



# VÝSKUM PERMAFROSTU V POLÁRNYCH OBLASTIACH

Lucia Kaplan Pastíriková

Oborový seminář z FG  
Brno, 26. 4. 2023



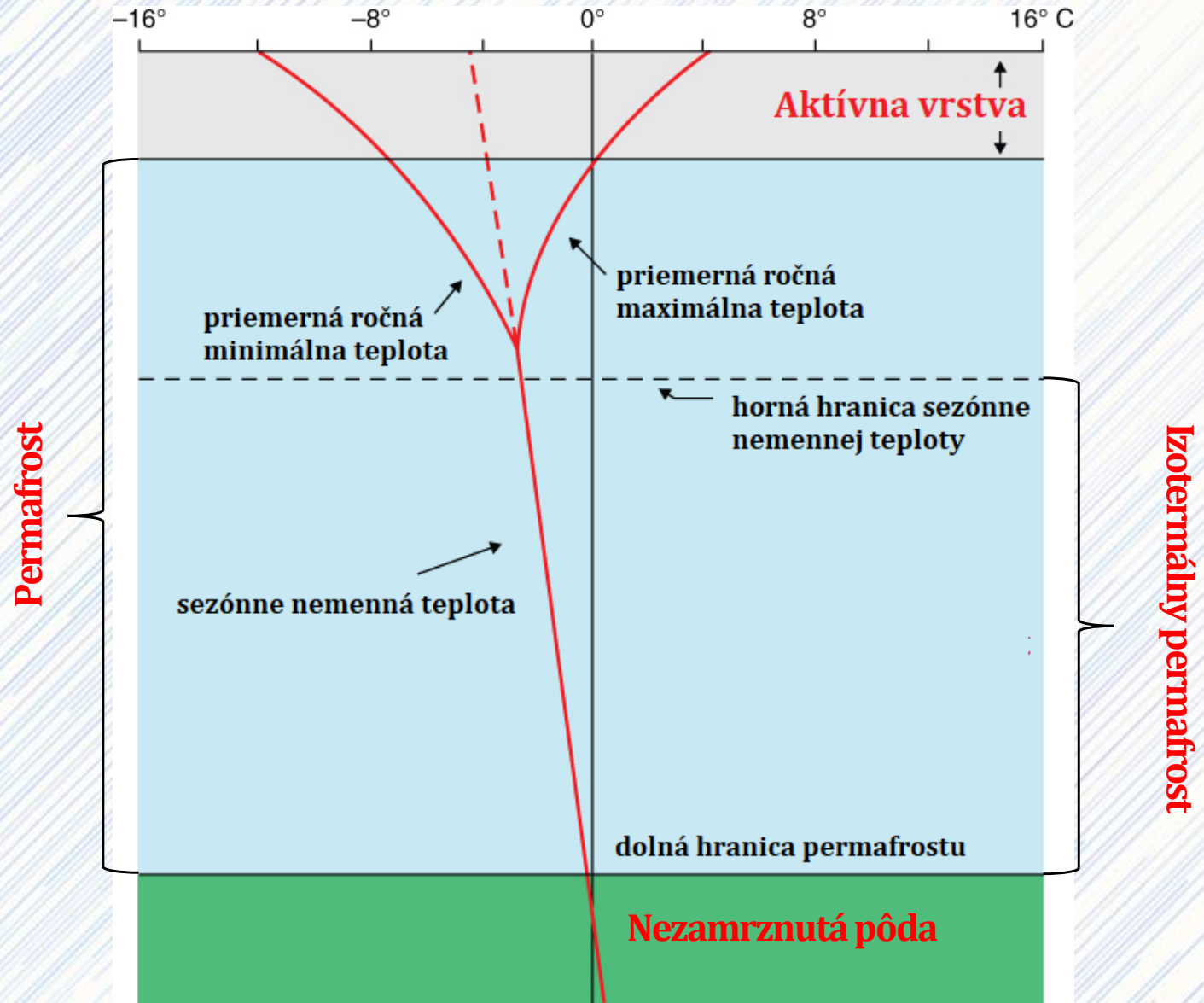
# OSNOVA

- **Permafrost a aktívna vrstva**
  - vlastnosti
- Výskyt permafrostu vo svete
- Odolnosť voči klimatickým zmenám
- Metódy monitoringu
  - Modelovanie teploty
- **Dizertačná práca**  
**(Rekonštrukcia teploty permafrostu)**
  - Záujmová oblasť
  - Model TTOP
  - Zber dát – expedícia na Antarktíde
- **Výsledky ...**



# PERMAFROST

- teplota horniny/pôdy/zvetraliny, ktorá je minimálne počas 2 po sebe idúcich rokov nižšia ako  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- významná súčasť periglaciálnych oblastí
- súvislý/nesúvislý/sporadický/izolovaný



(upravené podľa: SANDELLS, FLOCCO, 2014)



# ALJAŠKA



*(USGS, 2022)*



# SIBÍR

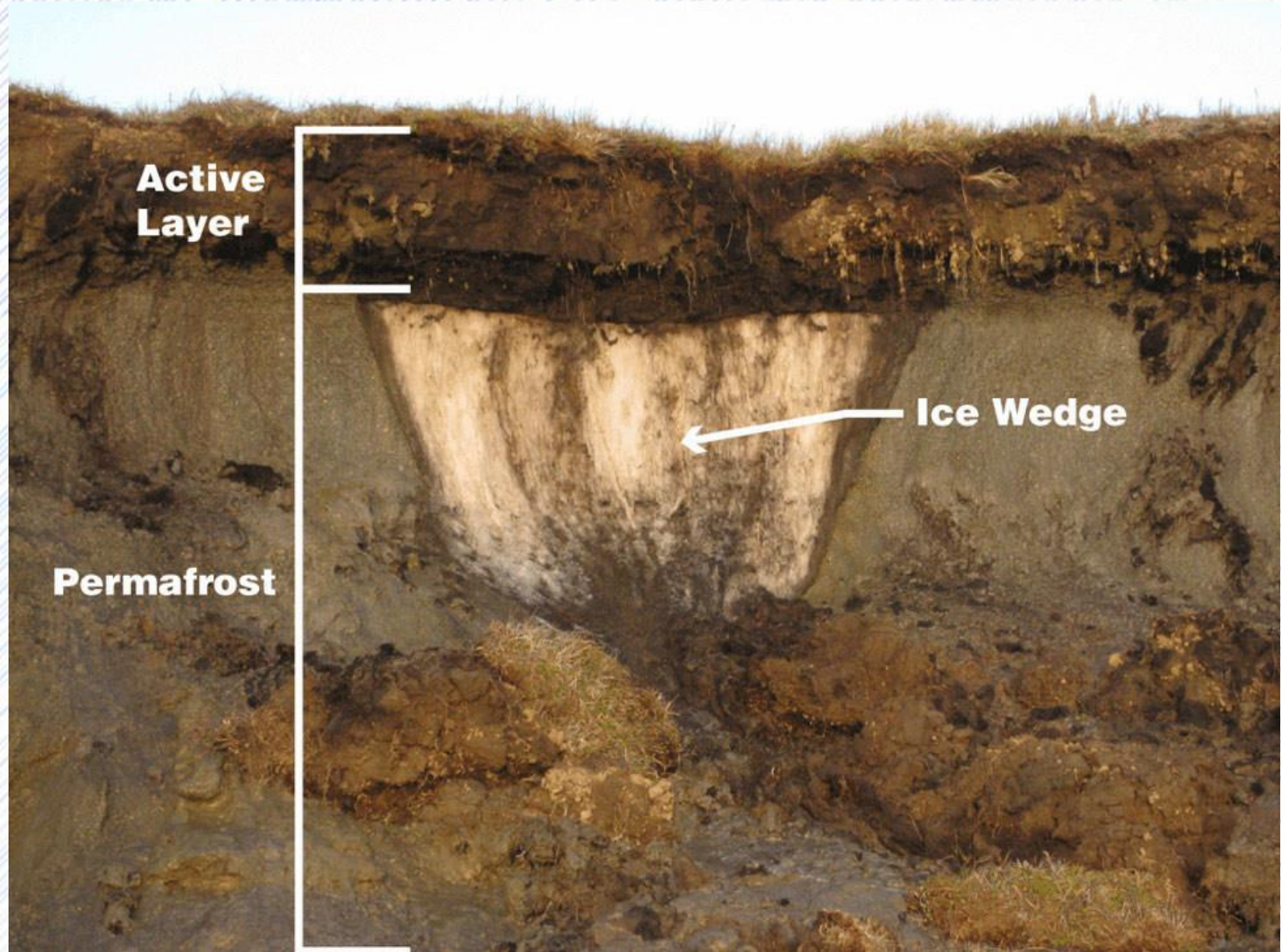


*(USGS, 2022)*



# AKTÍVNA VRSTVA

- vrchná časť zamrznutej pôdy, v ktorej dochádza k sezónnemu topeniu
- monitoring teploty a mocnosti





# TERMÁLNE A FYZIKÁLNE VLASTNOSTI PERMAFROSTU

- teplota pôdy (1-5 cm)
- vplyv ďalších faktorov
  - pôdny pokryv (vegetácia, sneh)
  - obsah vody v pôde

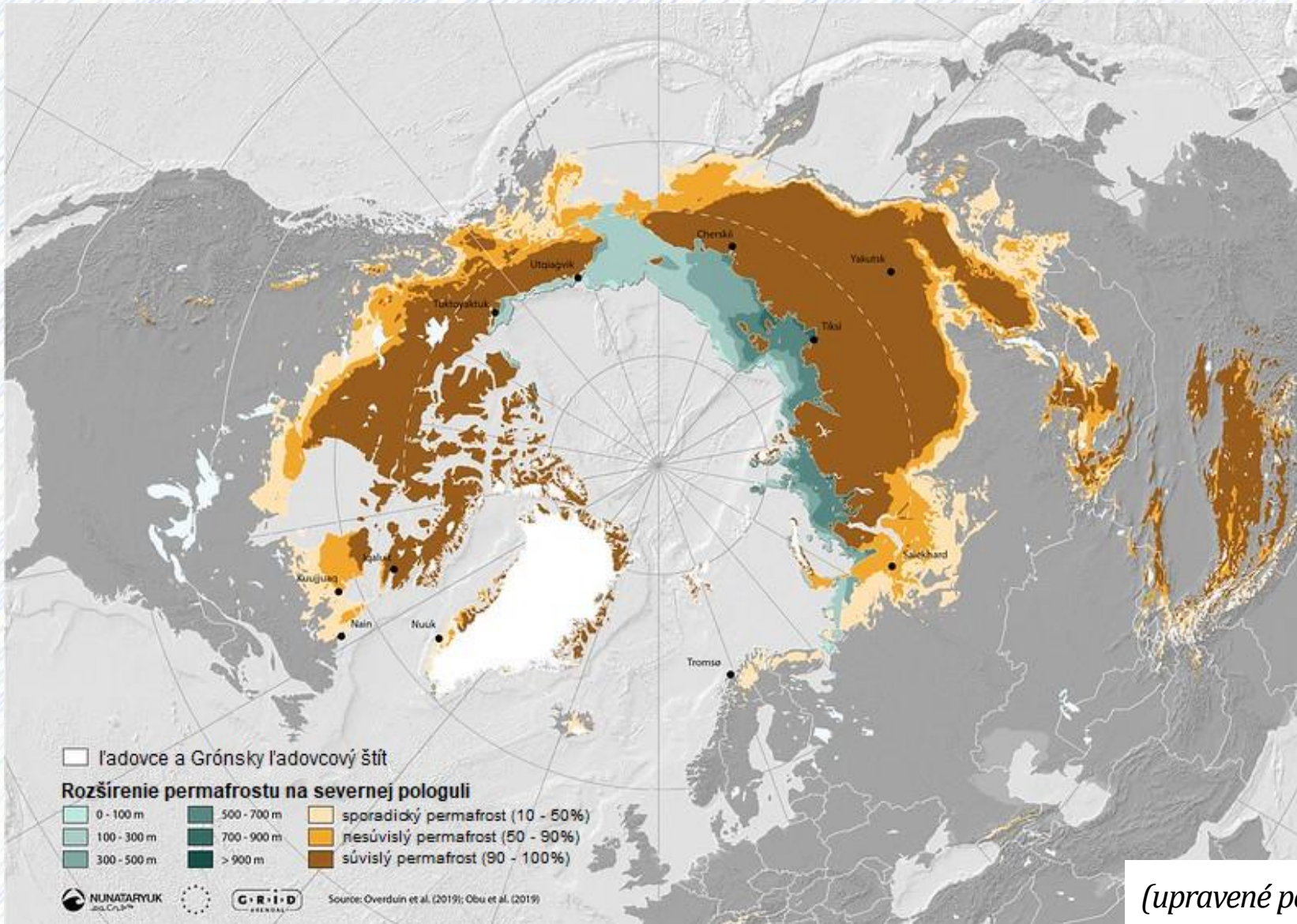
- **tepelná vodivosť**
- **tepelná kapacita**
- **tepelná difuzivita**

Hodnoty tepelnej vodivosti (k)		
Materiál		Tepelná vodivosť (W/m.K)
vzduch		0,024
voda		0,605
ľad (pri 0 °C)		2,23
sneh	sypký, čerstvý	0,086
	na povrchu	0,121
	hustý	0,340
organický materiál	rašelina, suchá	0,05
	rašelina, nezmrznutá	0,50
	rašelina, nasýtená ľadom	2,00
horniny	ílovec	0,6 - 4,0
	vápenec	0,6 - 4,4
	pieskovec	0,9 - 6,5
	bazalt	1,4 - 5,3
	granit	1,7 - 4,0
stavebný materiál	betón	1,3 - 1,7
	ocel'	35 - 52
	drevo	0,12 - 0,16

(upravené podľa: ČERMÁK, RYBACH, 1982; FRENCH, 2007)

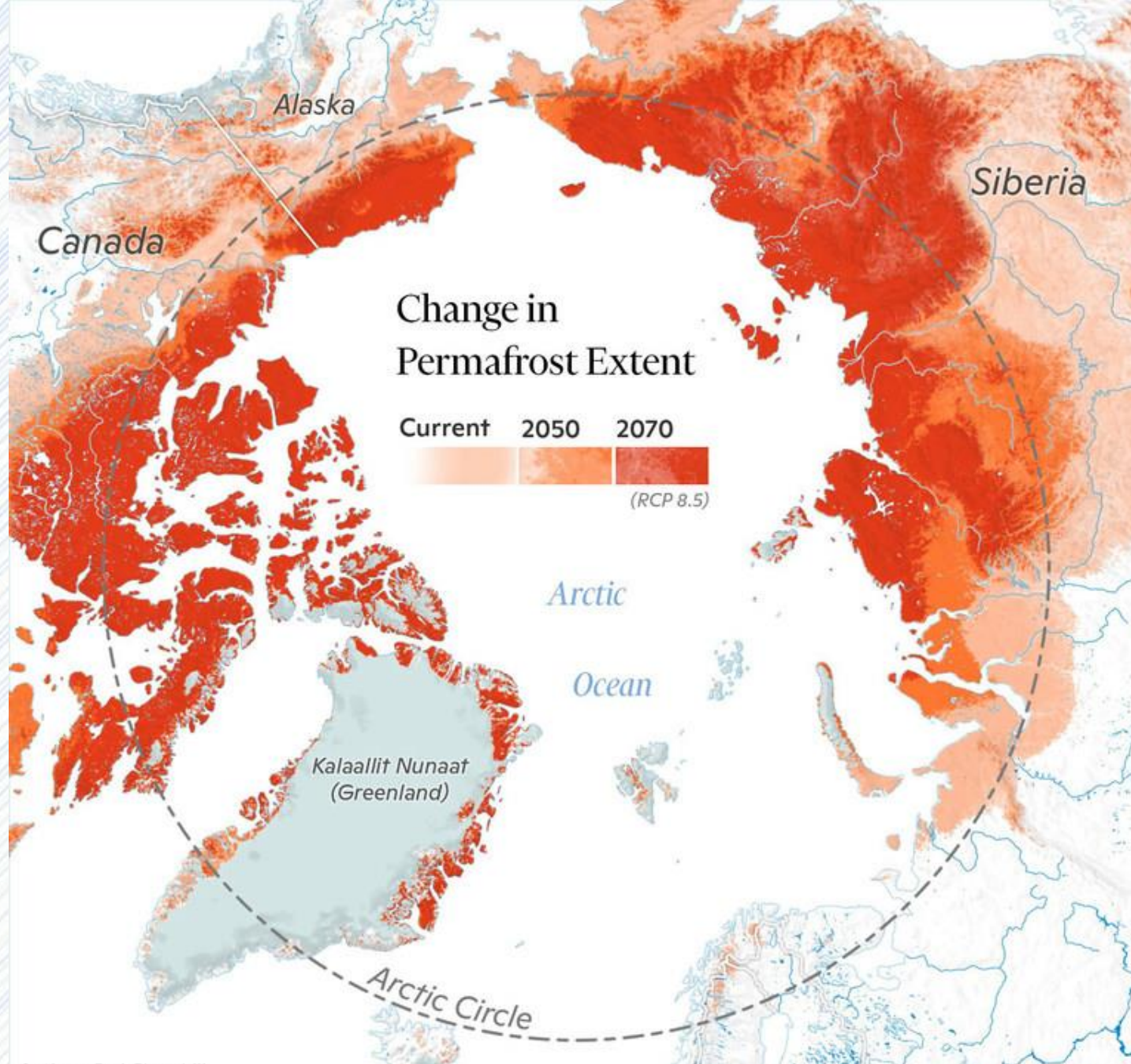


# VÝSKYT PERMAFROSTU – SEVERNÁ POLOGUĽA



(upravené podľa: VIITANEN, L. K., 2020)





Author: Carl Churchill  
Data Sources: (Permafrost) Karjalainen, O. et al. (2019); Natural Earth.

(NUNATARYUK, 2021)



# Life on frozen ground

Permafrost population per region (2019)



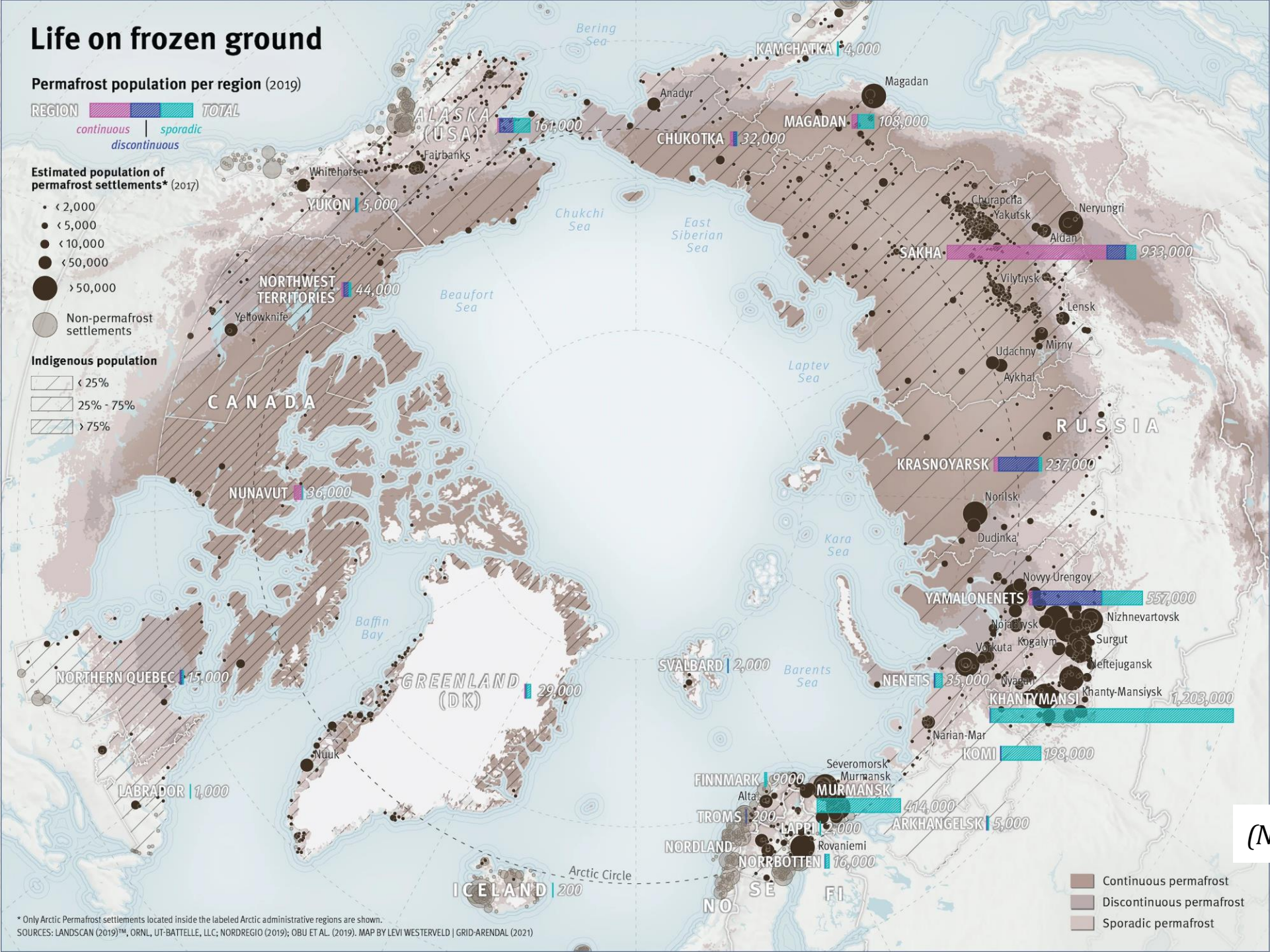
Estimated population of permafrost settlements\* (2017)

- < 2,000
- < 5,000
- < 10,000
- < 50,000
- > 50,000

Non-permafrost settlements

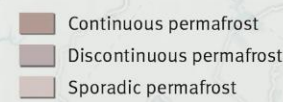
Indigenous population

- < 25%
- 25% - 75%
- > 75%



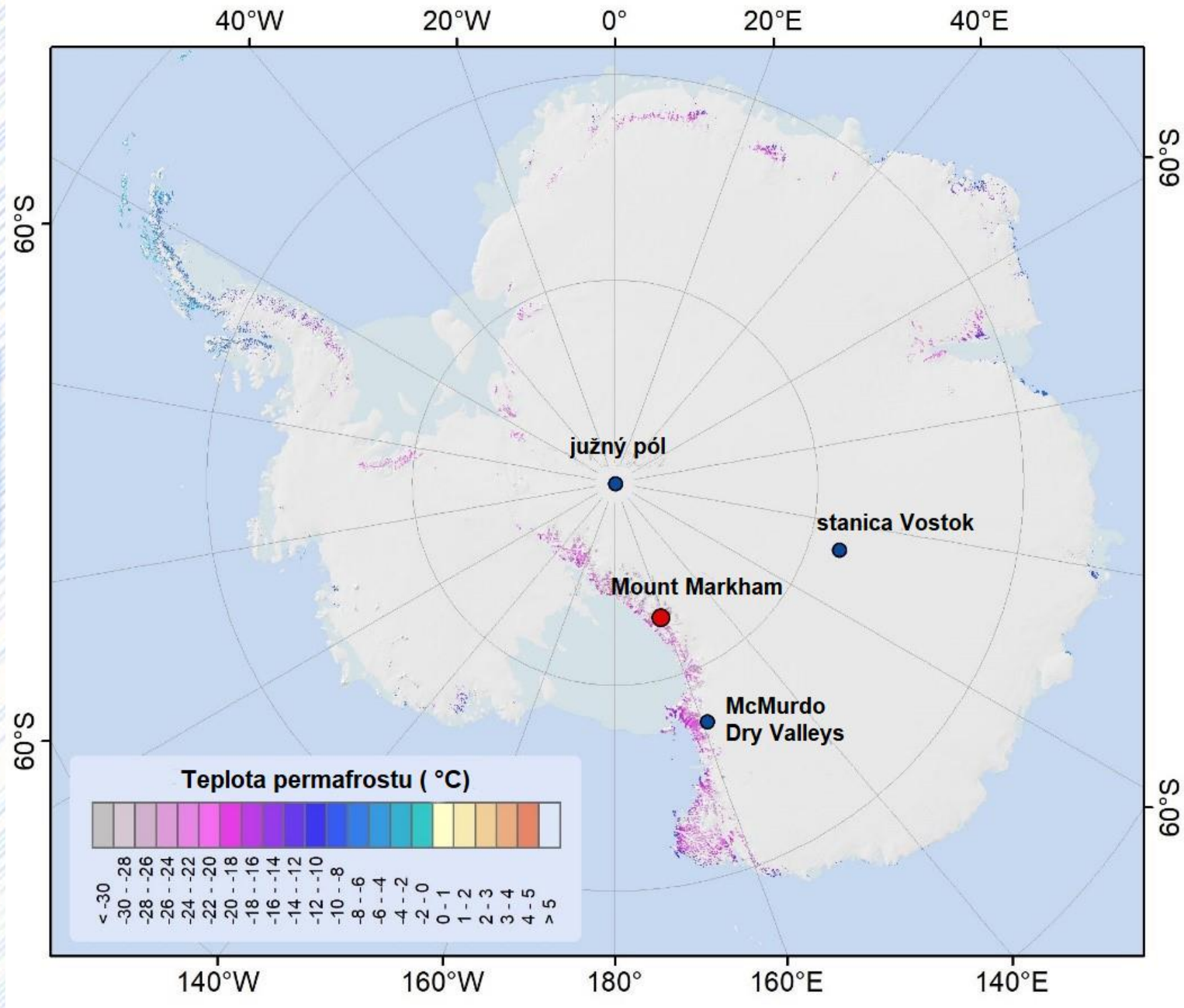
\* Only Arctic Permafrost settlements located inside the labeled Arctic administrative regions are shown.  
 SOURCES: LANDSCAN (2019)<sup>1</sup>, ORNL, UT-BATTELLE, LLC; NORDREGIO (2019); OBU ET AL. (2019). MAP BY LEVI WESTERVELD | GRID-ARENDAL (2021)

(NUNATARYUK, 2021)





# VÝSKYT PERMAFROSTU - ANTARKTÍDA



(upravené podľa: OBU a kol., 2020)



# ODOLNOSŤ PERMAFROSTU NA KLIMATICKÉ ZMENY

- Interakcia viacerých faktorov:
  - topografia
  - geológia
  - hydrologické pomery
  - vlastnosti pôdy
  - pokryv (vegetácia/sneh, ...)
  - zrážková činnosť



(NUNATARYUK, 2022)



# PERMAFROST A OTEPĽOVANIE...

- Dopady (príklady):
  - Degradácia permafrostu (stenčovanie povrchovej časti)
  - Erózia pôdy/pobrežia
  - Narušenie výmeny energie a uhlíkového cyklu
  - Zásah do hydrologických procesov
  - Zmeny lokálnej ekologickej rovnováhy
  - Zmeny v migrácií živočíchov
  - Narušenie stability obývaných lokalít a dopravnej infraštruktúry

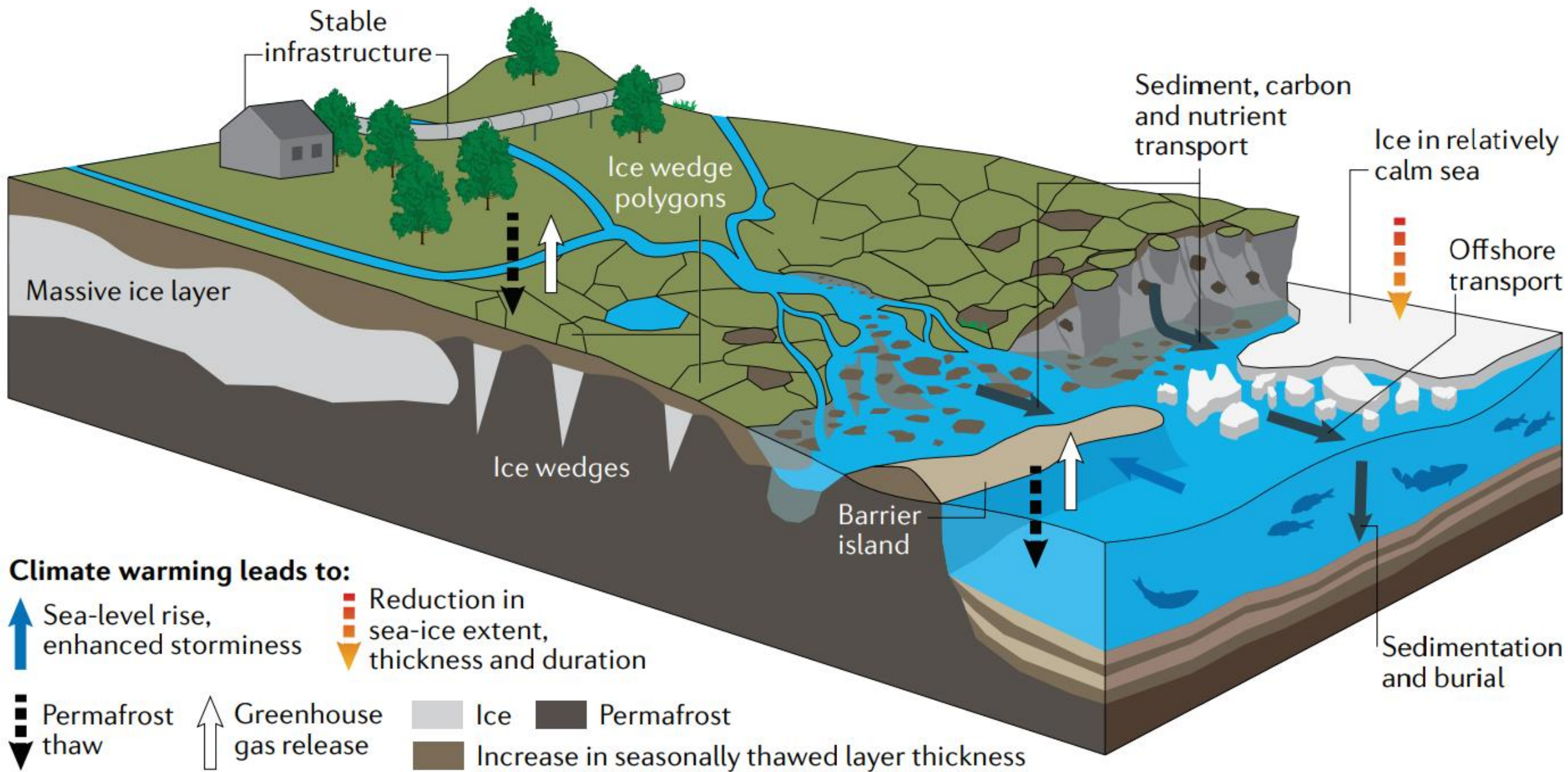


*(NUNATARYUK, 2019)*

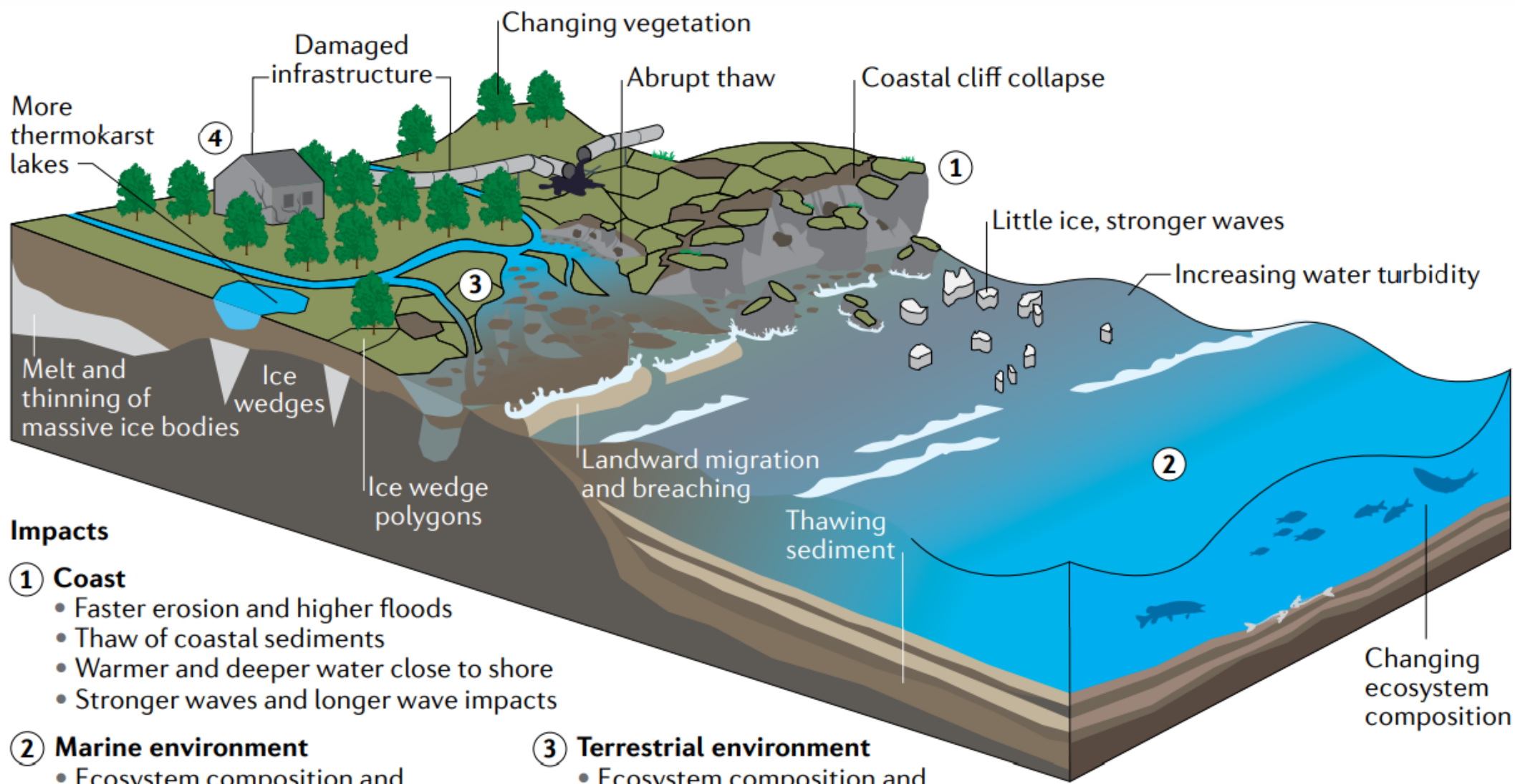


*(THE ARCTIC INSTITUTE, 2020)*









**Impacts**

**① Coast**

- Faster erosion and higher floods
- Thaw of coastal sediments
- Warmer and deeper water close to shore
- Stronger waves and longer wave impacts

**② Marine environment**

- Ecosystem composition and function shifts
- Enhanced sediment, carbon and nutrient fluxes
- Changing light conditions
- Ocean acidification
- Change or loss of fishing grounds

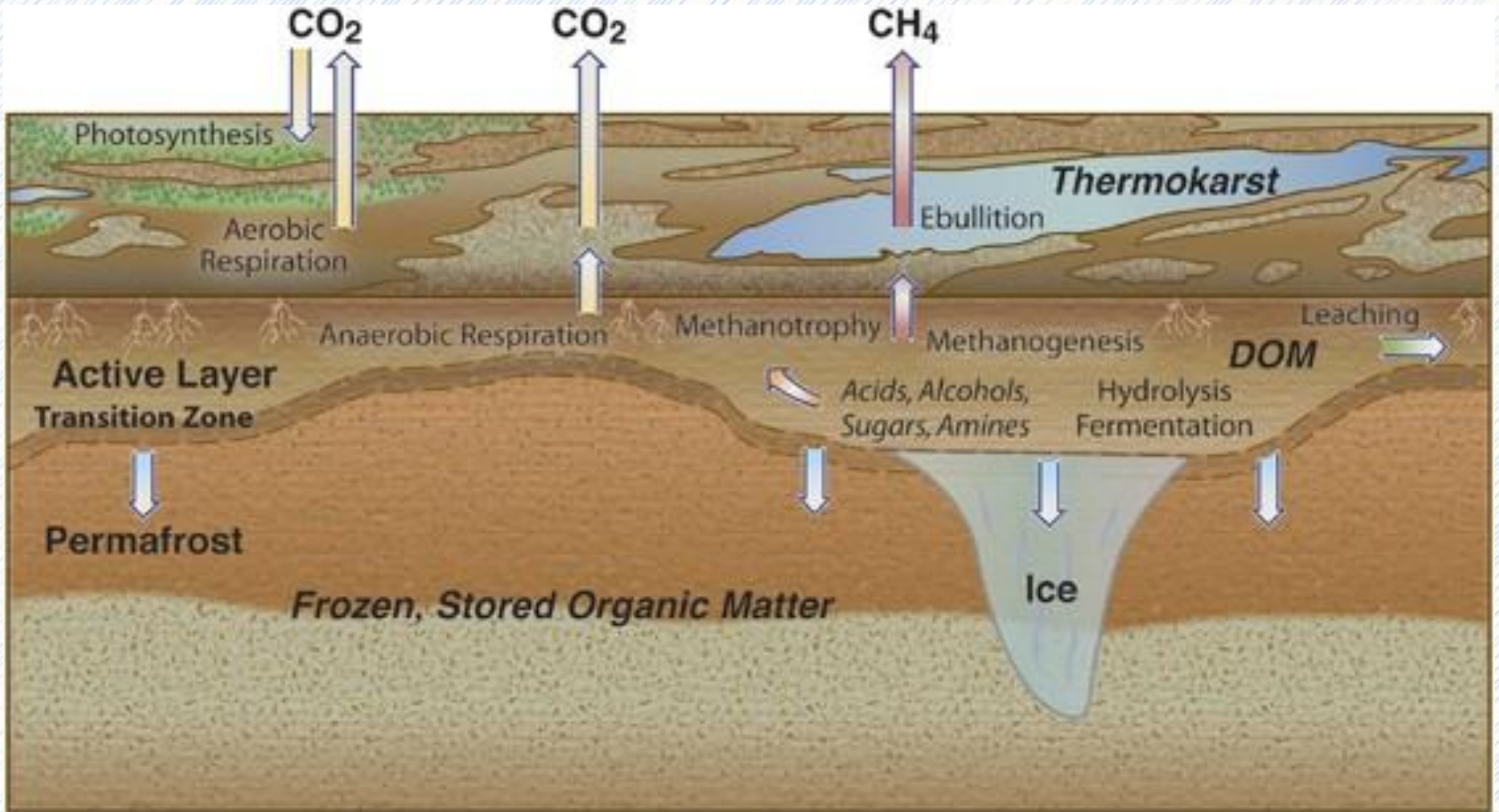
**③ Terrestrial environment**

- Ecosystem composition and function shifts
- Increasing thawing depth of soil
- Changing vegetation
- Changing hydrology
- Increasing landscape instability
- Change or loss of hunting grounds

**④ Built environment**

- Damage of built structures and cultural heritage
- Damage of refuse sites and waste lagoons, causing contamination of environment





ESD11-015

(GRAHAM a kol., 2012)





*(THE SIBERIAN TIMES, 2021)*



*(AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE., 2023)*



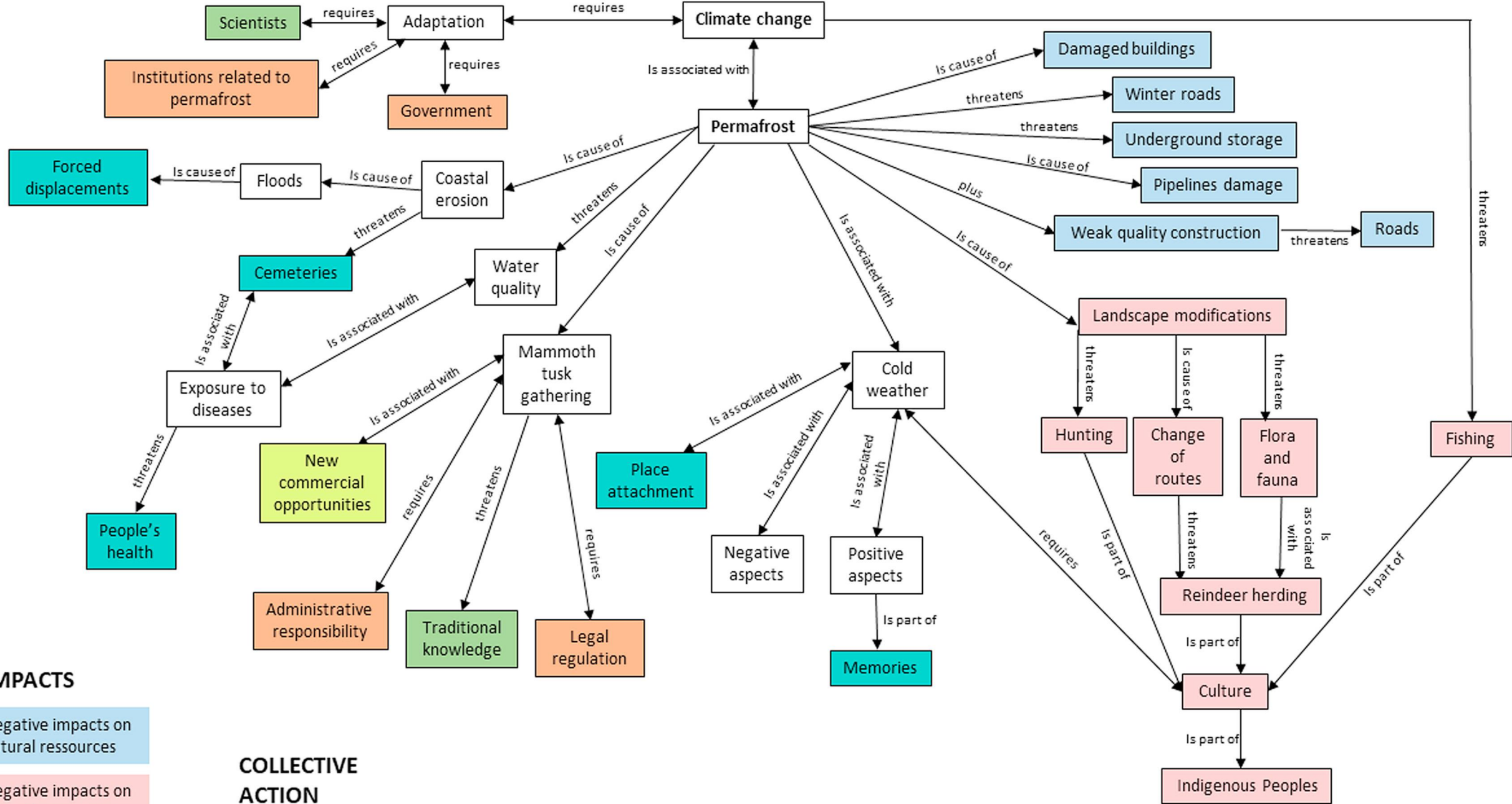


*(BBC, 2021)*



*(EARTH, 2018)*





### IMPACTS

Negative impacts on natural resources

Negative impacts on natural resources

Negative impacts on health & mental well-being

### COLLECTIVE ACTION

Governance needed

Knowledge related issues

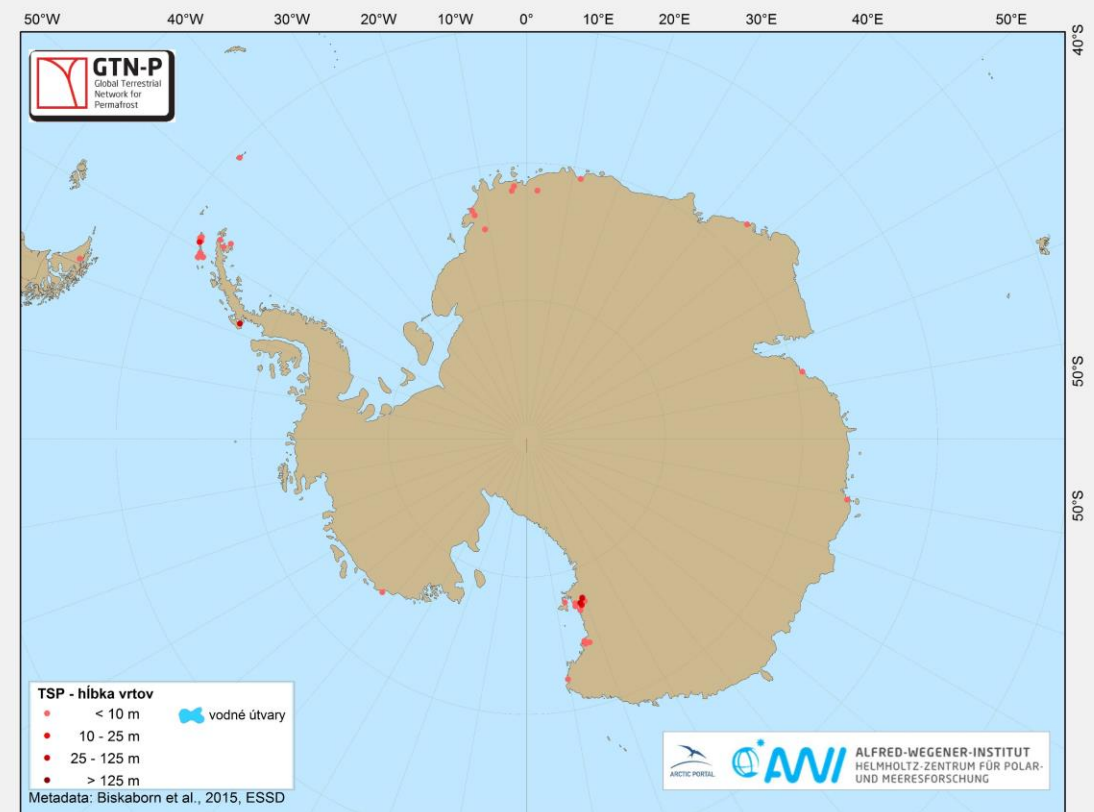
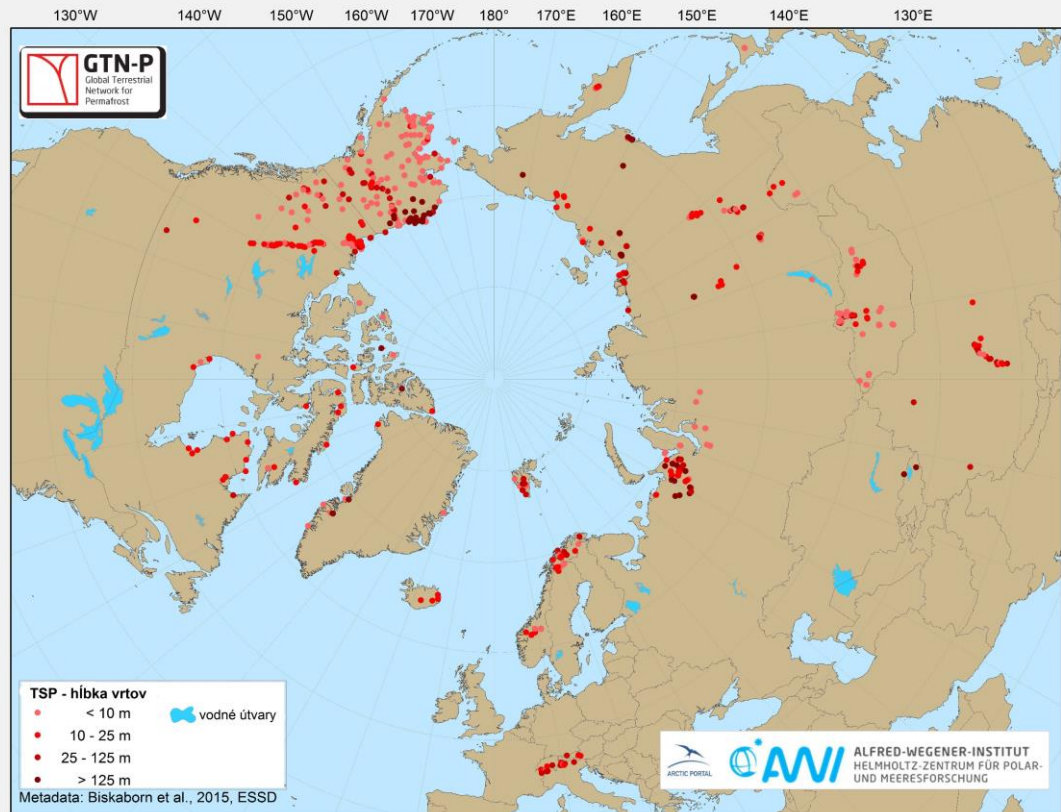
### OPPORTUNITIES

Emerging opportunities



# METÓDY MONITOROVANIA PERMAFROSTU

- priame merania (teplotné) – vrty
- horské prostredie – väčšia náročnosť



(upravené podľa: BISKABORN a kol., 2015)



- <http://gtnpdatabase.org/boreholes>

Home > Boreholes

Boreholes - Permafrost Temperatures

Draw selection zone Reset

Elevation Range (m) -20 to 5068

Depth Range (m) 0 to 1028

Name	Site	Country	Gtn-P	Vegetation	Permafrost	Elevation	Depth	Data	Select
<a href="#">0 (Deputatsky)</a>	<a href="#">Deputatskiy</a>	Russia	RU 118	Shrub Tundra	Continuous	462.00	88.00	No	<input type="checkbox"/>
<a href="#">01TC1</a>	<a href="#">Yukon</a>	Canada	CA 196	Grassland	Continuous	18.00	8.00	No	<input type="checkbox"/>
<a href="#">01TC2</a>	<a href="#">Yukon</a>	Canada	CA 197	Grassland	Continuous	95.00	10.00	No	<input type="checkbox"/>
<a href="#">03TC1</a>	<a href="#">Yukon</a>	Canada	CA 195	Grassland	Discontinuous	3.00	6.00	No	<input type="checkbox"/>
<a href="#">08</a>	<a href="#">Deputatskiy</a>	Russia	RU 119	Forest	Continuous	473.00	96.00	No	<input type="checkbox"/>



# METÓDY MONITOROVANIA PERMAFROSTU

- proxy dáta
- geofyzikálna technika
- **použitie modelov**
  - (napr. CoupModel, Stefanov model, TTOP model)



(USGS, 2022)



# DIZERTAČNÁ PRÁCA

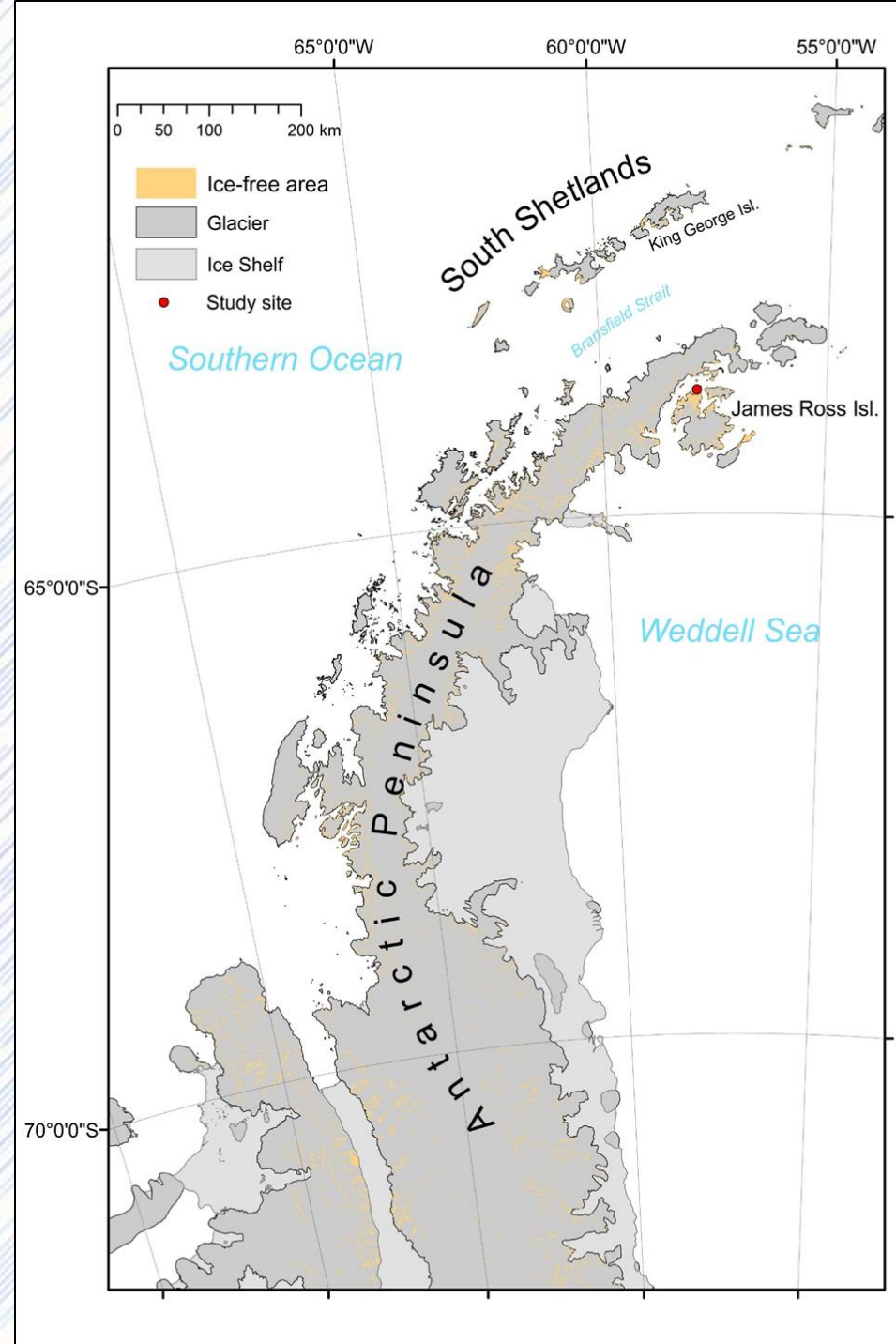
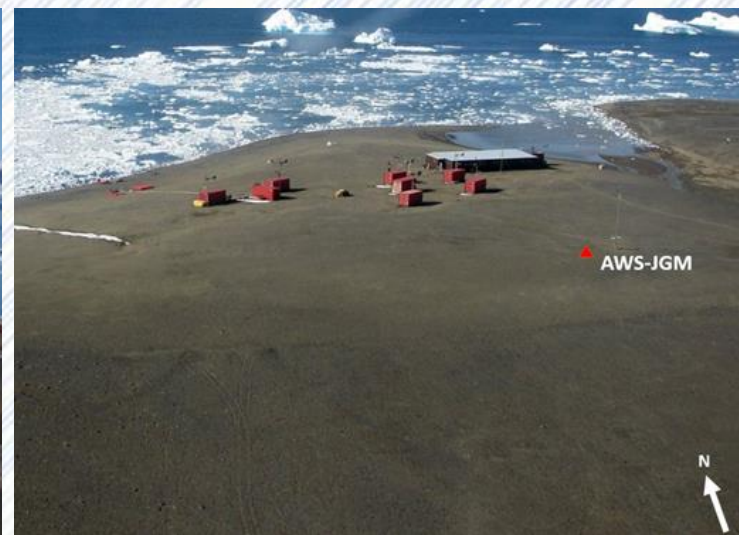
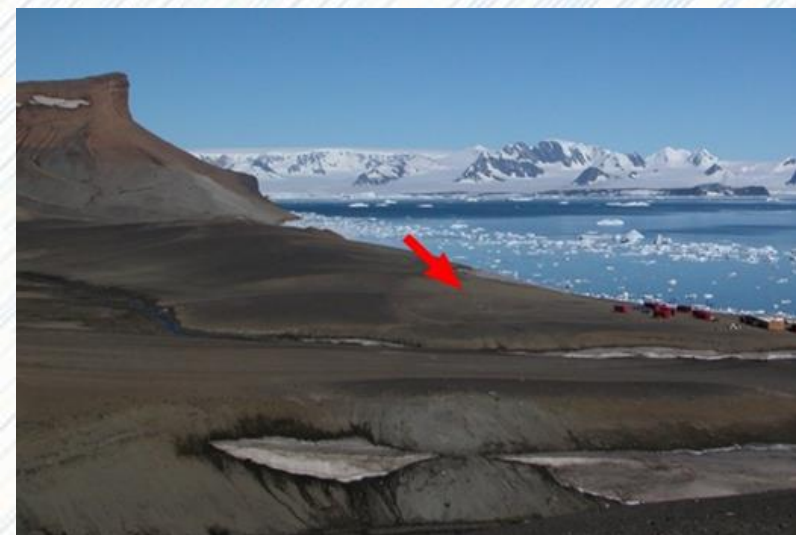
## Rekonštrukcia teploty permafrostu v oblasti Antarktického polostrova

- 1) Zhodnotenie variability teploty permafrostu na základe priamych prístrojových meraní (obdobie 2004/2011-2020)
- 2) Rekonštrukcia teploty permafrostu na základe historických meraní z bližších staníc a ERA5-Land reanalýz (obdobie od roku 1950)
- 3) Predikcia teploty permafrostu na základe klimatických modelov CMIP a emisných scenárov (obdobie 2020-2100)



# ZÁUJMOVÁ OBLASŤ

- SV časť Antarktického polostrova
- Ostrov Jamesa Rossa
- polostrov Ulu
  - najväčšia odľadnená plocha v oblasti AP
  - kontinuálny permafrost
- Česká stanica Johanna Gregora Mendela





# MODEL TTOP

$$TTOP = \frac{k_t \cdot n_t \cdot TDD - k_f \cdot n_f \cdot FDD}{k_f \cdot P}$$

**TTOP** - priemerná ročná teplota vrchnej časti permafrostu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$k_t$  - tepelná vodivosť pôdy ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$n_t$  - n-faktor (topenie)

**TDD** - index topenia ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dni}$ )

$k_f$  - tepelná kapacita pôdy ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$n_f$  - n-faktor (mrznutie)

**FDD** - index mrazenia ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dni}$ )

**P** - ročná perióda (počet dní)

- teplota vzduchu
- teplota pôdy (5 cm)
- teplota pôdy (75 cm)
- fyzikálne vlastnosti pôdy
  - vlhkosť pôdy
  - tepelná vodivosť (k)
  - tepelná kapacita (c)







# TERÉNNÁ PRÁCA

- **pôdne sondy**

- odoberanie vzoriek na laboratórne meranie a odvoz
  - kovové valčeky
- meranie pôdnej vlhkosti priamo v teréne
- meranie teploty pôdy/permafrostu





# TERÉNNÁ PRÁCA

- **pôdne sondy**

- odoberanie vzoriek na laboratórne meranie a odvoz
- meranie pôdnej vlhkosti priamo v teréne

- **HydroSense**

- manuálny zápis
- 3 merania pre 1 bod
- meranie teploty pôdy/permafrostu





# TERÉNNÁ PRÁCA

- pôdne sondy
  - odoberanie vzoriek na laboratórne meranie a odvoz
  - meranie pôdnej vlhkosti priamo v teréne
  - meranie teploty pôdy/permafrostu
    - **Greisinger**
      - 1 meranie pre 1 bod









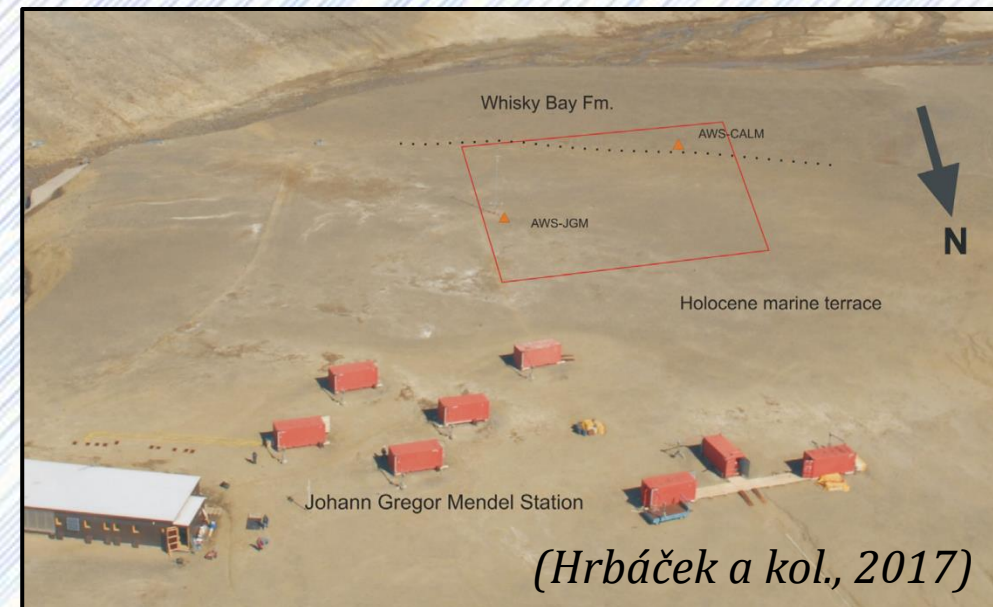
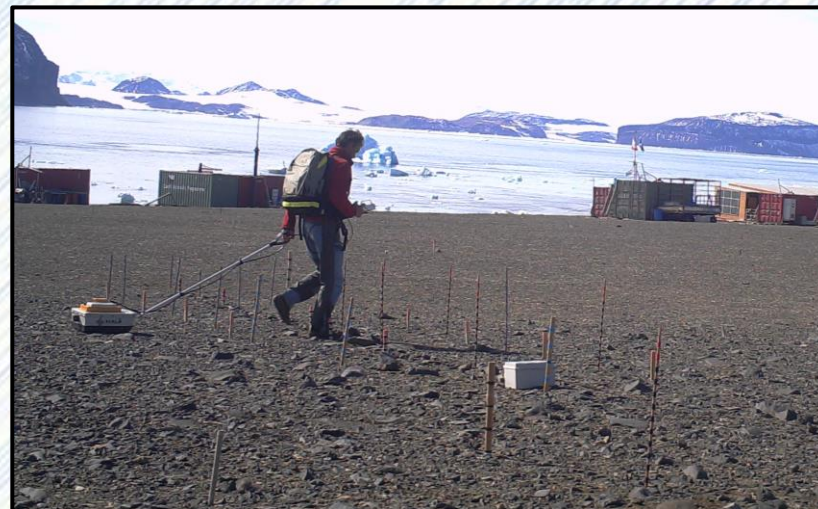
# AKTÍVNA VRSTVA

- pôdna sondýrka – monitorovanie mocnosti aktívnej vrstvy
- georadar

## ▪ CALM-S

(Circumpolar Active Layer Monitoring - South)

- pravidelné a podrobné skúmanie zmien aktívnej vrstvy/vrchného permafrostu
- na OJR od roku 2014
- významný vplyv litológie





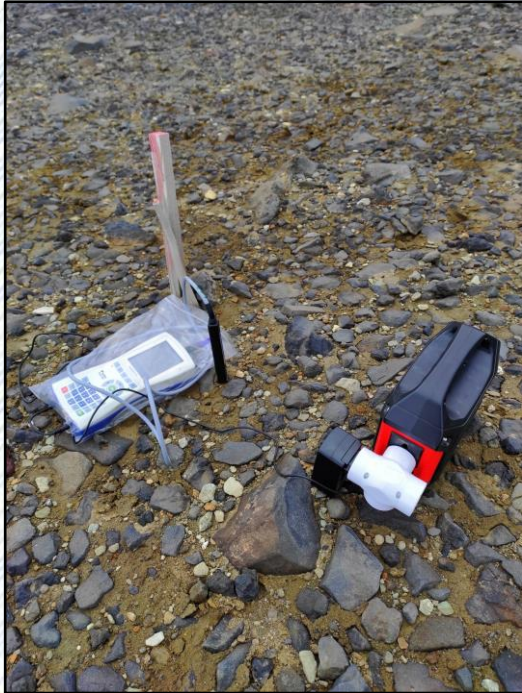
# ANTARKTÍDA

- kontrola a zber dát  
(AWS stanice, pôdne dataloggery, fotopasti - snehová pokrývka)
- meranie priamo v teréne
- servis a údržba AWS
- základné spracovanie časopriestorových dát aktívnej vrstvy  
(vlhkosť, termálne vlastnosti)
- odber pôdnych vzoriek na následné laboratórne analýzy
- geomorfologické mapovanie





# Expedícia - ANTARKTÍDA







Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



## Permafrost table temperature and active layer thickness variability on James Ross Island, Antarctic Peninsula, in 2004–2021



Lucia Kaplan Pastřířková<sup>a,\*</sup>, Filip Hrbáček<sup>a</sup>, Tomáš Uxa<sup>b</sup>, Kamil Láska<sup>a</sup>

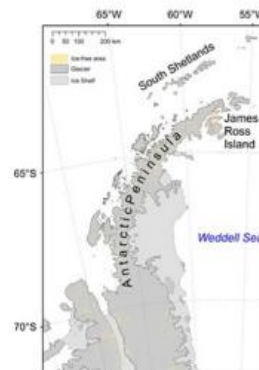
<sup>a</sup> Department of Geography, Masaryk University, Brno, Czech Republic

<sup>b</sup> Institute of Geophysics, Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic

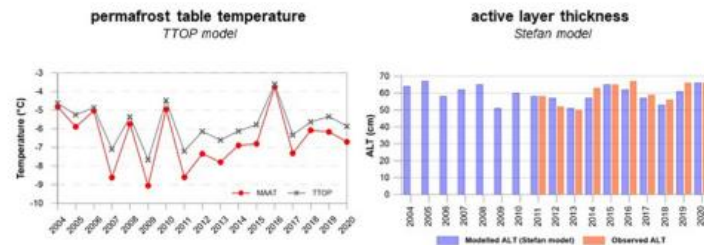
### HIGHLIGHTS

- Permafrost and active layer changes are important indicators of climate variability.
- Regular study of the properties and changes of permafrost and the active layer is crucial for revealing long-term trends.
- TTOP and Stefan model has advantages in obtaining data of the frozen ground.

### GRAPHICAL ABSTRACT



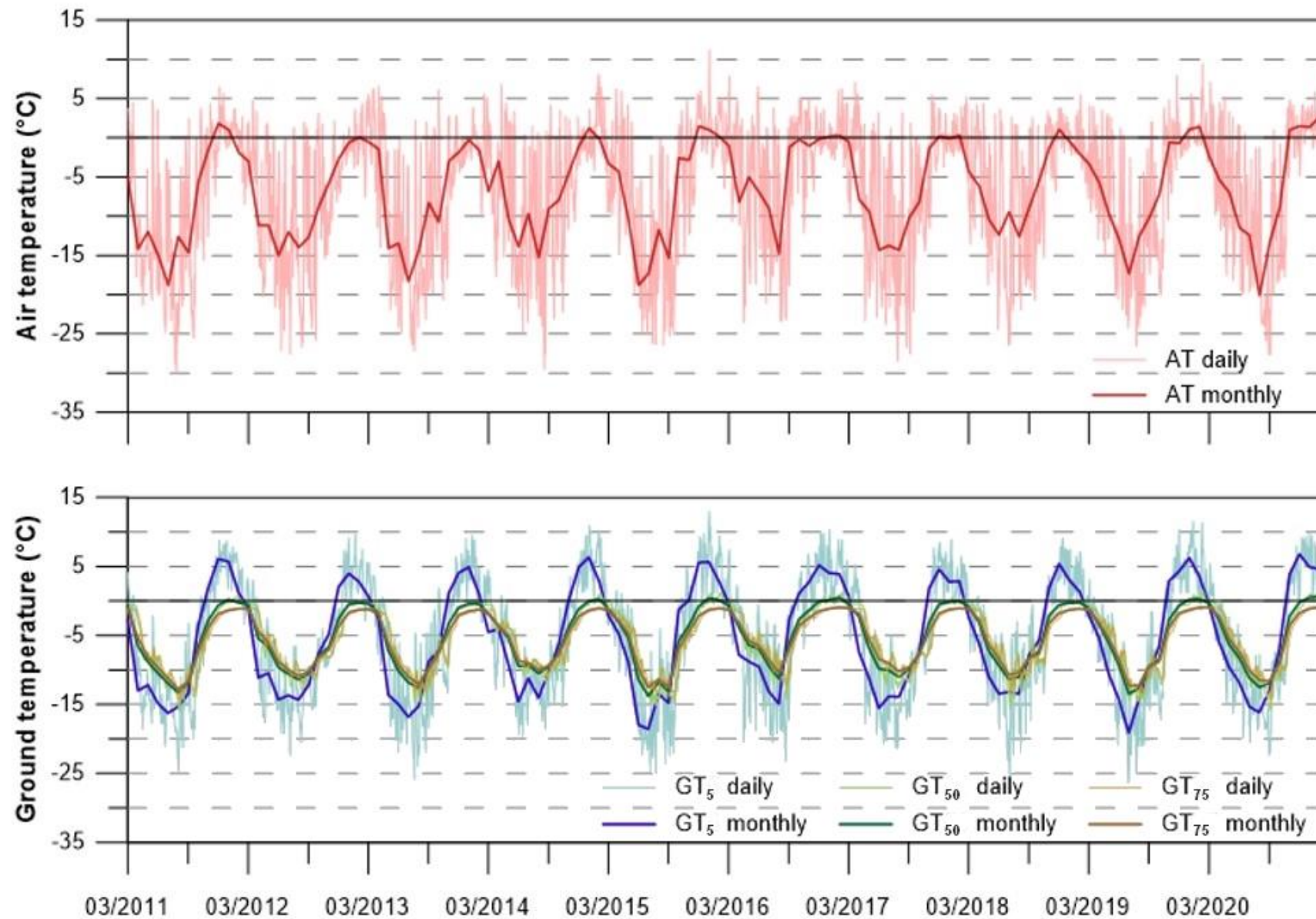
### Reconstruction



- Changes in permafrost and the active layer are indicators of climate change in polar areas.
- Regular monitoring of temperature and soil properties is crucial for more precise research.
- Variability of the temperature trend influences the soil environment.
- A number of factors (especially abiotic) affect the dynamics of the active layer.



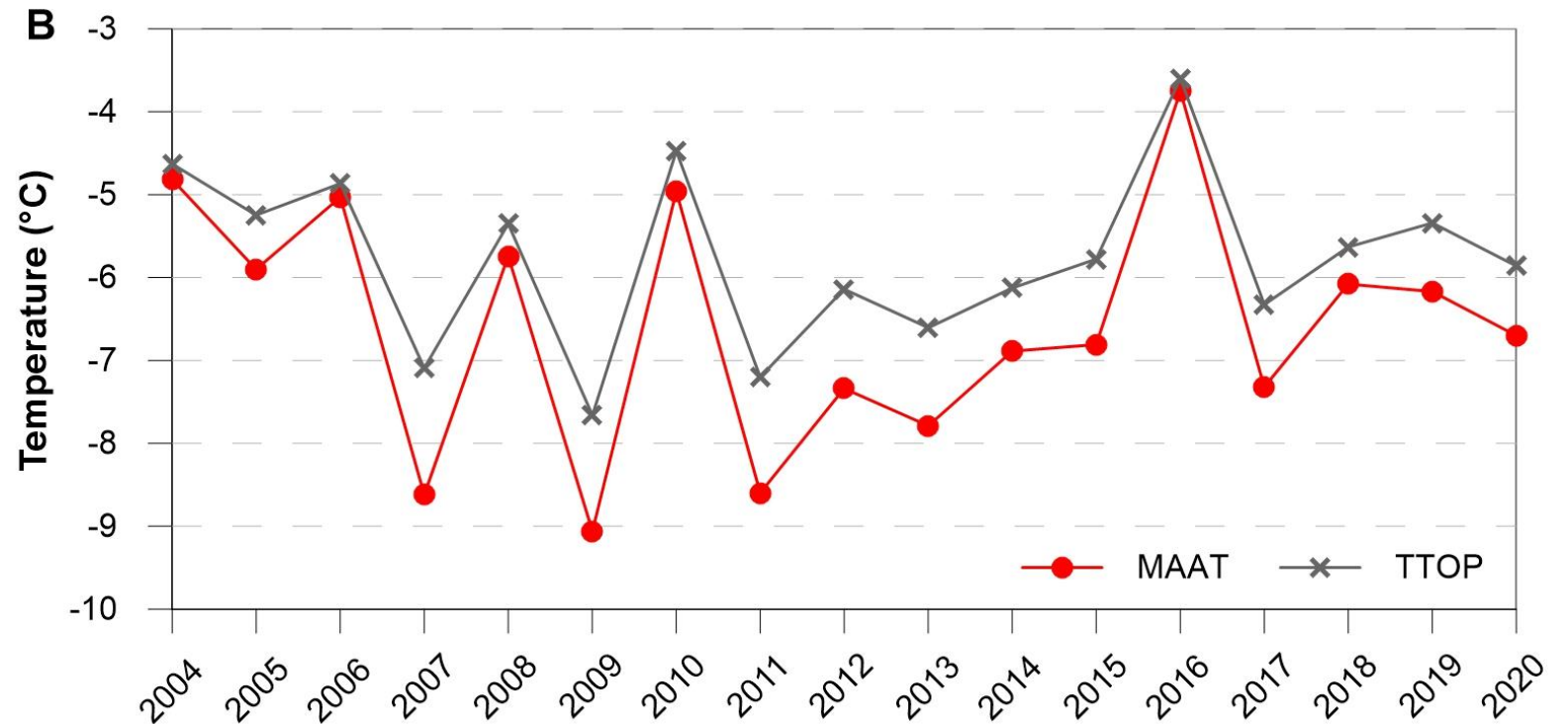
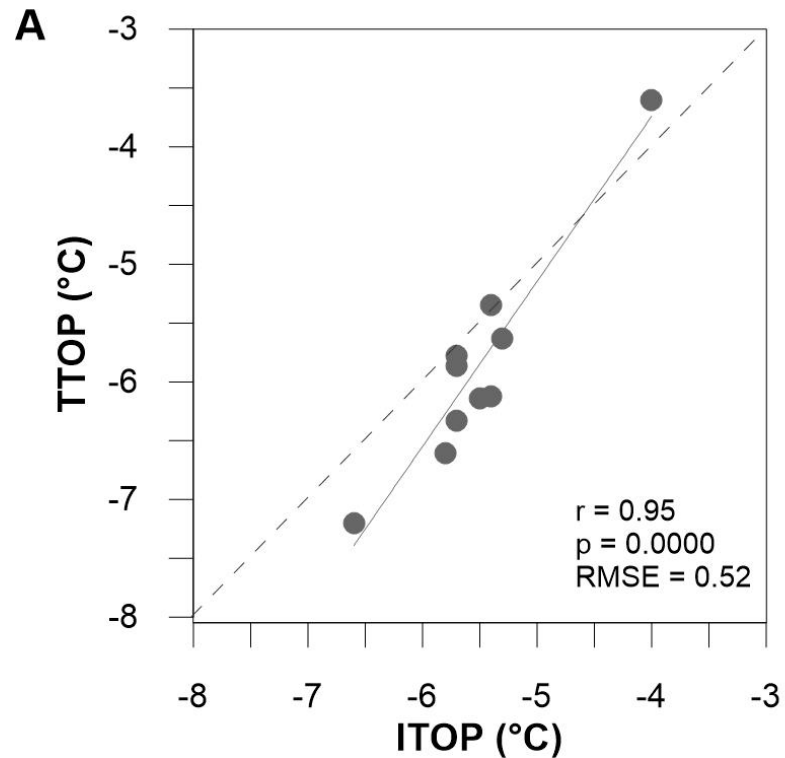
# VÝSLEDKY



**GRAF 1:** Variabilita teploty vzduchu (°C) a teploty pôdy v hĺbkach 5, 50 a 75 cm (°C) na stanici Johann Gregor Mendela v období 2011/12-2020/21



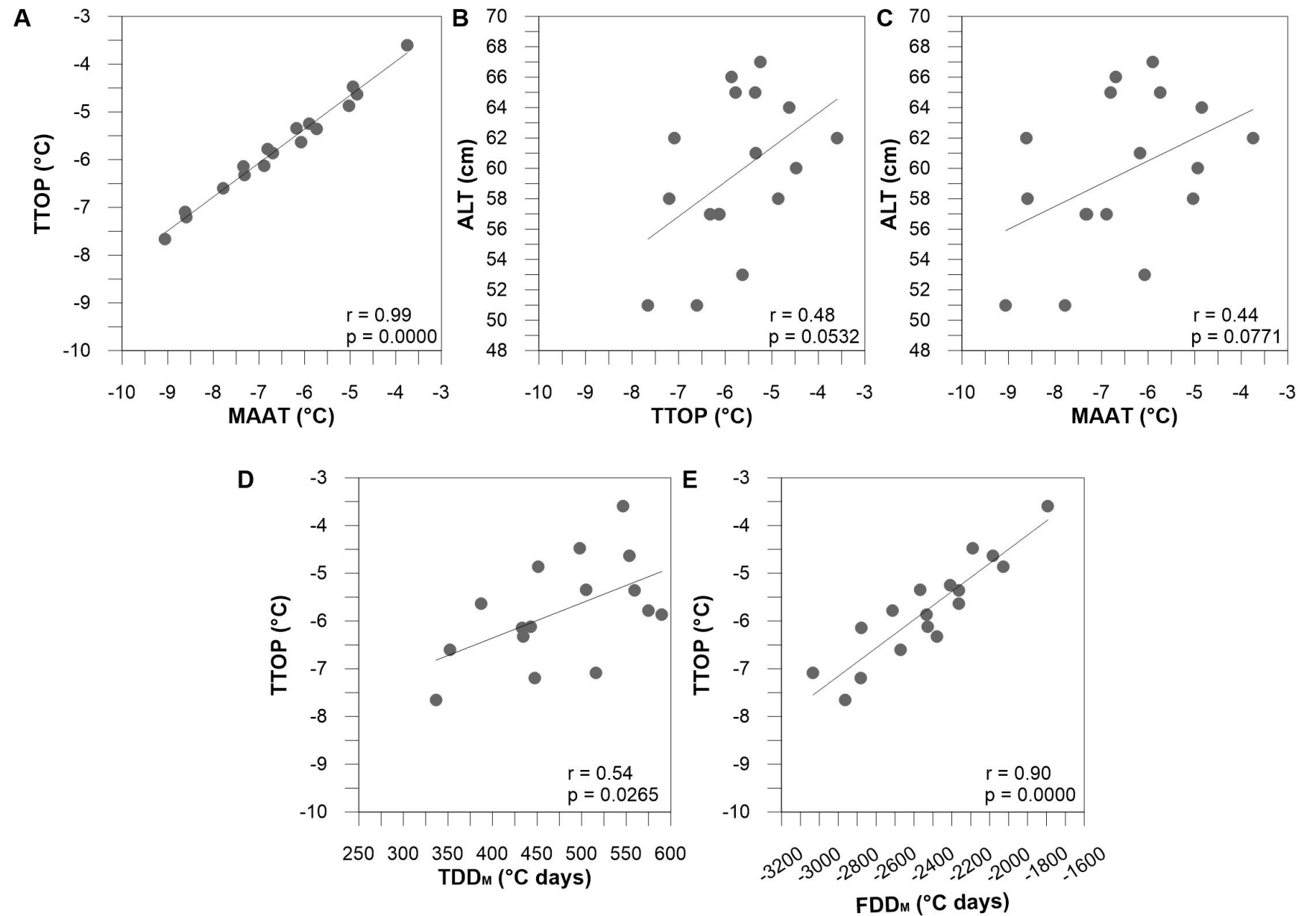
# VÝSLEDKY



**GRAF 2:** Rekonštrukcia teploty permafrostu pomocou modelu TTOP, vrátane porovnania s teplotou vzduchu



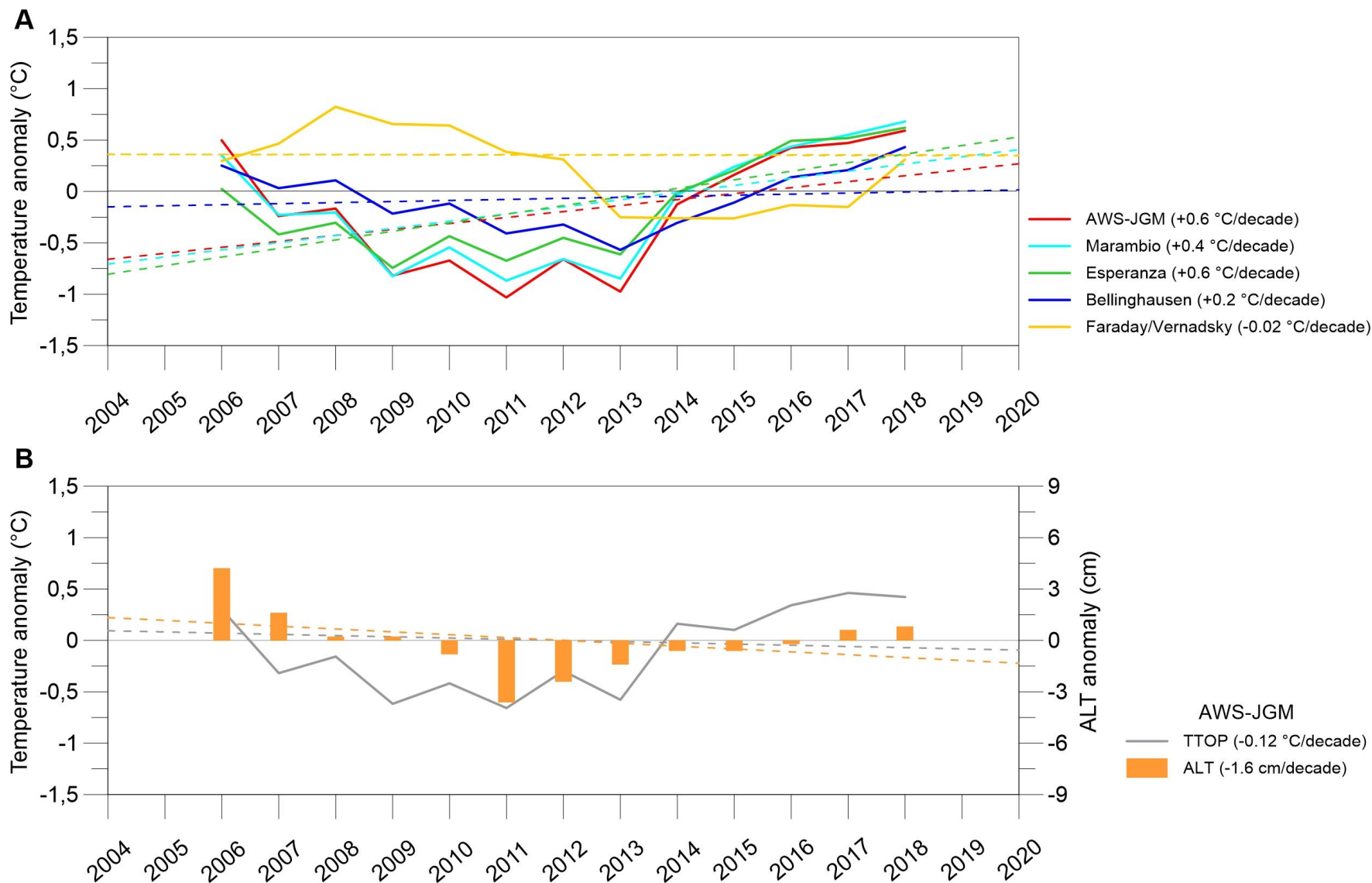
# VÝSLEDKY



**GRAF 3:** Vzťah medzi teplotou vzduchu (MAAT), modelovanou teplotou permafrostu (TTOP), aktívnou vrstvou (ALT) a sezónnymi indexami topenia (TDD) a mrazenia (FDD)



# VÝSLEDKY



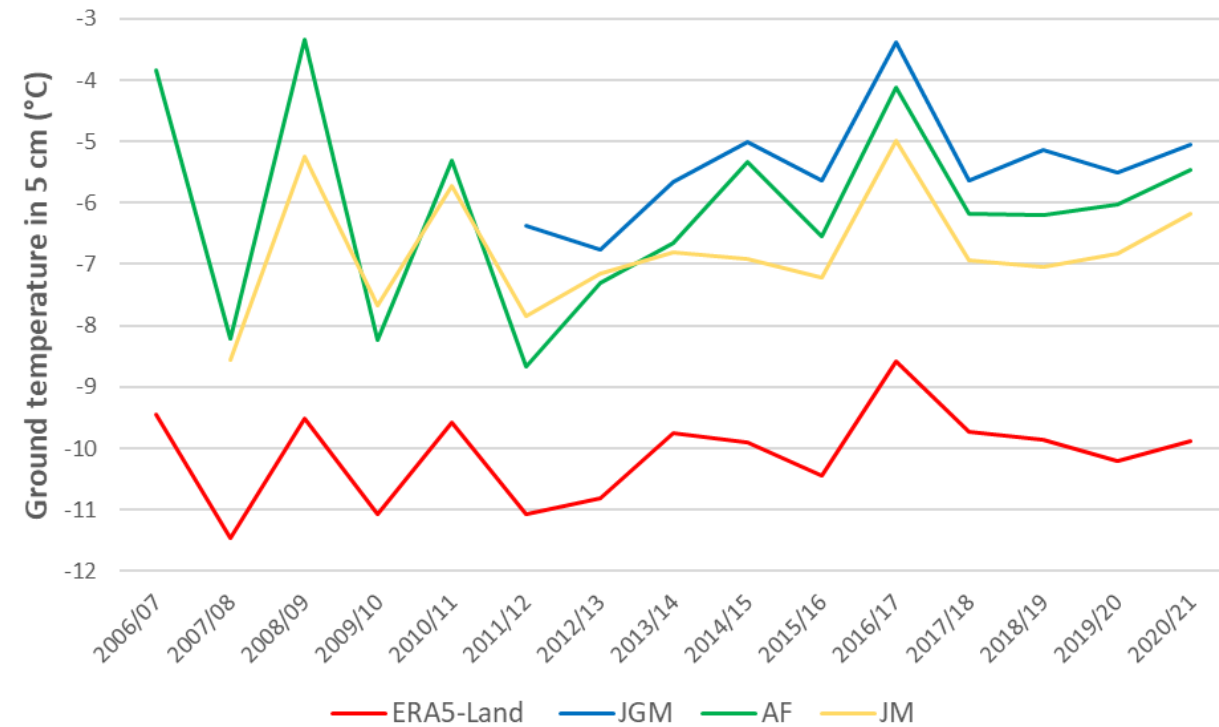
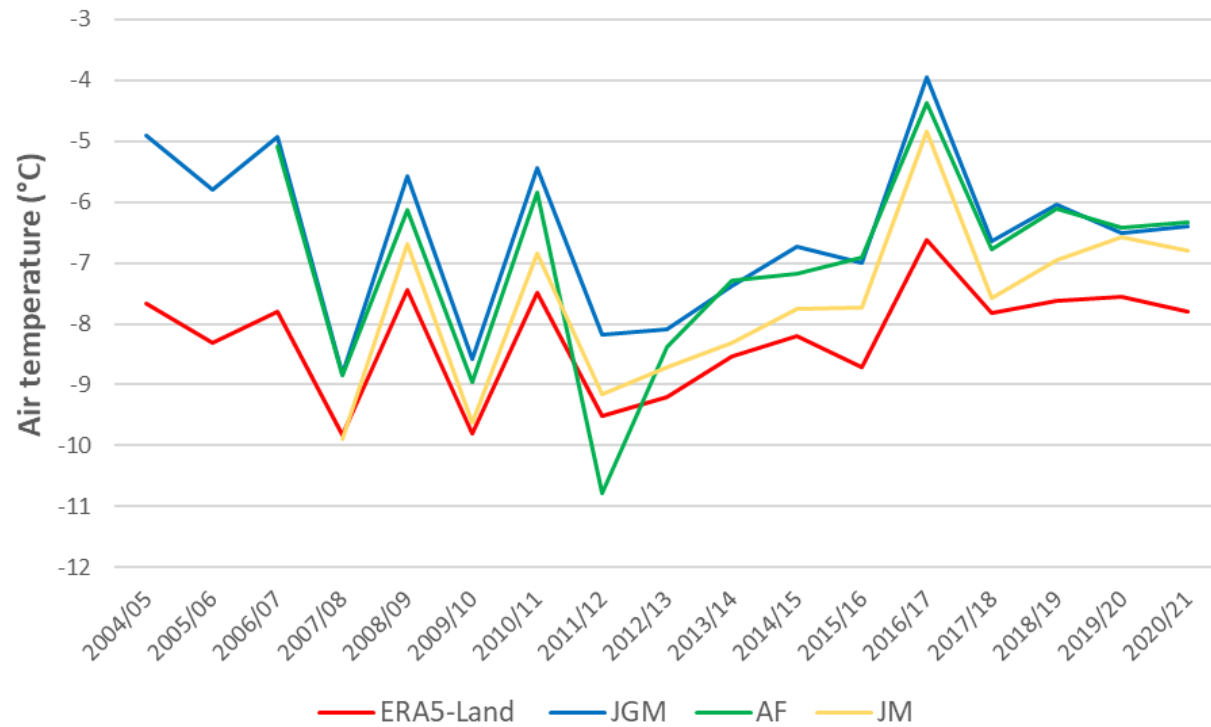
**GRAF 4:** Trend teploty vzduchu na stanicích Bellinghausen, Faraday/Vernadsky, Esperanza, AWS-JGM, Marambio a teploty permafrostu (TTOP), vrátane hrúbky aktívnej vrstvy pre obdobie 2004/05-2020/21



# REKONŠTRUKCIA TEPLOTY PERMAFROSTU S VYUŽITÍM DÁT Z REANALÝZY (ERA5-LAND)

## ERA5-Land

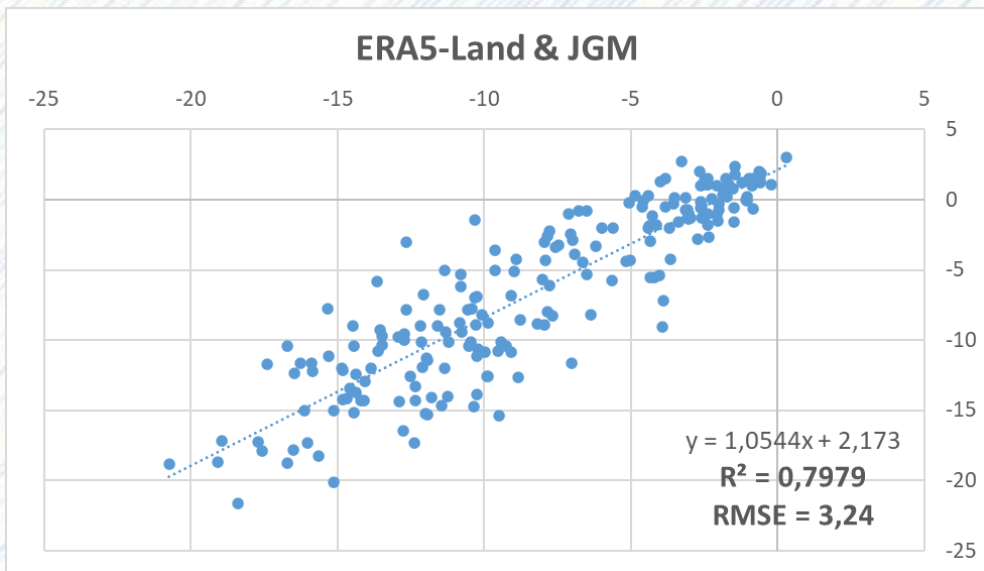
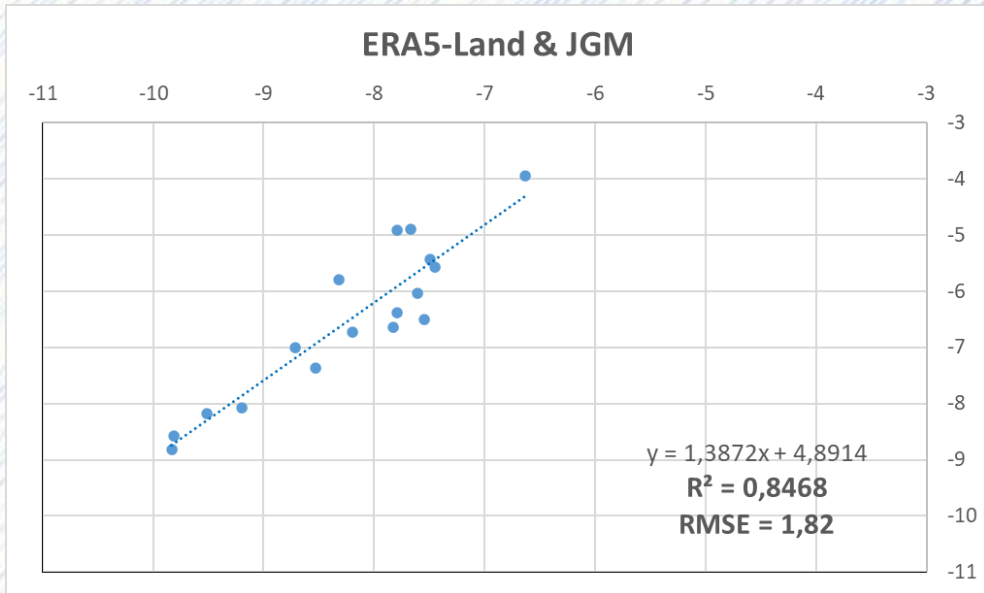
- rozlíšenie  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  (10 km)
- 1950





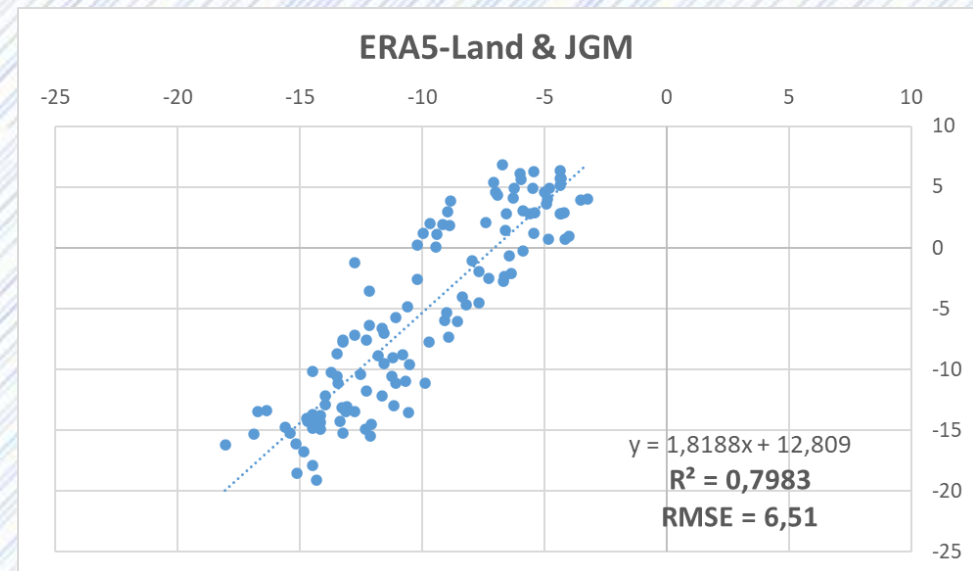
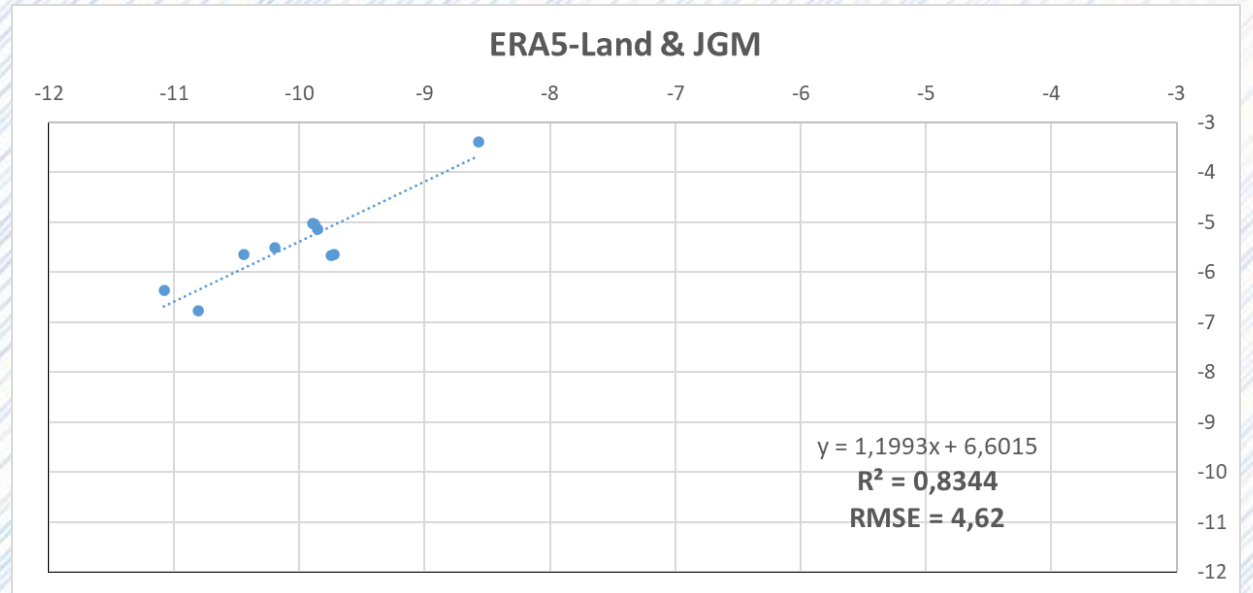
## TEPLOTA VZDUCHU

- korelácie ročných a mesačných priemerov

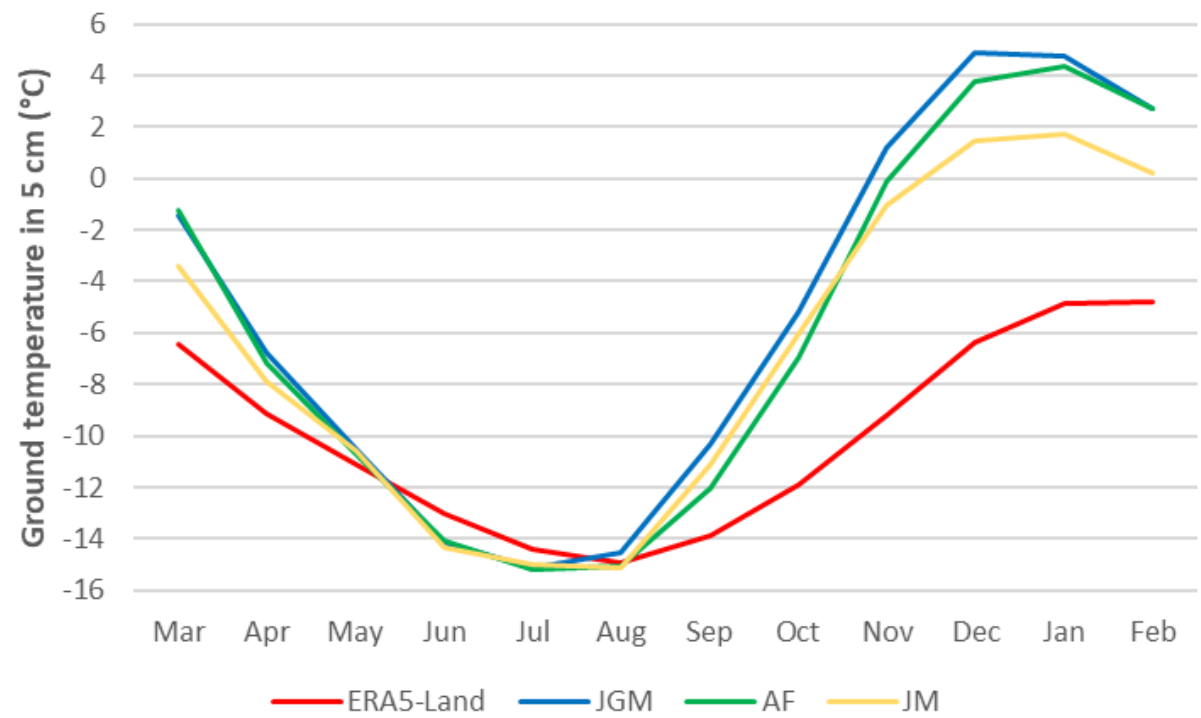
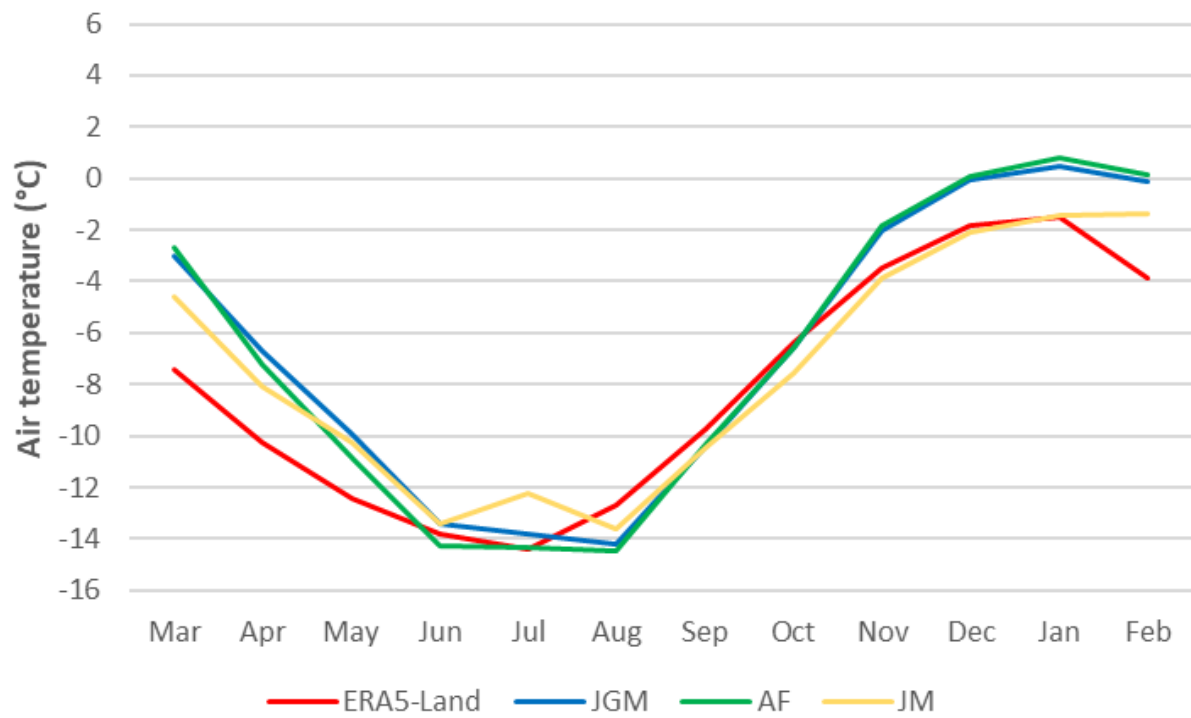


## TEPLOTA PÔDY (5 cm)

- korelácie ročných a mesačných priemerov







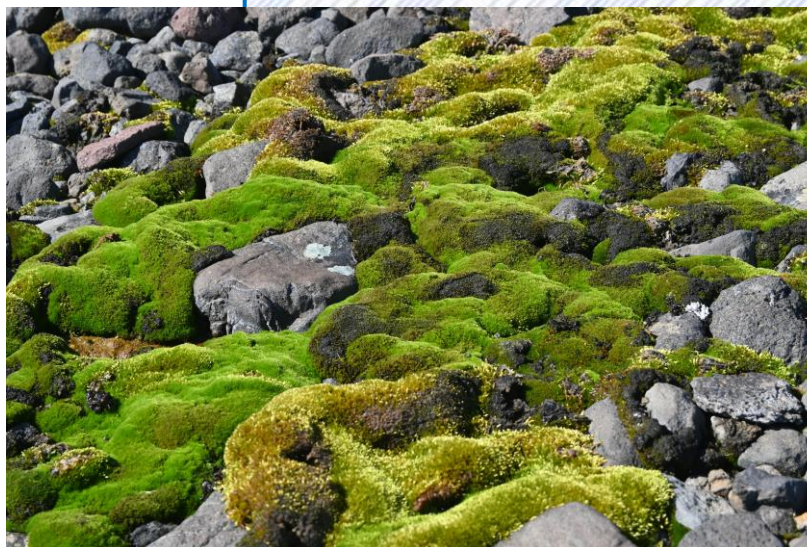
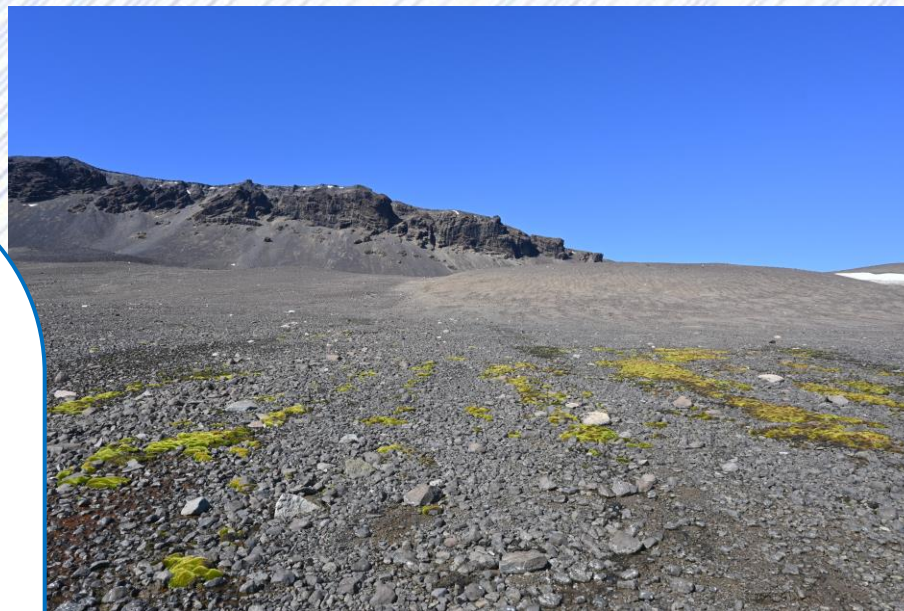


- **korekcia dát z reanalýzy**
- **výrazný sezónny efekt**
  - zima, leto – nízke korelácie
  - vplyv snehovej pokrývky (nahodnotenie)
- **ERA5-Land**
  - väčšie rozdiely pri extrémnych (vyšších) teplotách
- **lokálne vplyvy**
  - vietor (fénový efekt)
  - členitosť povrchu ostrova
  - okrajová oblasť Antarktídy (variabilita podmienok)



# ZHRNUTIE

- význam výskumu v periglaciálnom prostredí
- dlhodobý a pravidelný monitoring
- poukázanie na rýchlosť zmien v polárnych oblastiach
- komplexnejšie pochopenie procesov
- súvislosť zmien permafrostu:
  - klimatická zmena
  - zmeny ľadovcov
  - svahové procesy
  - zmeny vegetácie
  - zmeny hydrologických procesov, ...





## Použité zdroje

### Tlačené monografie:

- BISKABORN, B. K., LANCKMAN, J. P., LANTUIT, H., ELGER, K., STRELETSKIY, D. A., CABLE, W. L., ROMANOVSKY, V. E. (2015): The new database of the Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P). *Earth System Science Data*, 7, s. 245-259. doi: 10.5194/essd-7-245-2015.
- ČERMÁK, V., RYBACH, L. (1982): Thermal properties: Thermal conductivity and specific heat of minerals and rocks. In: ANGENHEISTER, G. ed.: *Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik: Neue Serie. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology: New Series*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York, s. 310–314.
- FRENCH, H. M. (2007): *The Periglacial Environment: Third edition*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 478 s.
- GRAHAM, D. E., WALLENSTEIN, M. D., VISHNIVETSKAYA, T. A., WALDROP, M. P., PHELPS, T. J., PFIFFNER, S. M., ONSTOTT, T. C., WHYTE, L. G., RIVKINA, E. M., GILICHINSKY, D. A., ELIAS, D. A., MACKELPRANG, R., VERBERKMOES, N. C., HETTICH, R. L., WAGNER, D., WULLSCHLEGER, S. D., & JANSSON, J. K. (2012). Microbes in thawing permafrost: the unknown variable in the climate change equation. *The ISME Journal*, 6(4), 709–712. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.163>.
- HRBÁČEK, F., KŇAŽKOVÁ, M., NÝVLT, D., LÁSKA, K., MUELLER, C. W., ONDRUCH, J. (2017): Active layer monitoring at CALM-S site near J.G.Mendel Station, James Ross Island, eastern Antarctic Peninsula. *Science of the Total Environment*, 601-602, s. 987-997. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.266.
- IRRGANG, A. M., BENDIXEN, M., FARQUHARSON, L. M., BARANSKAYA, A. V., ERIKSON, L. H., GIBBS, A. E., OGORODOV, S. A., OVERDUIN, P. P., LANTUIT, H., GRIGORIEV, M. N., & JONES, B. M. (2022): Drivers, dynamics and impacts of changing Arctic coasts. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(1), 39–54. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00232-1>.
- OBU, J., WESTERMANN, S., VIEIRA, G., ABRAMOV, A., BALKS, M. R., BARTSCH, A., HRBÁČEK, F., KÄÄB, A., RAMOS, M. (2020): Pan-Antarctic map of near-surface permafrost temperatures at 1 km<sup>2</sup> scale. *The Cryosphere*, 14, s. 497-519. doi: 10.5194/tc-14-497-2020.
- SANDELLS, M., FLOCCO, D. (2014): *Introduction to the Physics of the Cryosphere*. Morgan & Claypool Publishers, Bristol, 88 s.



## Použité zdroje

### Elektronické zdroje:

- BBC (2021): As permafrost thaws around the world, the steel, concrete and tarmac structures sitting on top are warping and crumbling. Is there anything engineers can do to adapt?, <https://www.bbc.com/future/article/20210303-the-unsure-future-of-roads-and-buildings-on-melting-ground> (21. 4. 2023)
- EARTH (2018): Thawing Arctic permafrost threatens major infrastructure, <https://www.earth.com/news/thawing-arctic-permafrost-infrastructure/> (22. 4. 2023)
- NUNATARYUK (2019): EROSION OF PERMAFROST COASTS IN THE ARCTIC COULD VENT MAJOR AMOUNTS OF CO2, <https://nunataryuk.org/news/128-erosion-of-permafrost-coasts-in-the-arctic-could-vent-major-amounts-of-co2> (21. 4. 2023)
- NUNATARYUK (2020): THE PERCEPTION OF PERMAFROST THAW IN THE SAKHA REPUBLIC (RUSSIA): NARRATIVES, CULTURE AND RISK IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE, <https://nunataryuk.org/news/150-the-perception-of-permafrost-thaw-in-the-sakha-republic-russia-narratives-culture-and-risk-in-the-face-of-climate-change> (22. 4. 2023)
- NUNATARYUK (2021): Population living on permafrost in the Arctic, <https://nunataryuk.org/news/152-population-living-on-permafrost-in-the-arctic> (21. 4. 2023)
- NUNATARYUK (2022): Drivers, dynamics and impacts of changing arctic coasts, <https://nunataryuk.org/news/drivers-dynamics-and-impacts-of-changing-arctic-coasts> (21. 4. 2023)
- THE ARCTIC INSTITUTE (2020): Permafrost Thaw in a Warming World: The Arctic Institute's Permafrost Series Fall-Winter 2020, <https://www.thearcticinstitute.org/permafrost-thaw-warming-world-arctic-institute-permafrost-series-fall-winter-2020/> (20. 4. 2023)
- THE SIBERIAN TIMES (2021): Building breaks in middle and collapses 10 metres as thawing permafrost no longer supports stilts, <https://siberiantimes.com/other/others/news/building-breaks-in-middle-and-collapses-10-metres-as-thawing-permafrost-no-longer-supports-stilts/> (22. 4. 2023)
- USG (2022): Climate impacts to Arctic coasts, <https://www.usgs.gov/centers/pcmssc/science/climate-impacts-arctic-coasts> (21. 4. 2023)
- VIITANEN, L.-K. (2020): New map shows extent of permafrost in Northern Hemisphere, <https://nunataryuk.org/news/139-new-map-shows-extent-of-permafrost-in-northern-hemisphere> (20. 4. 2023)





**ĎAKUJEM ZA POZORNOST 😊**

