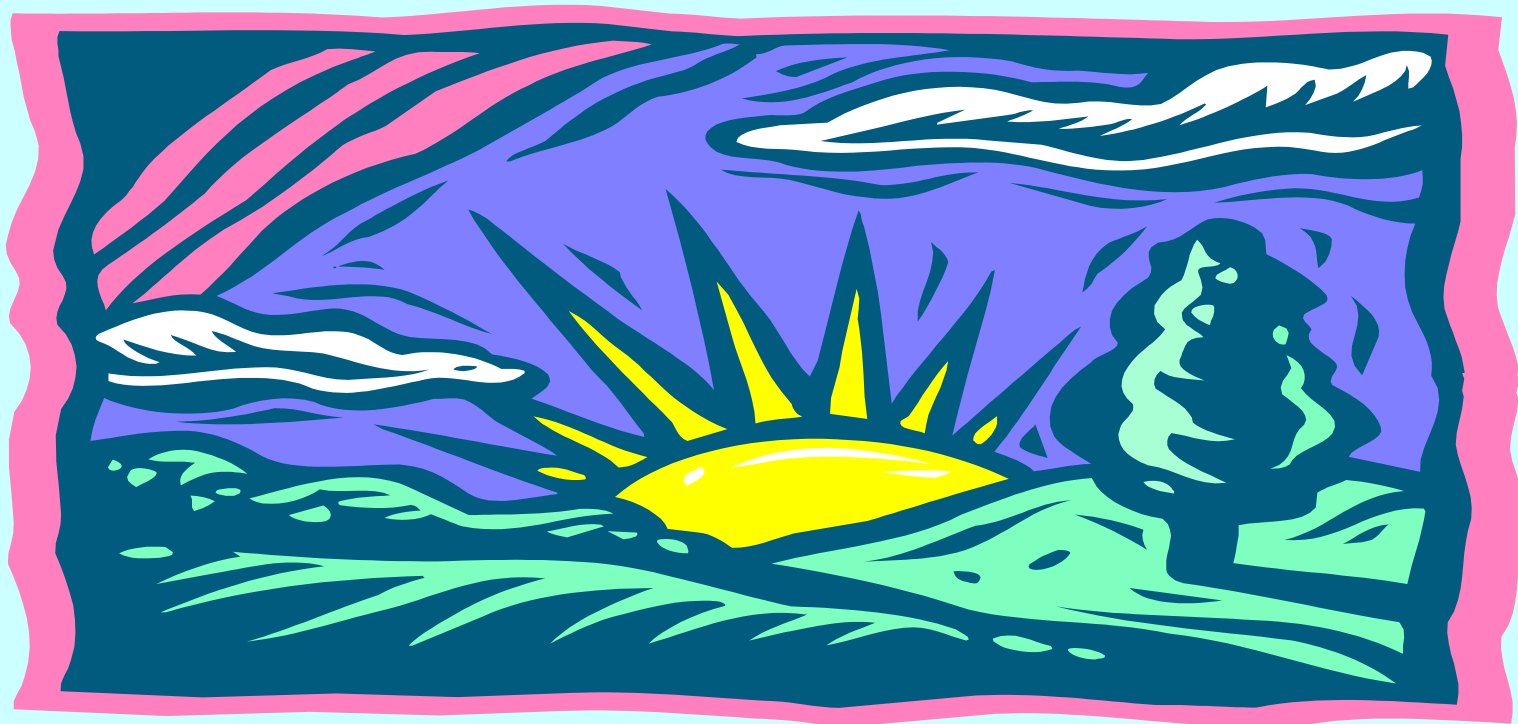
Mrtvé moře: abrazní terasy bývalých hladin,
roční pokles 72 cm



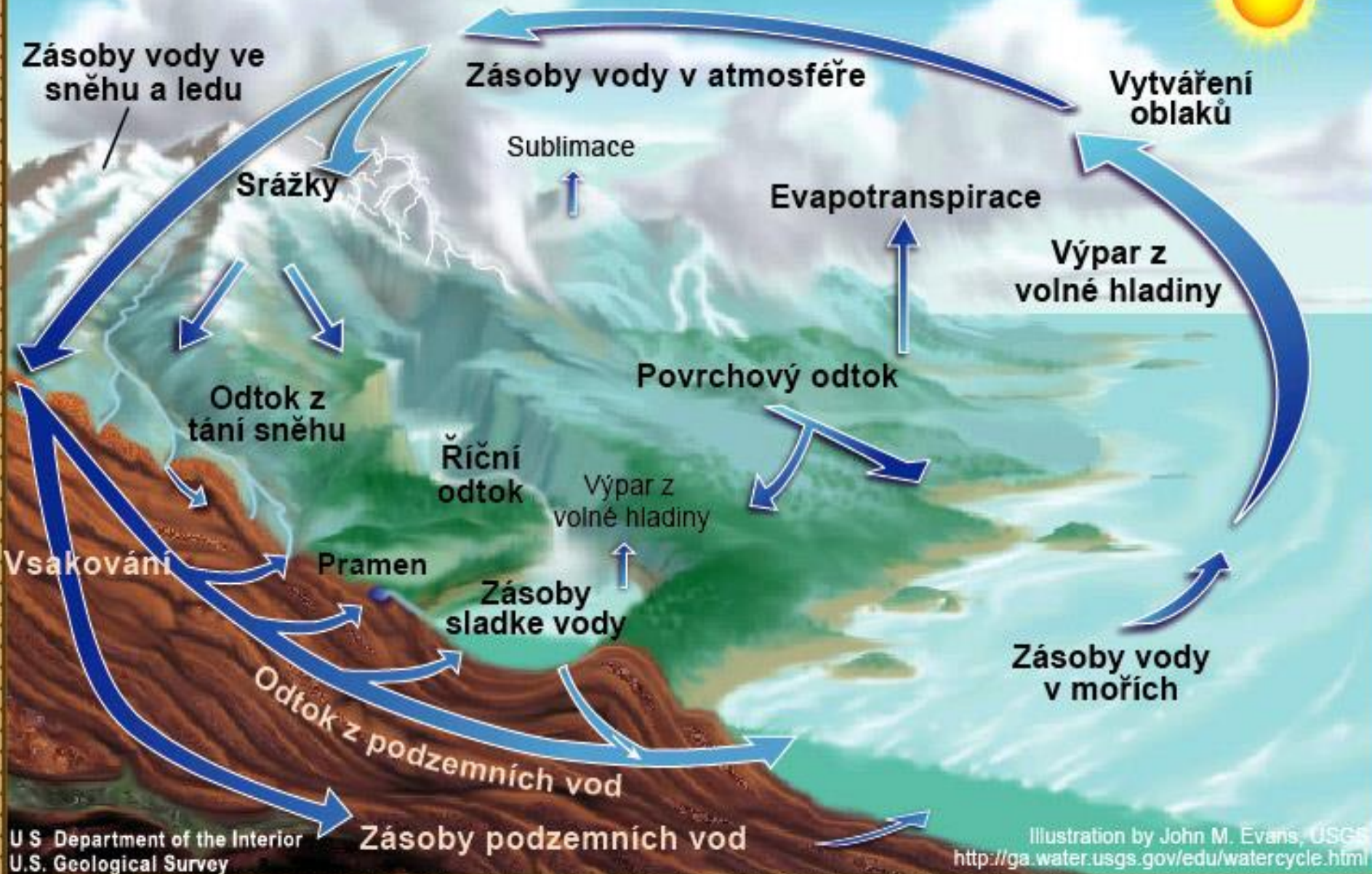
Kotlina
Mrtvého moře:
hladina oceánu



Hydrologický cyklus

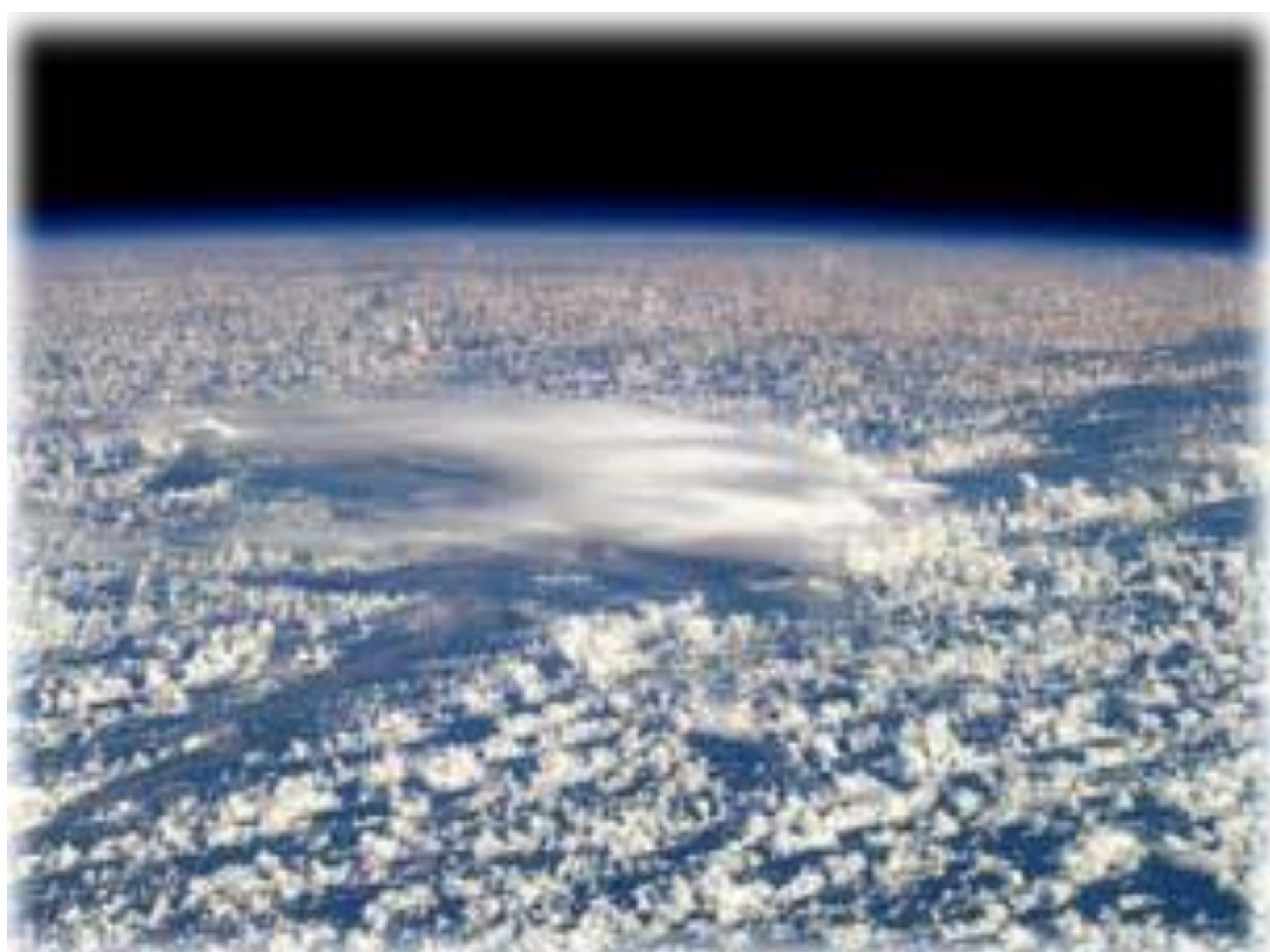


Oběh vody



Oběh vody

- **Sluneční energie** → ohřívání vody ↑ **výpar** → ve vyšších vrstvách troposféry **kondenzace** vodní páry → oblaky → **srážky** (dešťové, sněhové) → **odtok**
- **Oběh vody**: v různých časových a prostorových měřítcích, probíhá v hydrosféře, atmosféře, biosféře, pedosféře a litosféře.
- Oběh vody ovlivňován procesy *fyzikálního klimatického systému a biochemickými cykly* (mezi nimi mnoho vztahů a zpětných vazeb. Do nich zasahuje svojí činností i člověk.



Credit: NASA Astronaut Photograph IS9009-E-8627

Typy oběhu vody na Zemi

Velký hydrologický cyklus - výměna vody mezi oceánem a pevninou (*výpar nad oceány – přenos nad pevninu – srážky – odtok do oceánu (řekami, tání ledovců, výrony podzemní vody)*)

Malý hydrologický cyklus – výměna vody jen v rámci oceánu nebo jen v rámci pevniny (*např. nad bezodtokými oblastmi*).

Přenos vody z oceánu na pevninu

101 000 km³

Výpar nad oceánem
425 000 km³ = 118 cm

Srážky nad oceánem
- přímo
385 000 km³ = 84 cm

- nepřímá
20 cm

Výpar nad pevninou
41 000 km³ = 48 cm

Srážky nad pevninou
111 000 km³ = 45 cm

Přítok do oceánu
130 mm

Odtok vody z pevniny
47 000 km³

Oceán

Pevnina

Kvantifikace oběhu vody na Zemi

Základní vliv: **sluneční záření** a jeho přeměna na teplo—jeho účinkem se voda **vypařuje** (na výpar na Zemi se spotřebuje asi 85% tepla radiační bilance)

celkem 496 000 km³ vody

- nad světovým oceánem 425 000 km³ = 118 cm
- nad pevninou 71 000 km³ = 48 cm

Srážky:

- nad světovým oceánem 385 000 km³ = 87 cm
- nad pevninou 111 000 km³ = 75 cm
- nad oceánem (z pevniny) 20 cm

Přenos vody z oceánu nad pevninu 101 000 km³

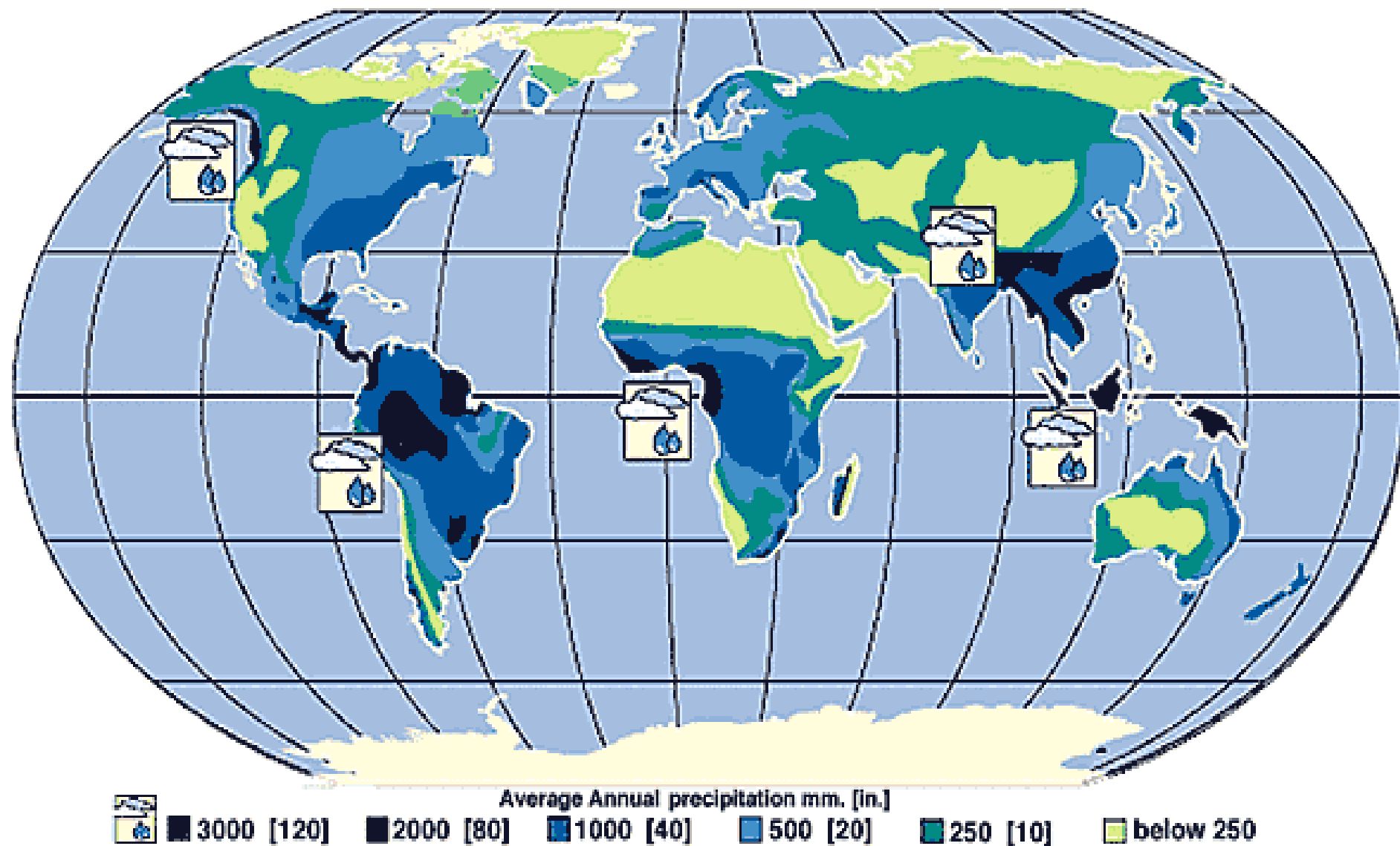
Výpar

- Tepelná energie ze Slunce naruší vazby mezi mol. vody (plynná fáze), mol. vody asi 10 dnů v ATM
- Při 100% relativní vlhkosti výpar ustává
- Největší potenciální výpar – **z volné vodní hladiny** (oceány, moře, jezera, řeky) – až 90% vody do ATM, 10% z povrchu půdy a vegetace
- Max. výpar ve vnějších tropech a subtropech: přes 2000 mm/rok, v z.š. kolem 50° asi 500 mm/rok
- Výpar klesá s rostoucí z.š. a s nadmořskou výškou
- Nad oceány – větší výpar než srážky, nad souší opak





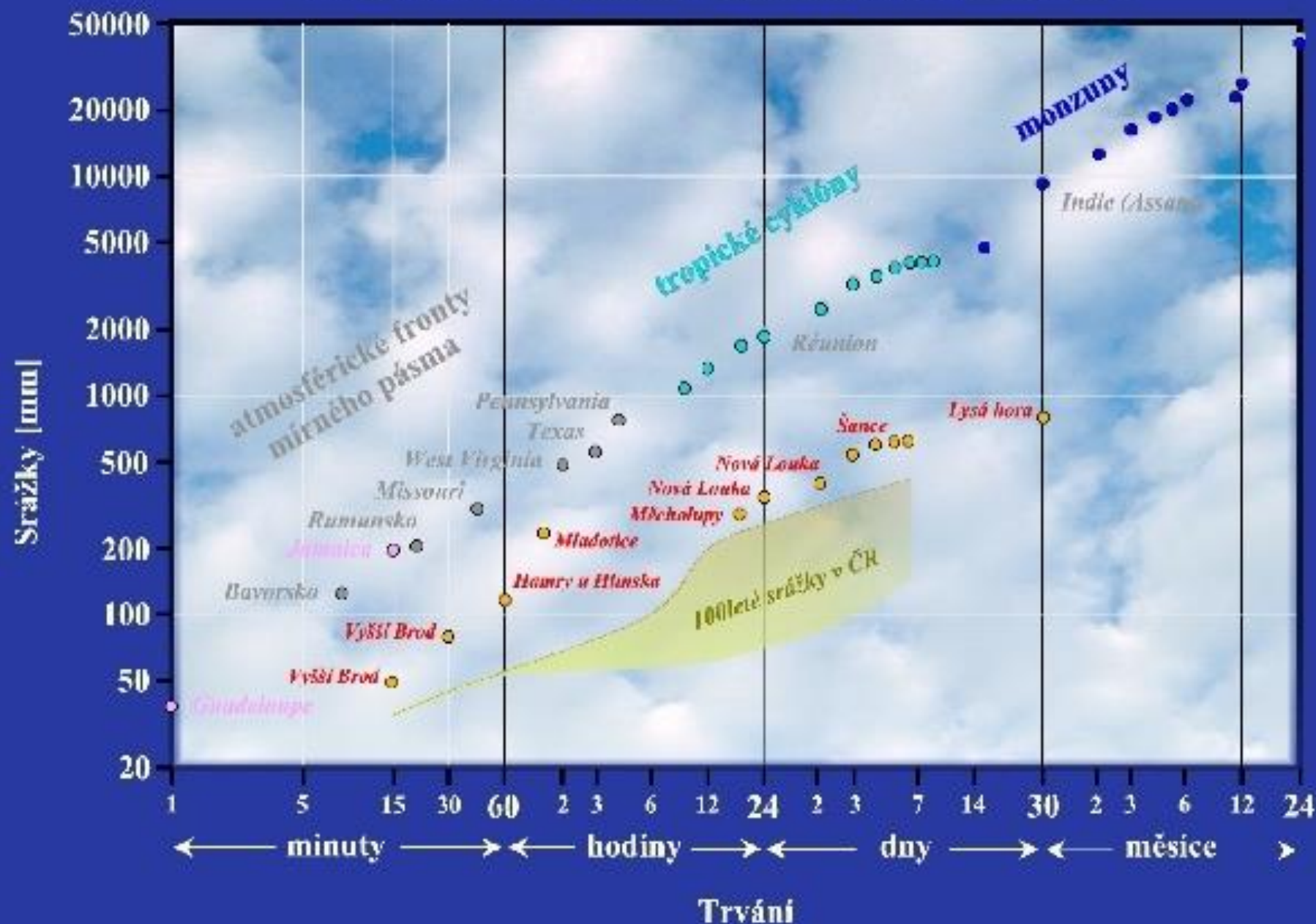
Salar de Uyuni (Bolívie), 10 582 km²



Credit: Earth Forum, Houston Museum of Natural Science

Průměrný roční úhrn srážek (mm)

SVĚTOVÉ A ČESKÉ SRÁŽKOVÉ REKORDY



Kvantifikace oběhu vody na Zemi

Z toho **34% tzv. tranzitní vláh**a = opět se vrací nad oceán (20% nad Asií, Sev. a Již. Amerikou, 38% nad Afrikou, 48% nad Evropou, 76% nad Austrálií)

Odtok z pevniny do oceánu: 47 000 km³ (130 mm)

- odtok řekami **42 000 km³**
- tání ledovců **2 700 km³**
- podzemní přítok **2 200 km³**

Rozdílný přítok do oceánů: Severní ledový 355 mm,
Atlantský 226 mm, Tichý 83 mm, Indický 80 mm

Max. přítok – léto sev. polokoule (35%), min. zima 17%

Globální charakteristiky odtoku

Odtoková výška H_o (mm) – roční objem odtoku
vztažený na plochu (kontinentu, povodí)

Odtokový součinitel (koeficient odtoku)

$$c = H_o/H_s \text{ (v \%)}$$

- **nad 50°s.š. a nad 40°j.š – 50 až 85%** (nízký výpar, permafrost, slabá vodní jímavost půdy, řídká vegetace – malá spotřeba i transpirace vody)
- **10 - 30°s.š., 10-40°j.š. - 20 až 28%** (vysoký výpar, dobrá infiltrace, lepší vod. jímavost půdy, hustá vegetace)
- **rovníkový pás - cca 36%** (bujná vegetace, vysoké srážky, nižší výpar než ve vnějších tropech)

Odtokové a bezodtoké oblasti

Odtokové oblasti pevnin

(mají hydrologické spojení se světovým oceánem)

117 mil. km² (78,5% souše)

Bezodtoké oblasti pevnin

(nemají hydrologické spojení se světovým oceánem)

32 mil. km² (21,5%)

- řeky ústí do bezodtokých jezer, bažin nebo končí v poušti (např. povodí jezer Kaspického, Aralského, Balchaš, Tibet, Sahara, centrální Austrálie, Altiplano – Titicaca, Poopó, Velká pánev – USA)



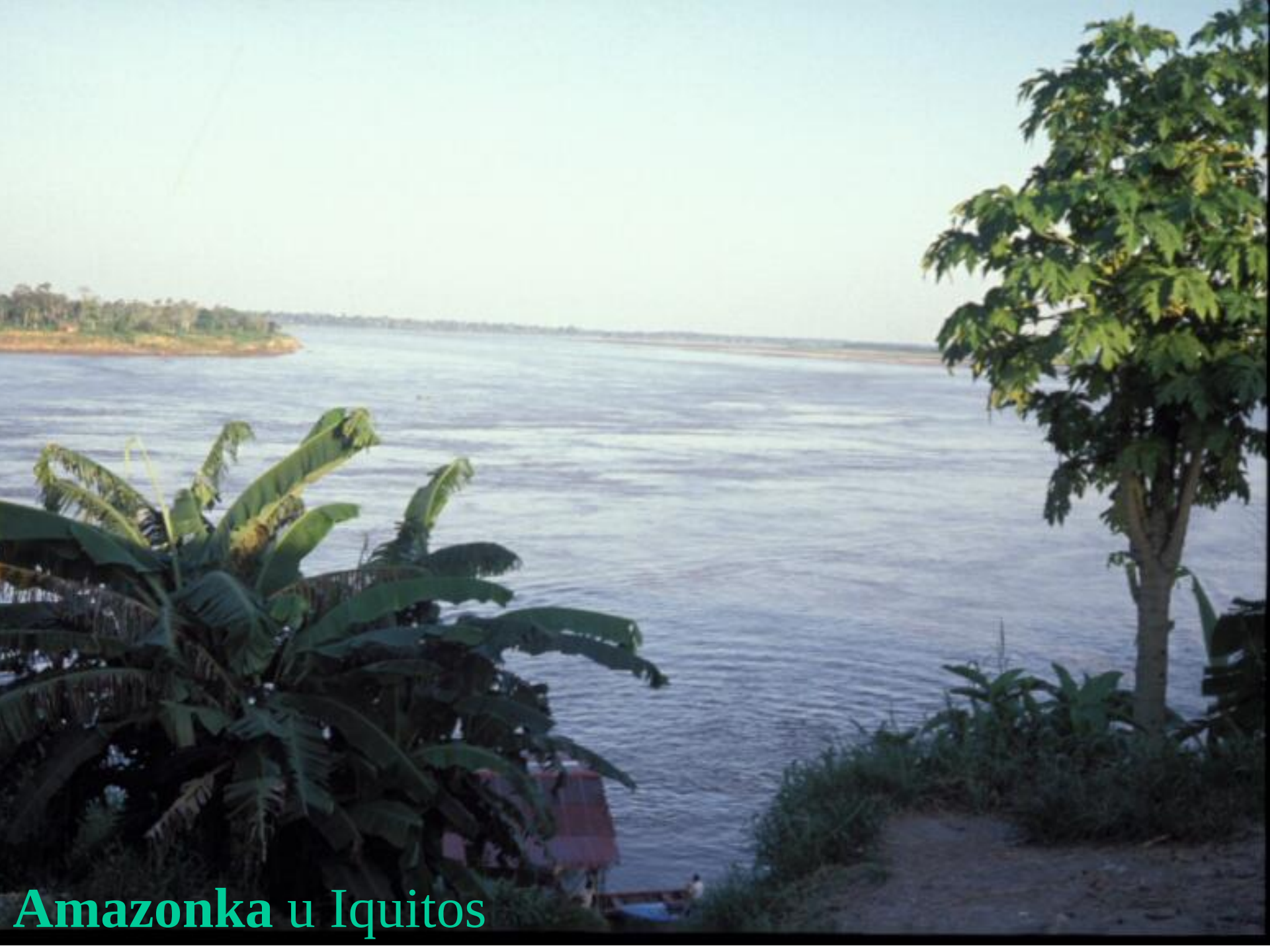
ago Junín, bezodtoká pánev , střední Peru



Amazonka, hranice Peru a Brazílie



Amazonka a Rio Negro u Mánausu



Amazonka u Iquitos



Amazonka v Iquitos

Rio Amazonas – největší řeka naší planety

Délka:
7 062 km

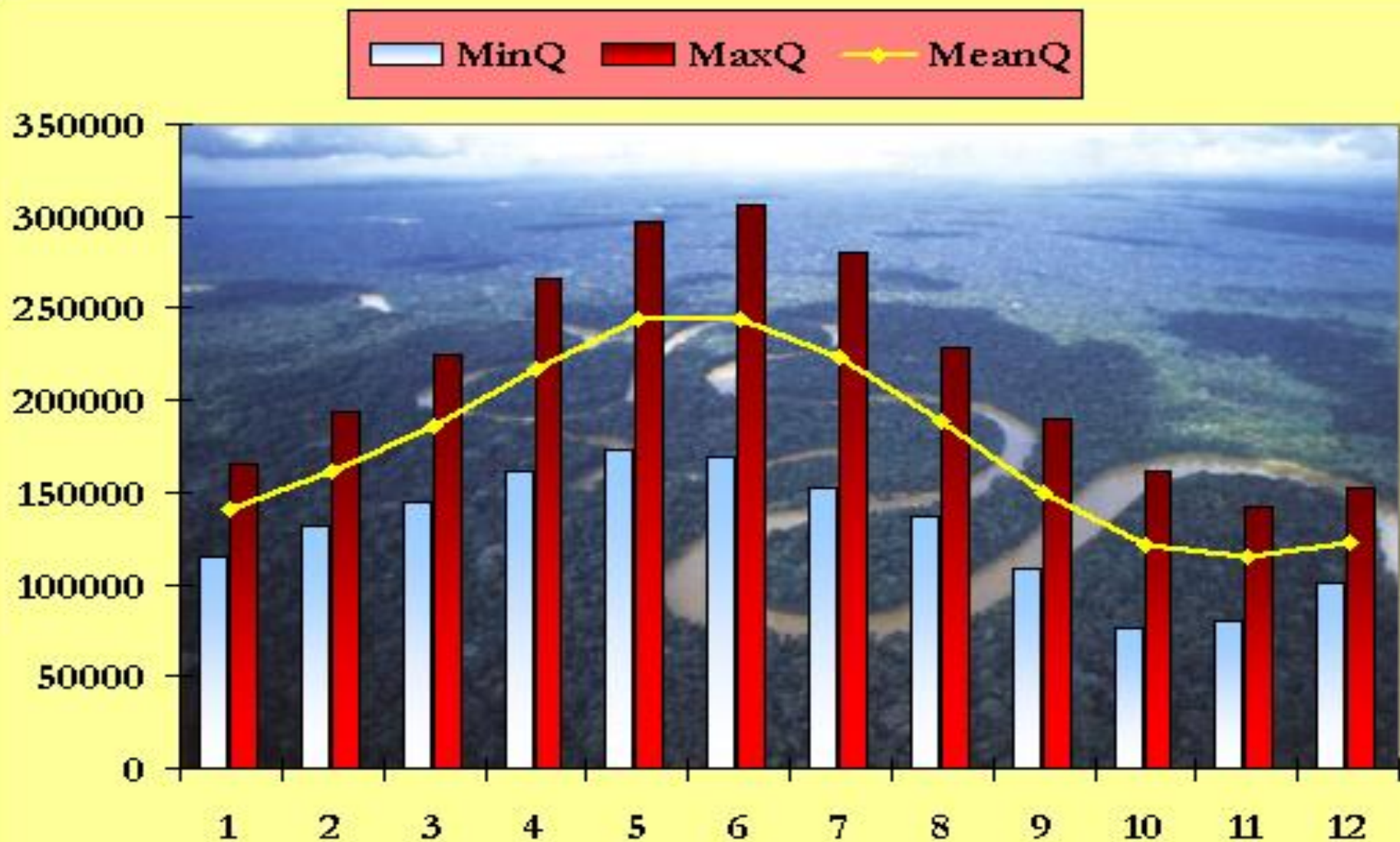
Plocha povodí:
7 mil. km²

Střední průtok:
175 000 m³/s

20 % světového přítoku do oceánu



Minimální, maximální a průměrné měsíční průtoky Amazonky, Obidos, 1928 - 1998



Hydrologická bilanční rovnice

Nejčastěji sestavována pro povodí, lze vypočítat i pro kontinenty, státy):

$$\mathbf{H_s = H_v + H_o \pm H_r}$$

H_s – výška srážek, H_v – klimatický výpar, H_o – výška odtoku, H_r – změna zásob vody v povodí

Povodí – všechna voda, která nad ním spadne v podobě srážek odteče jedním závěrovým profilem.

Vymezeno **rozvodnicí** (*orografická, hydrogeologická*)

Hydrologický rok (u nás 1.11.-31.10.) – všechna voda, která spadne, musí v tomto roce také odtéci.