

# SEKRETNE ŻYCIE LODOWCÓW

Przemysław Wachniew

Seminarium WFiIS AGH  
20 listopada 2020

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

NAUKA  
DLA CIEKAWYCH

SERIA POPULARNONAUKOWA  
O ZIEMI I KOSMOSIE  
Z PŁYTA

Nr 13



*Przemysław Wachniew*



*Edyta Łokas*



*Krzysztof Zawierucha*



13. tom serii Wydawnictwa AGH  
*„Nauka dla ciekawych”*

Redaktor serii: prof. Andrzej Manecki







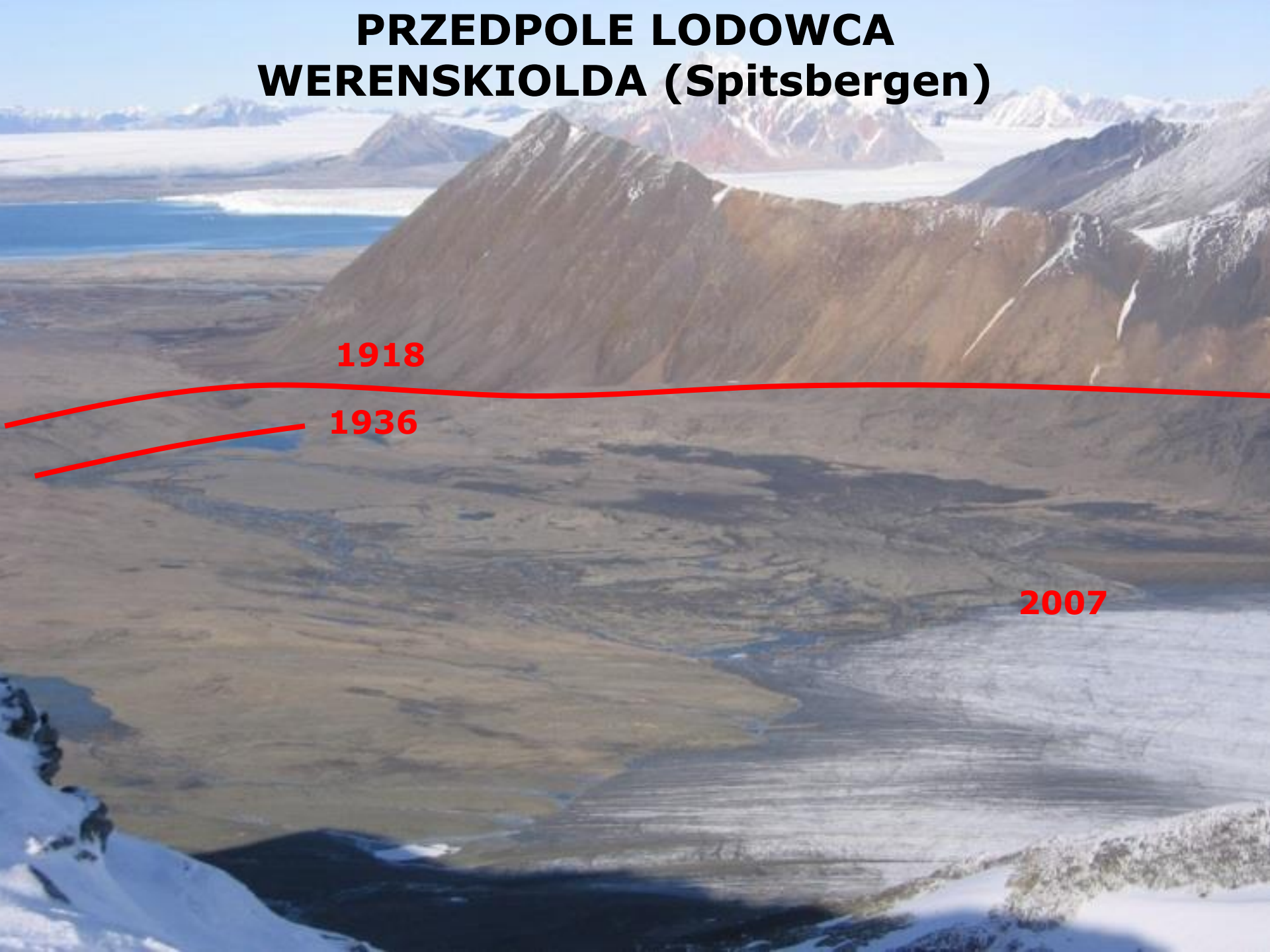








# PRZEDPOLE LODOWCA WERENSKIOLDA (Spitsbergen)

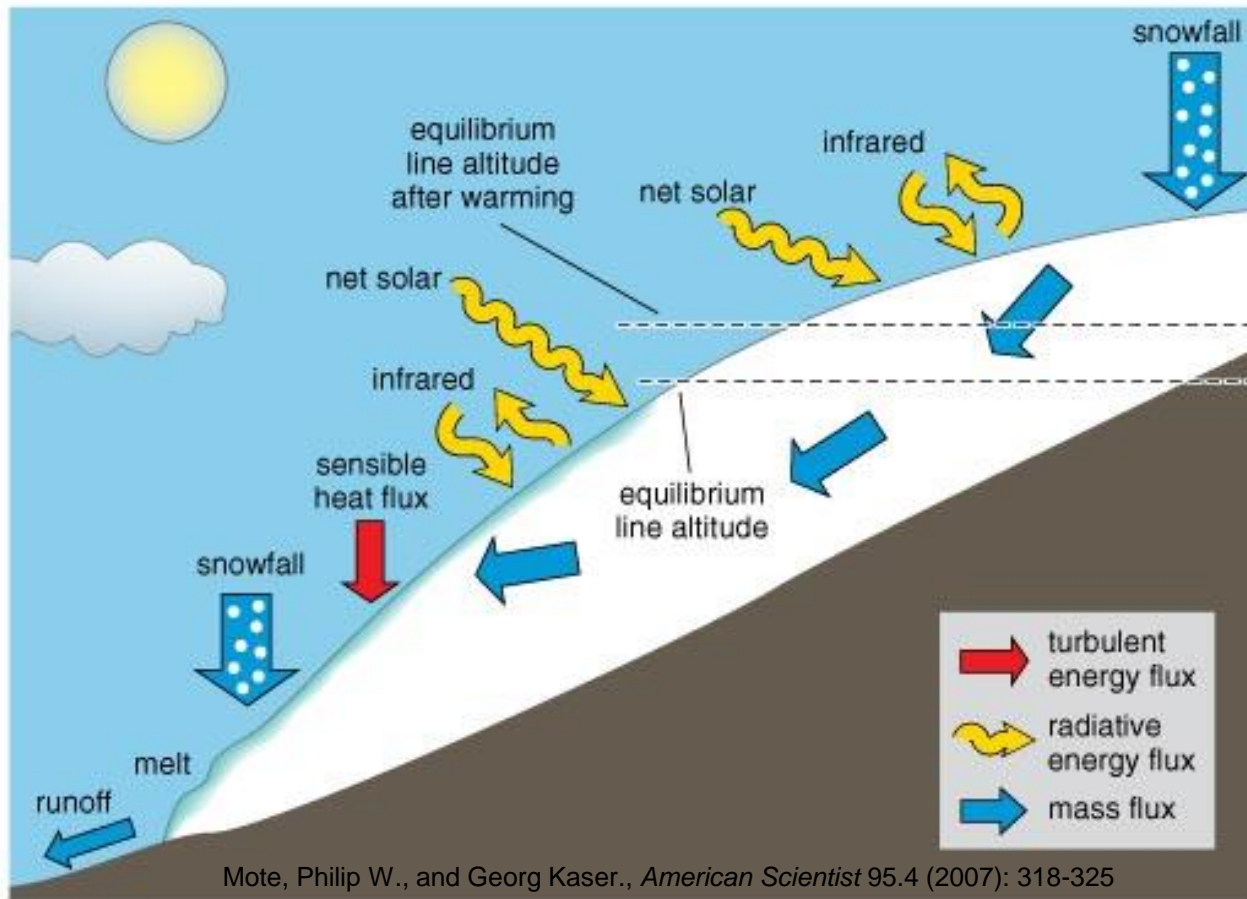


1918

1936

2007

# LODOWIEC JAKO SYSTEM WYMIENIAJĄCY ENERGIĘ I MATERIEŃ Z OTOCZENIEM



Tradycyjna perspektywa uwzględniająca jedynie procesy fizyczne, a pomijająca procesy biogeochemiczne



# FIZYKA LODOWCÓW

Termodynamika →

- strumienie ciepła (energii) pomiędzy lodowcem a jego otoczeniem
- transport ciepła w lodowcu
- przemiany fazowe wody

→ Bilans masy lodowca



Typy lodu lodowcowego ze względu na temperaturę:

Lód zimny       $T_{\text{lodu}} < T_{\text{topnienia}}(\text{ciśnienie, domieszki})$

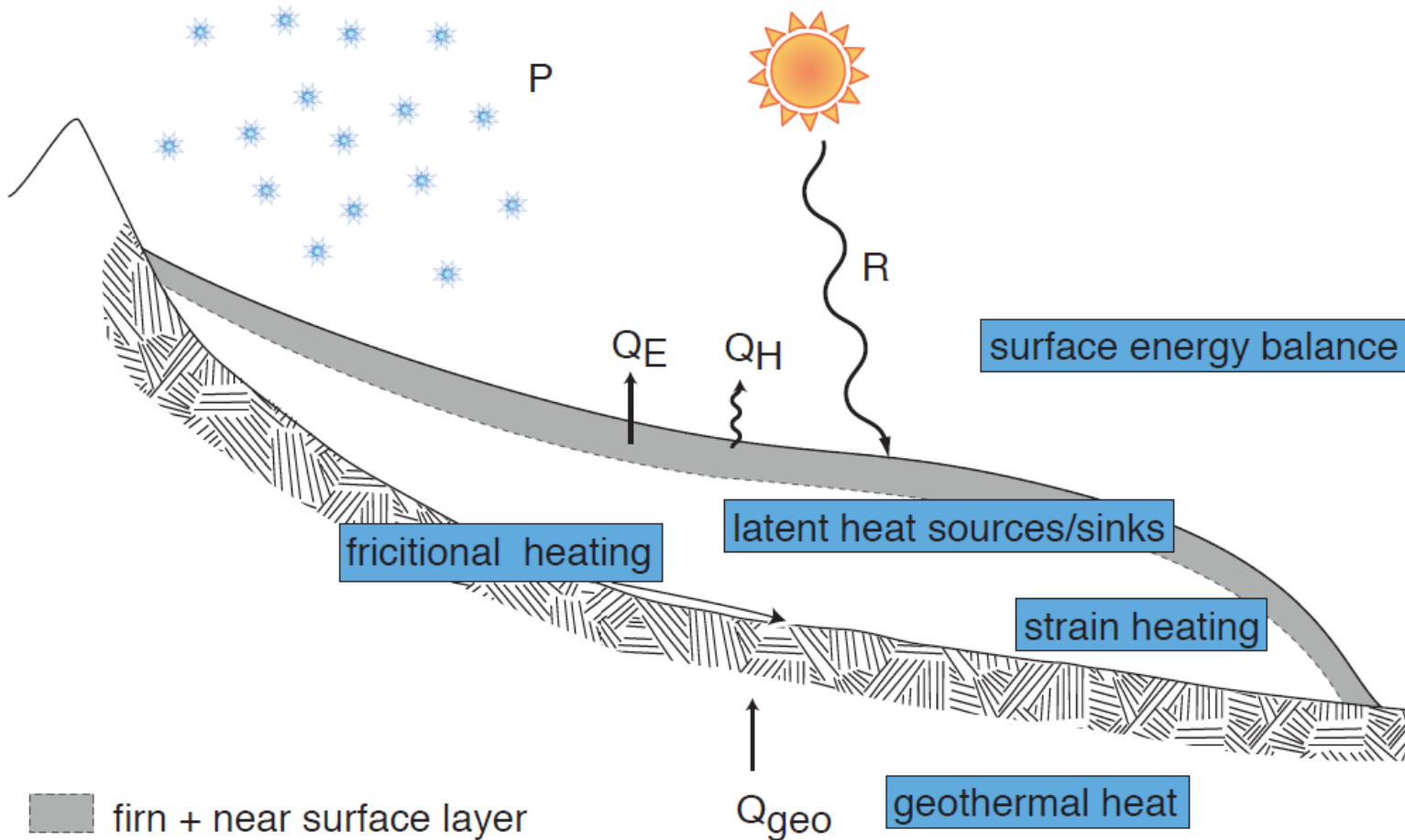
Lód ciepły       $T_{\text{lodu}} = T_{\text{topnienia}}(\text{ciśnienie, domieszki})$

Mechanika →

- siły działające na lód lodowcowy
- odkształcenia lodu oraz podłoża lodowca

→ Ruch lodowca

# TERMODYNAMIKA LODOWCÓW





# TRANSPORT CIEPŁA W LODOWCU

$$\rho c \left( \underbrace{\frac{\partial T}{\partial t}}_{\text{adwekcjai}} + w \underbrace{\frac{\partial T}{\partial z}}_{\text{dyfuzjai}} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + P.$$

$P_{\text{def}} \simeq 2 \dot{\epsilon}_{xz} \sigma_{xz}$ .      Dyssypacja energii związana z odkształceniem lodu

$P_{\text{friction}} = \tau_b u_b \sim \rho g H \tan \beta u_b$ .      Dyssypacja energii związana z tarciem pod lodowcem

$P_{\text{freeze}} = v_{\text{freeze}} \omega \rho_w L$ .      Ciepło wydzielane podczas krzepnięcia wody

# ODKSZTAŁCENIA LODU

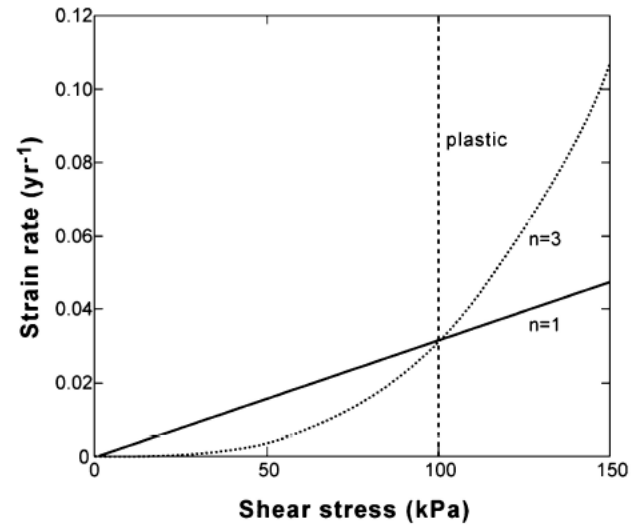
Pełzanie →

Glen's law is the most commonly used flow law for ice in glaciers and ice sheets.

$$\dot{\epsilon} = A\tau^n$$

Usually  $n \approx 3$  and  $A \approx 2.4 \times 10^{-24} \text{ Pa}^{-3} \text{ s}^{-1}$  at  $0^\circ \text{C}$

But the most appropriate values in reality may depend on temperature, stress regime, grain size, etc



Appears to be reasonably described with an **Arrhenius law**  $A = A_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$

(varies by a factor of  $\sim 1000$  over range of glacial temperatures  $-55^\circ\text{C}$ — $0^\circ\text{C}$ )

Pęknięcie → gdy pełzanie jest zbyt wolne



# Rheology of ice



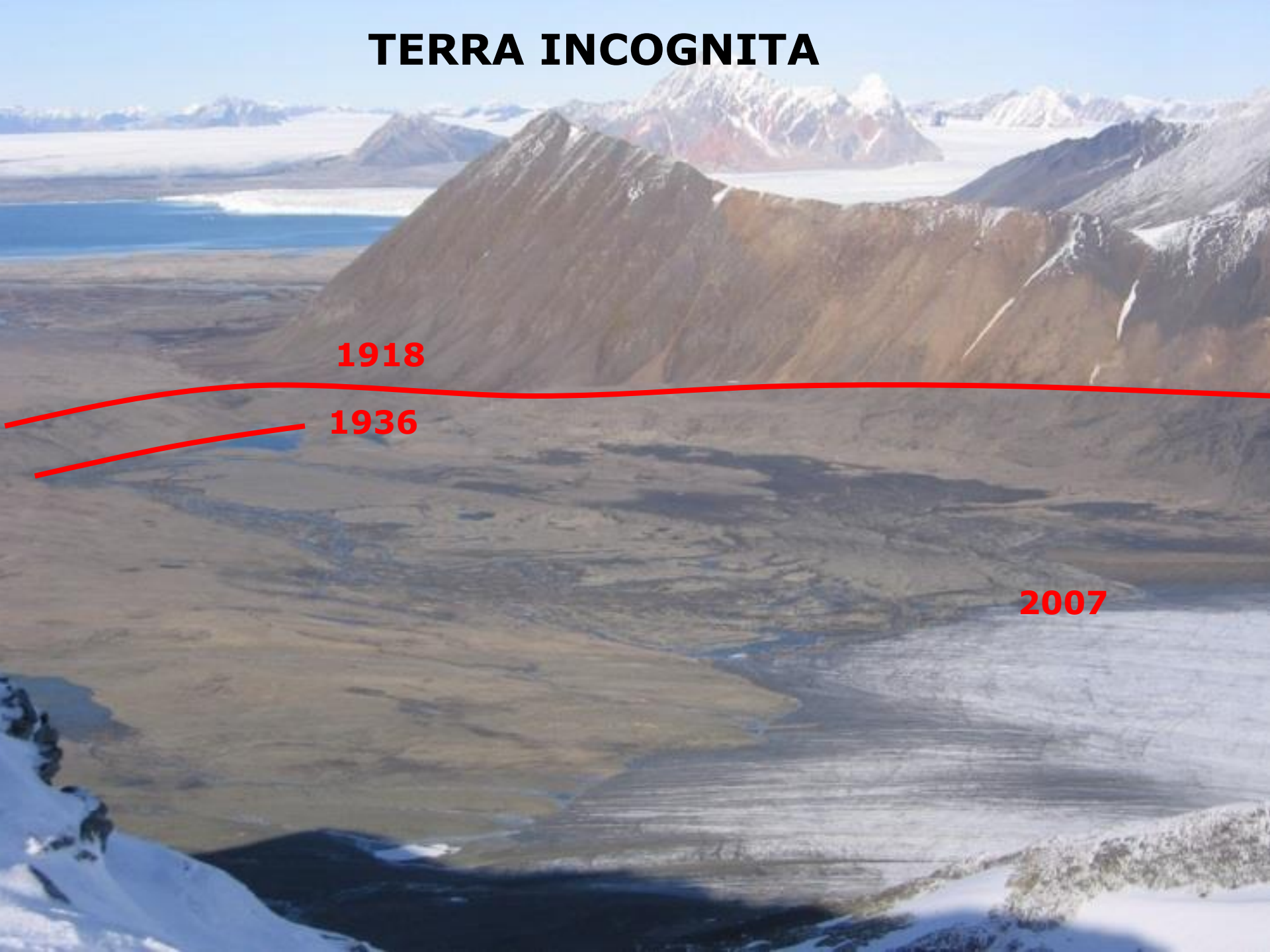
Ian Hewitt, University of Oxford [hewitt@maths.ox.ac.uk](mailto:hewitt@maths.ox.ac.uk)







# TERRA INCOGNITA



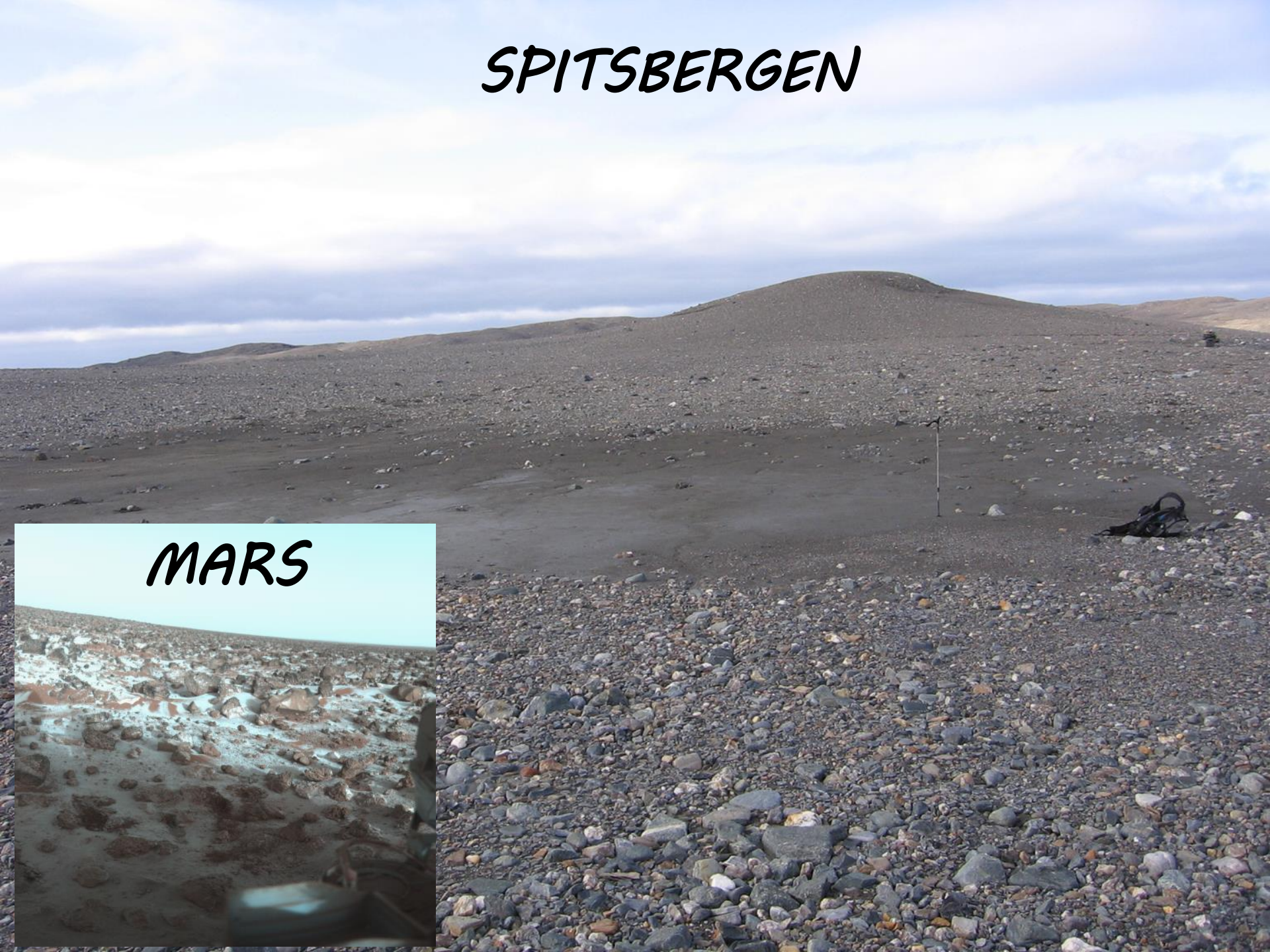
1918

1936

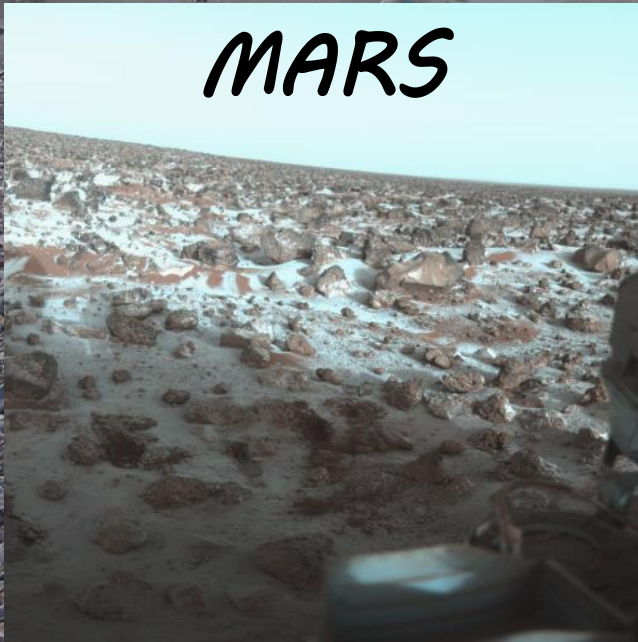
2007



# SPITSBERGEN



*MARS*











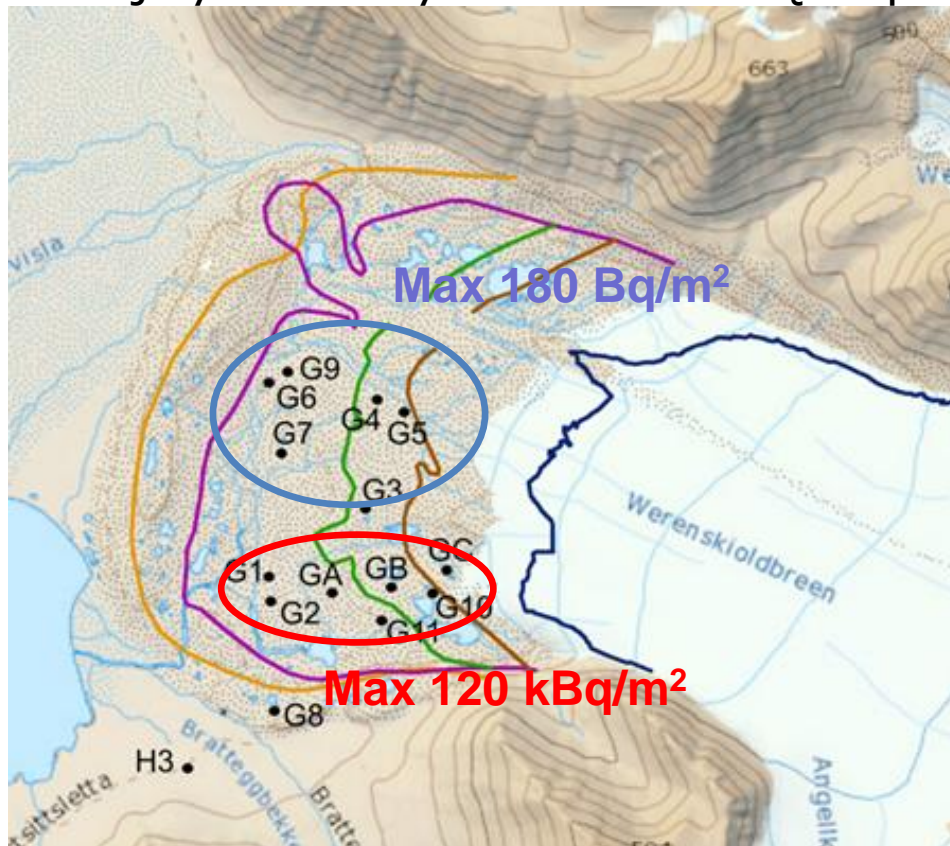






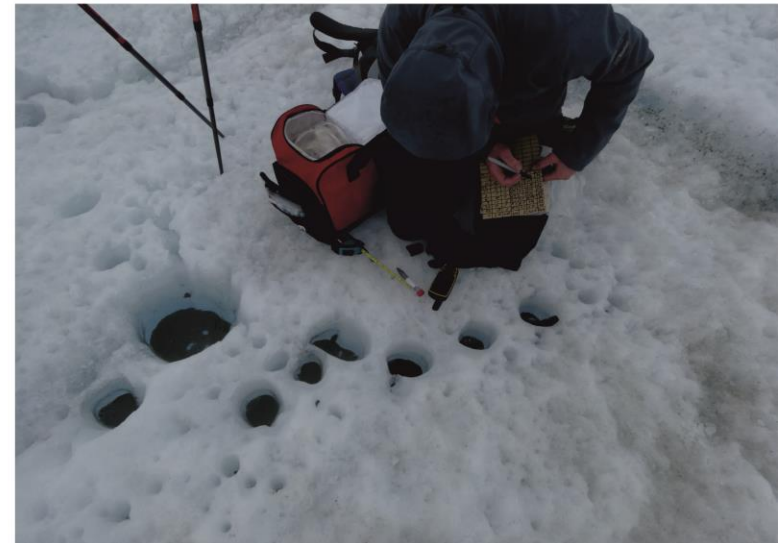
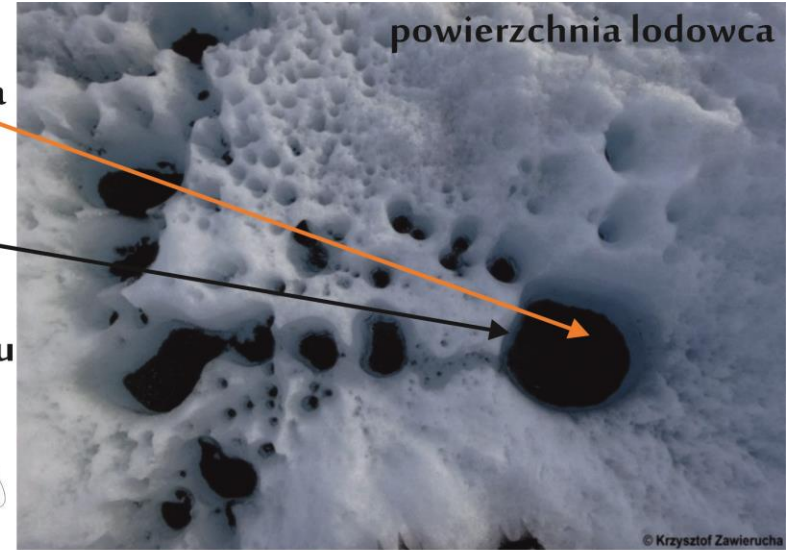
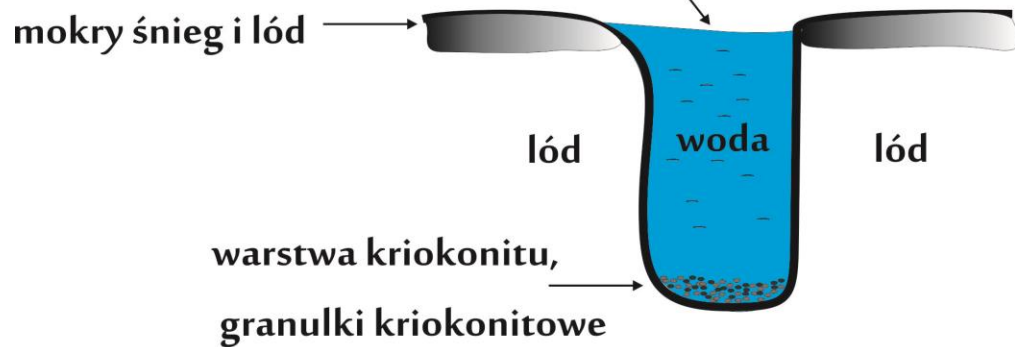
# SZTUCZNE RADIONUKLIDY W INICJALNYCH GELBACH PRZEDPOŁA LODOWCA

- Duży zakres skumulowanych aktywności powierzchniowych – od niemierzalnych do poziomów występujących w Czarnobylu/Fukushimie
- Najwyższe aktywności w S części przedpoła



# KRIOKONIT *κρύος* (lód) + *κουΐα* (pył)

materiał krikonitowy na dnie dołka  
kształt owalny dołka krikonitowego  
dołek może być zamknięty cienką warstwą lodu



# ODKRYWCA KRIOKONITU

Geograf Tom Pering (U. Reading) pisze w swoim blogu, że naukowe zainteresowanie lodowcami miało początkowo charakter dedukcyjny, dopóki...

*...in 1804 [...] Benjamin Count visited the glaciers at Chamouny and observed what he calls a curious phenomenon – "At the surface of a solid mass of ice, of vast thickness and extent, we discovered a pit, perfectly cylindrical, about seven inches in diameter, and more than four feet deep; quite full of water".*

Przez następne 200 lat kriokonit i zagłębienia kriokonitowe wzbudzały u naukowców umiarkowane zainteresowanie.

Count, B., 1804. An Account of a Curious Phenomenon Observed on the Glaciers of Chamouny; Together with Some Occasional Observations concerning the Propagation of Heat in Fluids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 94, pp. 23-29



III. *An Account of a curious Phenomenon observed on the Glaciers of Chamouny; together with some occasional Observations concerning the Propagation of Heat in Fluids.* By Benjamin Count of Rumford, V. P. R. S. Foreign Associate of the National Institute of France, &c. &c.

Read December 15, 1803.

IN an excursion which I made the last summer, in the month of August, to the Glaciers of Chamouny, in company with Professor PICTET of Geneva, I had an opportunity of observing, on what is called the Sea of Ice, (*Mer de Glace,*) a phenomenon very common, as I was told, in those high and cold regions, but which was perfectly new to me, and engaged all my attention. At the surface of a solid mass of ice, of vast thickness and extent, we discovered a pit, perfectly cylindrical, about seven inches in diameter, and more than four feet deep; quite full of water. On examining it on the inside, with a pole, I found that its sides were polished; and that its bottom was hemispherical, and well defined.

Am. J. Phys. **53** (8), August 1985

## **Pictet's experiment: The apparent radiation and reflection of cold**

James Evans

*Department of Physics, University of Puget Sound, Tacoma, Washington 98416*

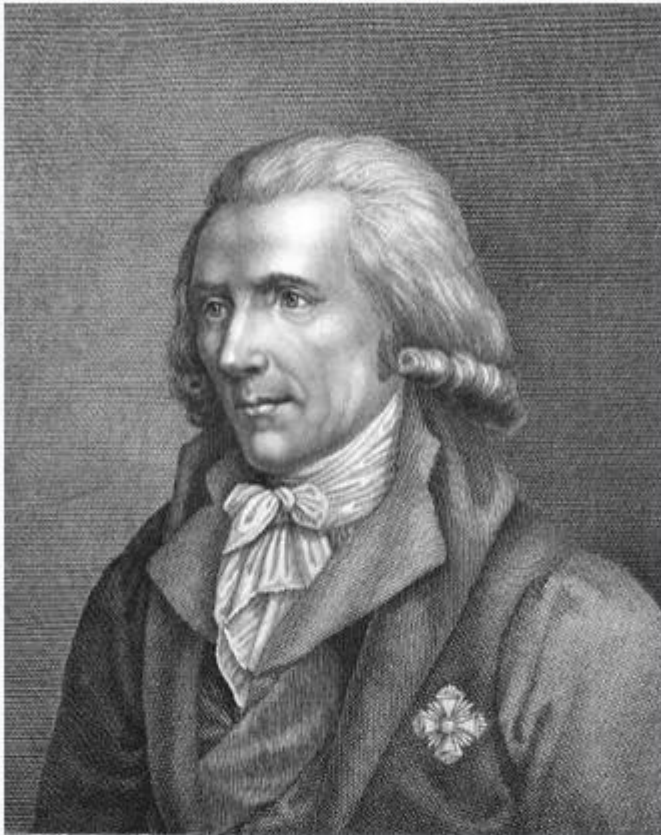
Brian Popp

*Department of Physics FM-15, University of Washington, Seattle, Washington 98195*

In the summer and fall of the year 1800, Count Rumford passed several months in Edinburgh. During his stay he continued the research on heat that had occupied his attention, on and off, for a number of years. One day, in the company of Professors Hope, Playfair, and Stewart<sup>1</sup> of the University of Edinburgh, he undertook to repeat an experiment that had been performed originally by Marc-Auguste Pictet of the Academy of Geneva—a dramatic demonstration of the radiation and reflection of cold.



## Sir Benjamin Thompson

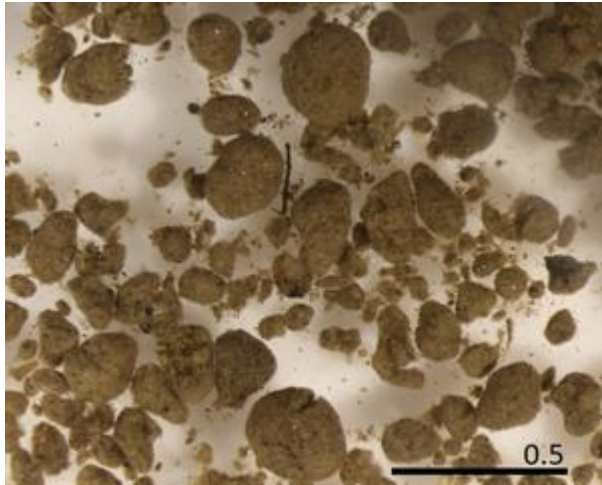


**Born** March 26, 1753  
Woburn, Massachusetts

**Died** August 21, 1814 (aged 61)  
Paris

- Metoda wyznaczania ciepła właściwego
- Izolacja cieplna przez ograniczenie konwekcji (*nieprzewodzące ciepła gazy*); bielizna termiczna
- Metody ogrzewania i oświetlania; kominek Rumforda, piec Rumforda
- Zupa rumfordzka
- Gotowanie *sous-vide*
- *An Experimental Enquiry Concerning the Source of the Heat which is Excited by Friction* (1798)
- Wytłumaczenie eksperymentu Picteta
- Standaryzacja świecy – kandela
- Odznaczony Orderem Orła Białego

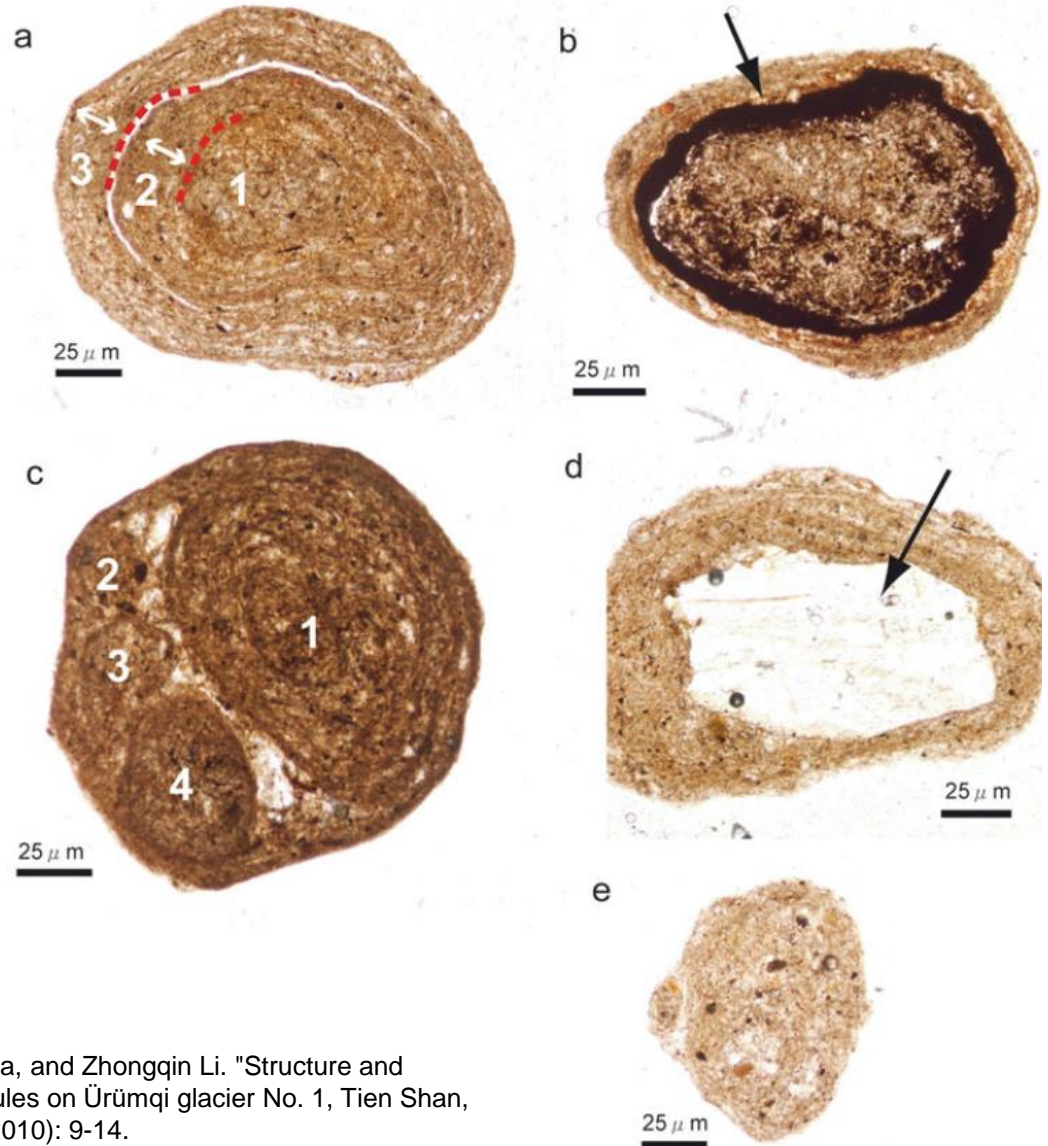
# GRANULKI KRIOKONITOWE



# WEWNĘTRZNA STRUKTURA GRANULEK KRIOKONITU

Narastanie odtwarza powierzchnię  
mającą kontakt  
z atmosferą

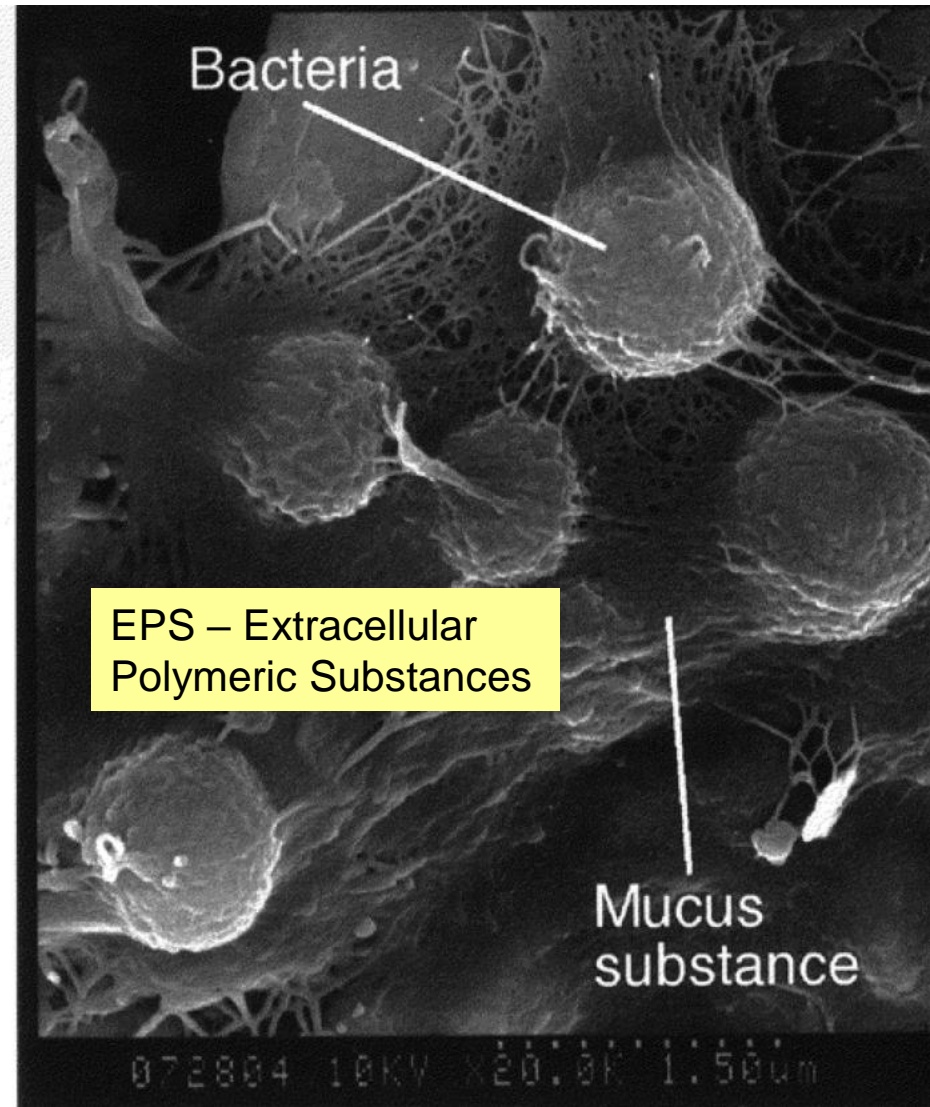
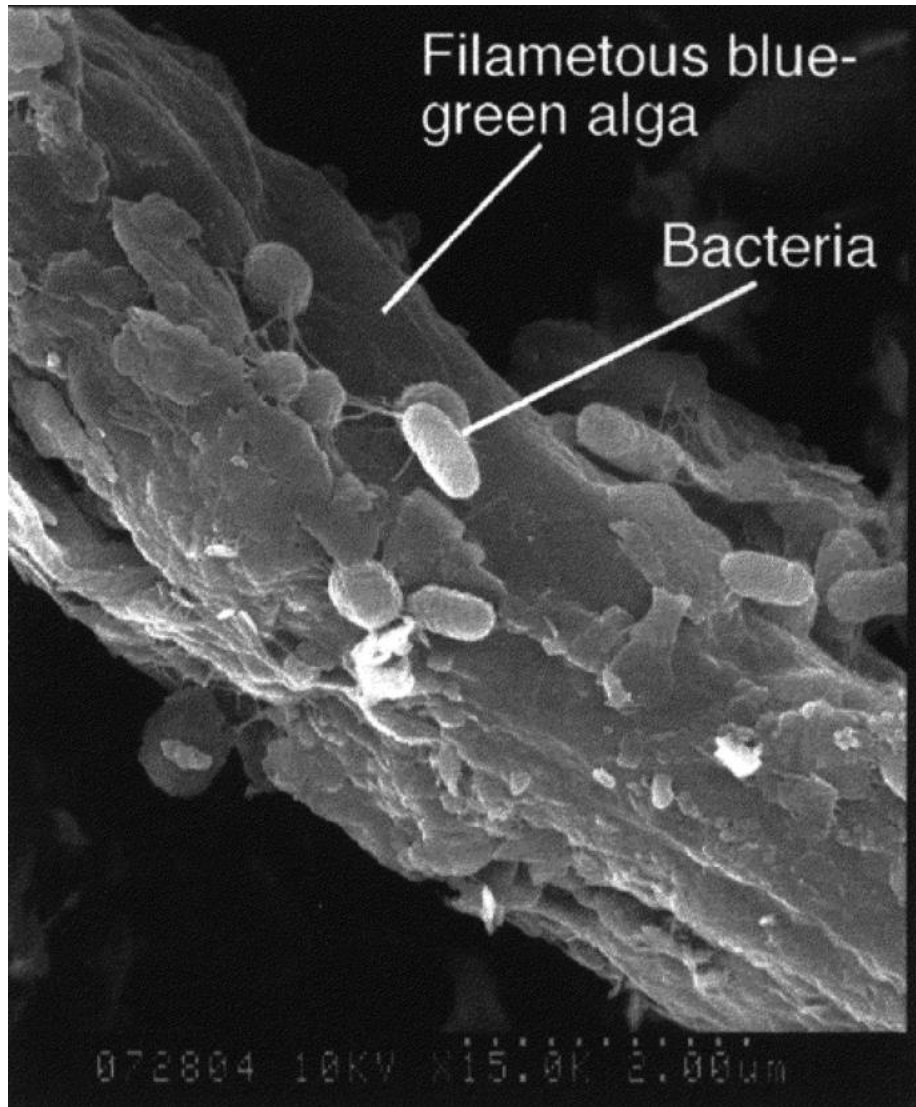
„Recykling” granulek



Takeuchi, Nozomu, Hiromu Nishiyama, and Zhongqin Li. "Structure and formation process of cryoconite granules on Ürümqi glacier No. 1, Tien Shan, China." *Annals of Glaciology* 51.56 (2010): 9-14.



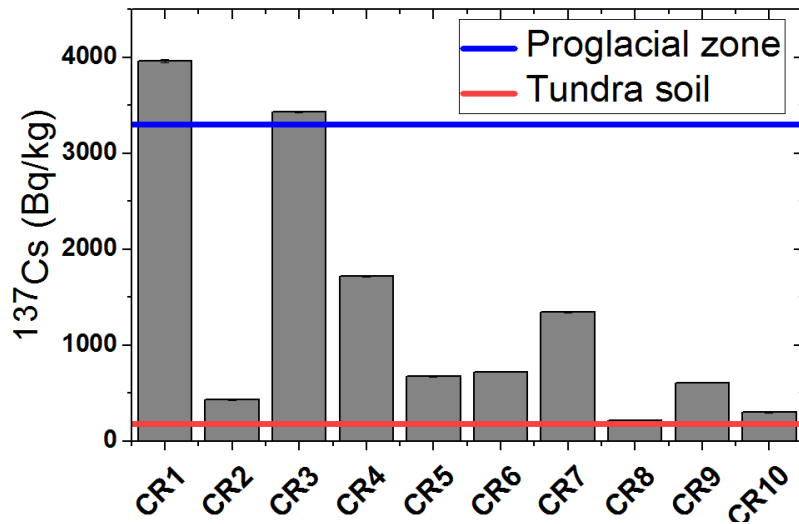
# ORGANICZNE SKŁADNIKI KRIOKONITU



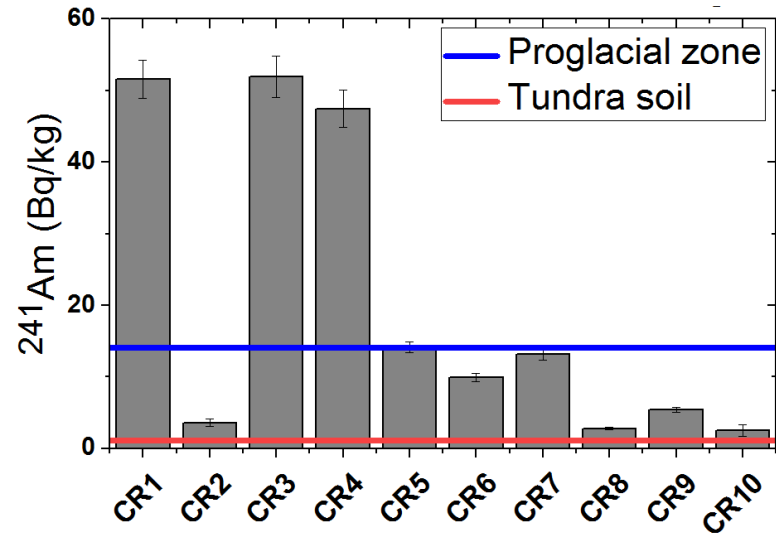
Takeuchi, Nozomu, Shiro Kohshima, and Katsumoto Seko. "Structure, formation, and darkening process of albedo-reducing material (cryoconite) on a Himalayan glacier: a granular algal mat growing on the glacier." *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 33.2 (2001): 115-122.

# KRIKONIT KUMULUJE METALE POCHODZENIA ATMOSFERYCZNEGO

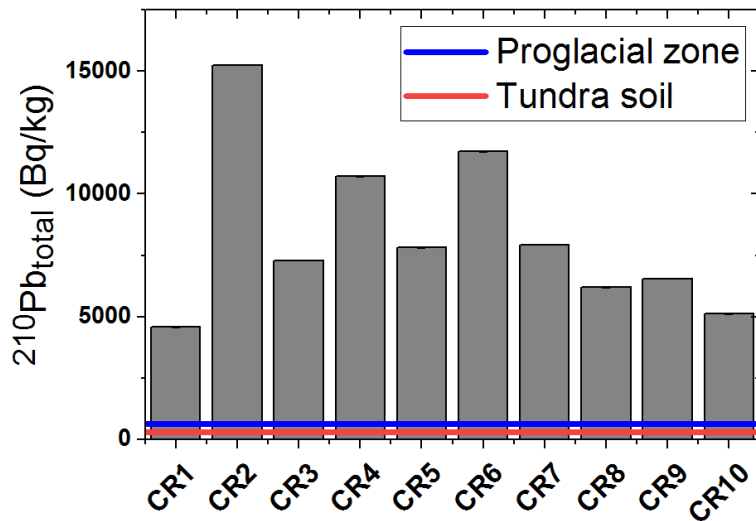
sztuczny - atmosferyczny



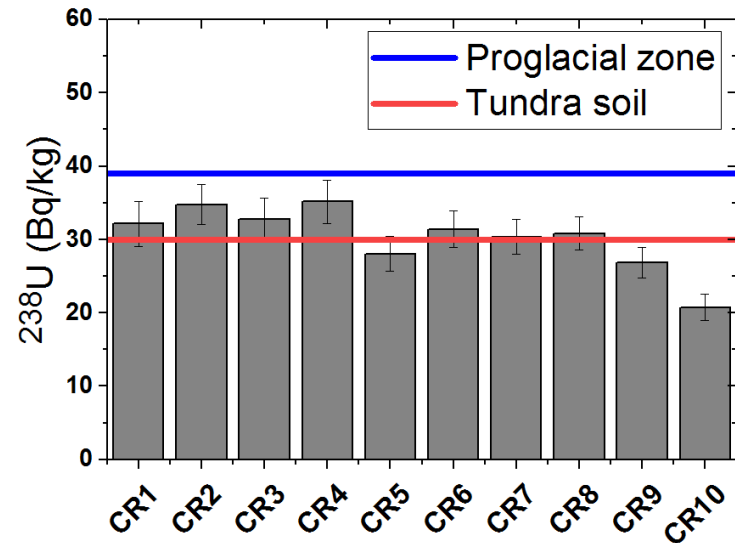
sztuczny - atmosferyczny



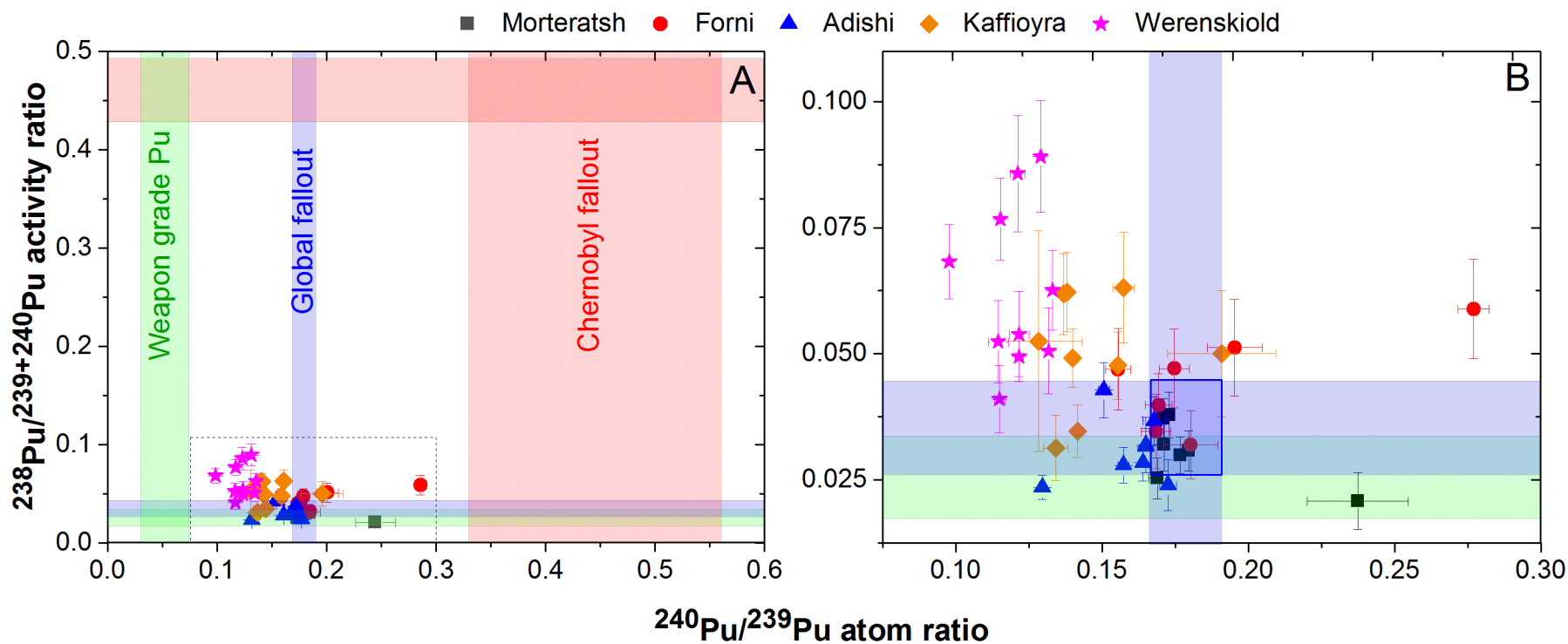
naturalny – atmosferyczny/litogeniczny



naturalny – litogeniczny



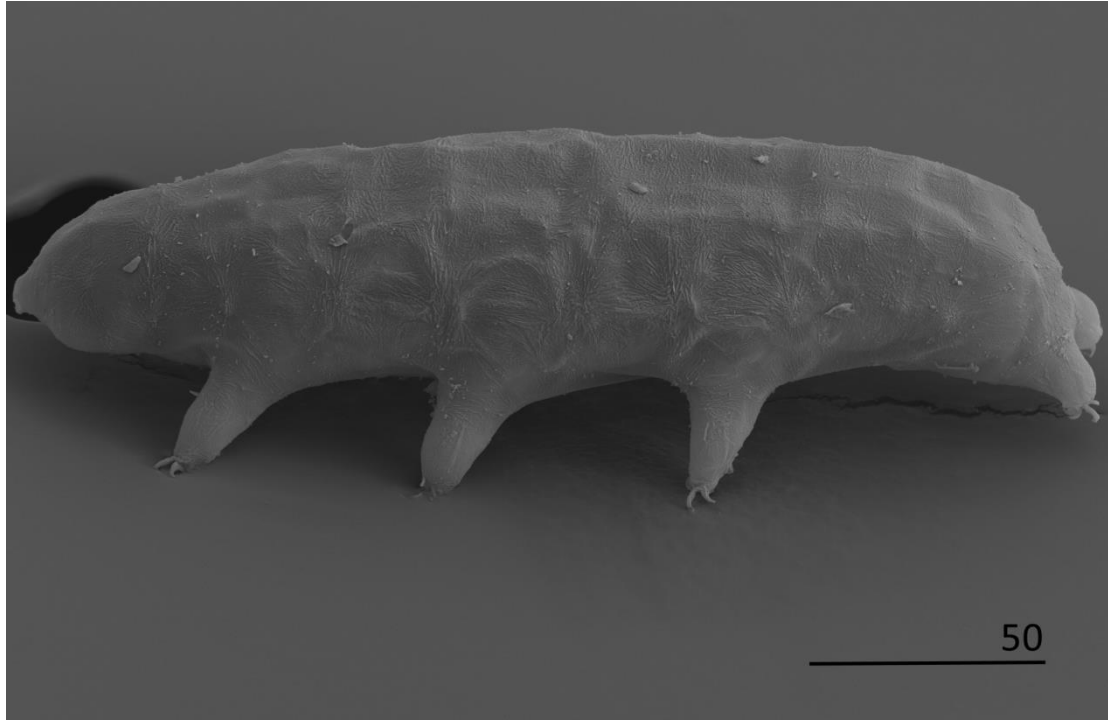
# SKŁAD IZOTOPOWY JAKO WSKAŹNIK POCHODZENIA ZANIECZYSZCZEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH





# ORGANIZMY ZWIĄZANE Z KRIOKONITEM

Kaczmarek, Ł., Jakubowska, N., Celewicz-Gołdyn, S., & Zawierucha, K. (2016). The microorganisms of cryoconite holes (algae, Archaea, bacteria, cyanobacteria, fungi, and Protista): a review. *Polar Record*, 52(02), 176-203



Nesporczaki

# KRIOKONITOWY EKOSYSTEM



promieniowanie  
słoneczne

substrat mineralny  
pierwiastki biogenne  
zanieczyszczenia

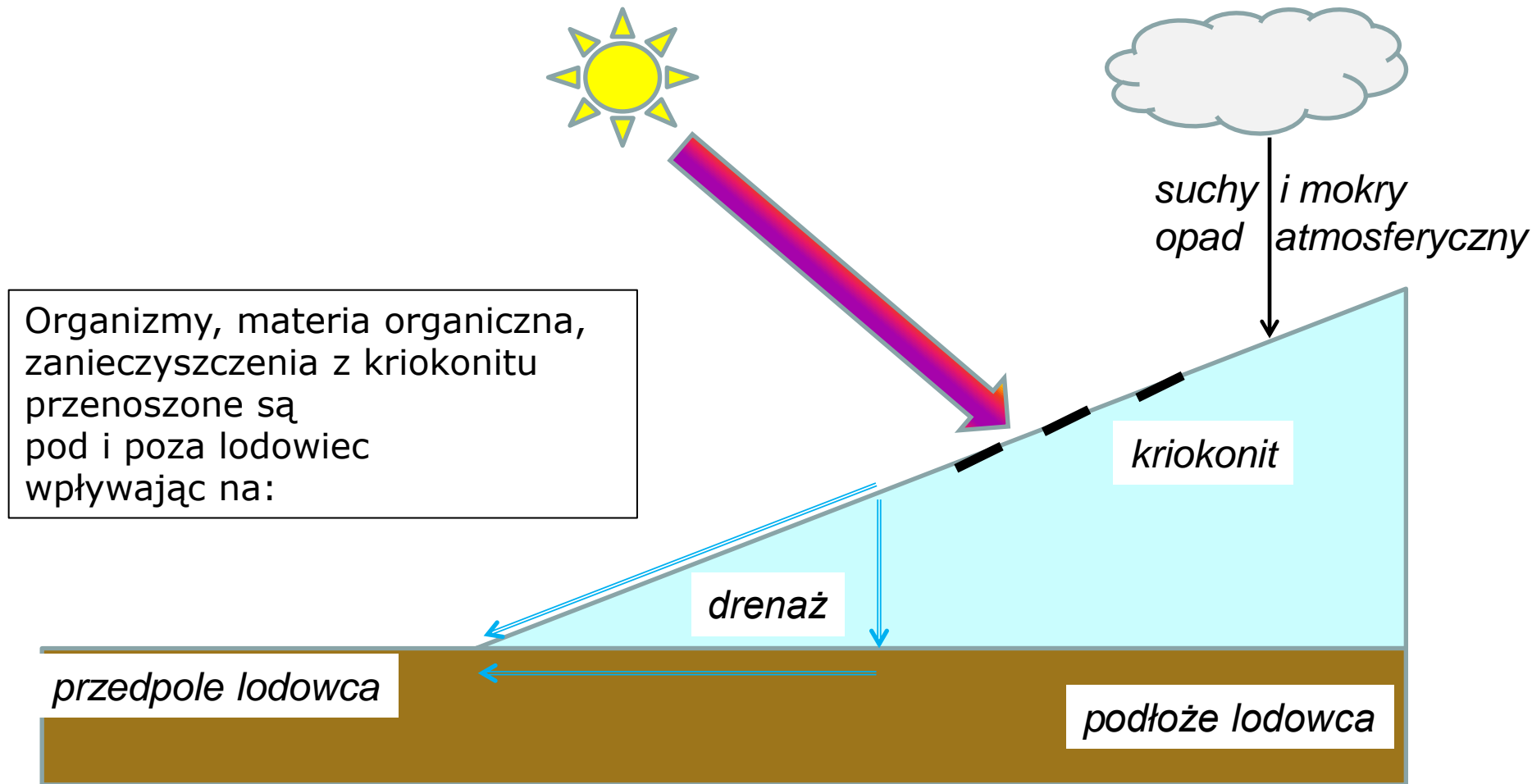
Organizmy dają  
kriokonitowi  
spoistość  
i ciemne  
zabarwienie

Wytopione przez  
kriokonit zagłębienia  
umożliwiają przetrwanie  
ekosystemu

Produkcja pierwotna  
sinic i glonów  
źródłem energii  
dla organizmów  
cudzożywnych



# ŚRODOWISKOWE ZNACZENIE KRIOKONITU



- wietrzenie chemiczne (udział w globalnym obiegu węgla)
- rozwój gleb i ekosystemów na terenach odsłanianych przez cofające się lodowce
- rozprzestrzenianie się skoncentrowanych zanieczyszczeń

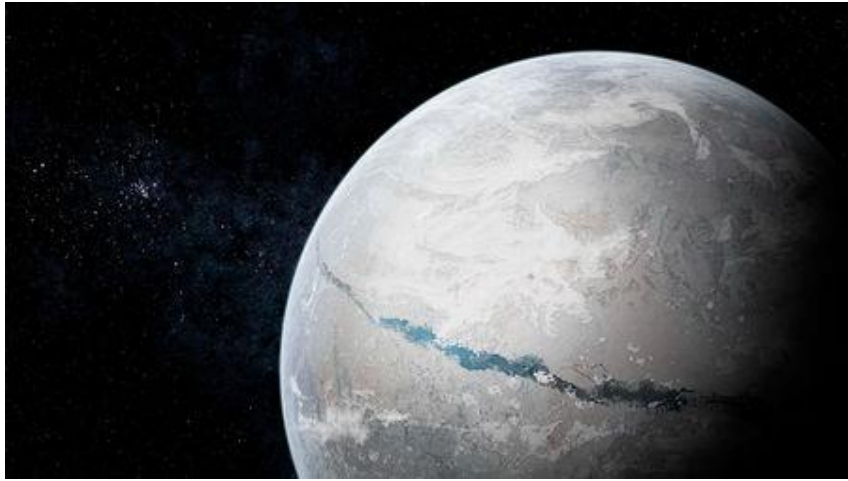




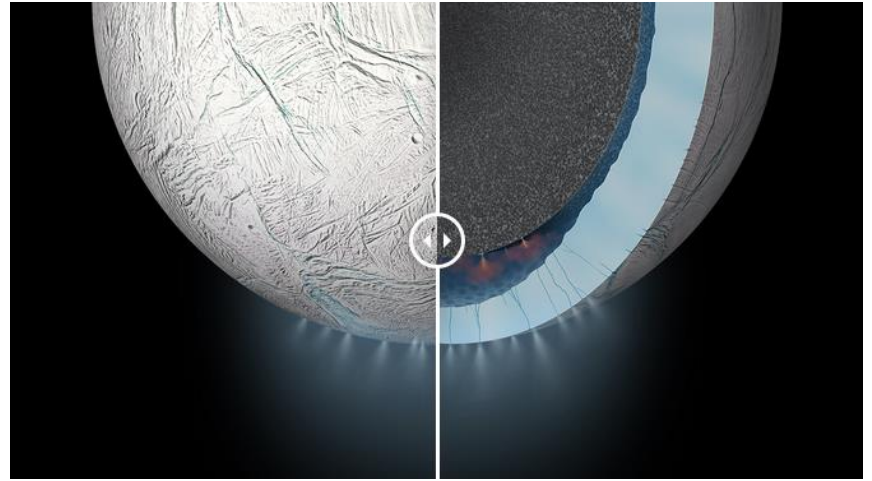




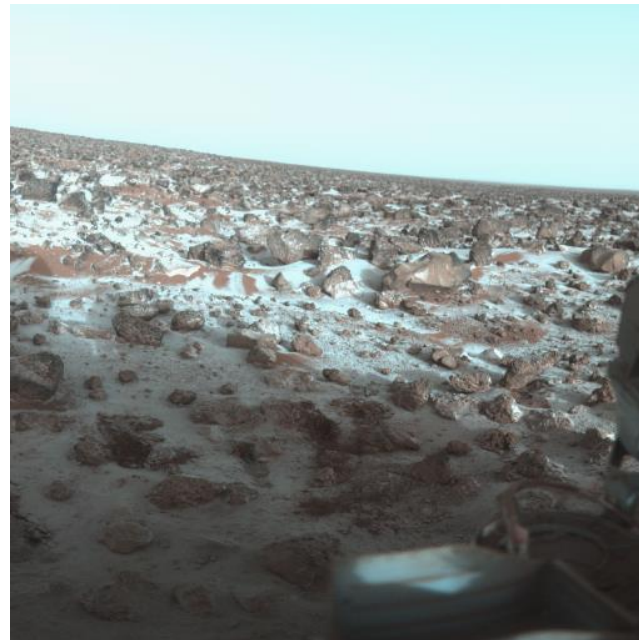
# KONTEKST ASTROBIOLOGICZNY



Snowball Earth



Enceladus



Szron na Marsie  
*Viking 2*

# PODSUMOWANIE

- Przez 200 lat po jego opisaniu kriokonit wzbudzał umiarkowane zainteresowanie nauki
- Zrozumienie znaczenia kriokonitu wymaga interdyscyplinarnego podejścia do badań środowiska
- Znaczenie badań nad kriokonitem rośnie w warunkach zanikania zlodowaceń

