



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
IM. HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Znaczenie lodowców w globalnym obiegu zanieczyszczeń

IFJ PAN, 25.11.2021

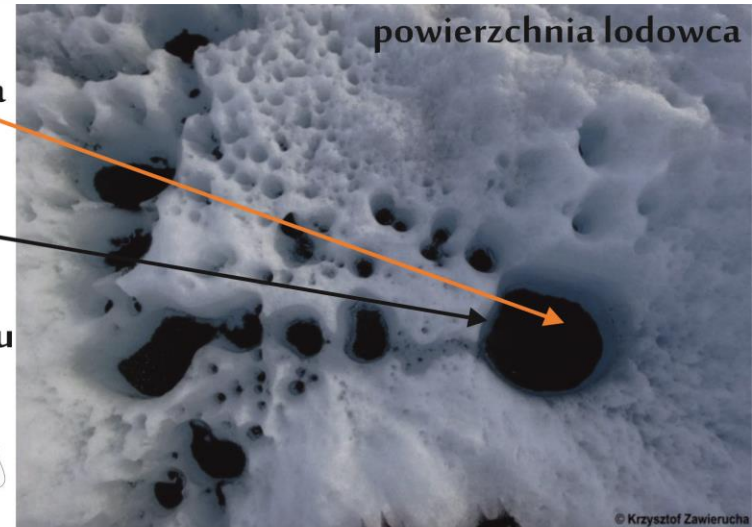
Edyta Łokas

Zakład Spektrometrii Mas



KRIOKONIT *κρύος* (lód) + *κουία* (pył)

W 1870r. szwedzki geolog Adolf Eric Nordenskjöld podczas wyprawy na Grenlandię odkrył i opisał zagłębienia w lodowcach wypełnione wodą, z dnem pokrytym czarnym osadem przypominającym granulki.





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



1. Tomadin i in. (1996), stwierdzili wysoki poziom ^{137}Cs (i BC) w próbkach kriokonitu z Alp.
2. Meese i in. (1997) przeanalizowali osady na powierzchni wieloletniego lodu morskiego Arktyki, zaobserwowali również wysokie wartości dla ^{137}Cs (<73 Bq/kg).
3. Podobne obserwacje następowały sukcesywnie opisane przez Cota i in. (2006), który odkrył wysokie wartości dla ^{137}Cs (1800-2000 Bq/kg) na powierzchni wieloletniego lodu morskiego w Arktyce Kanadyjskiej w pobliżu przejścia Północno-Zachodniego.
4. Tieber et al. (2009) w kriokonicie z lodowca w Alpach Austriackich zaobserwowali bardzo wysokie wartości dla ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{60}Co , ^{154}Eu , ^{207}Bi i ^{125}Sb .
5. Łokas i in. (2016)

Chemosphere 160 (2016) 162–172



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Chemosphere

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemosphere



Accumulation of atmospheric radionuclides and heavy metals
in cryoconite holes on an Arctic glacier



Edyta Łokas ^{a,*}, Agata Zaborska ^b, Małgorzata Kolicka ^c, Michał Różycki ^d,
Krzysztof Zawierucha ^c

^a Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences, Department of Nuclear Physical Chemistry, Radzikowskiego 152, Kraków, Poland

^b Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences, Powstańców Warszawy 55, Sopot, Poland

^c Adam Mickiewicz University in Poznań, Faculty of Biology, Department of Animal Taxonomy and Ecology, Umultowska 89, 61-614 Poznań, Poland

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

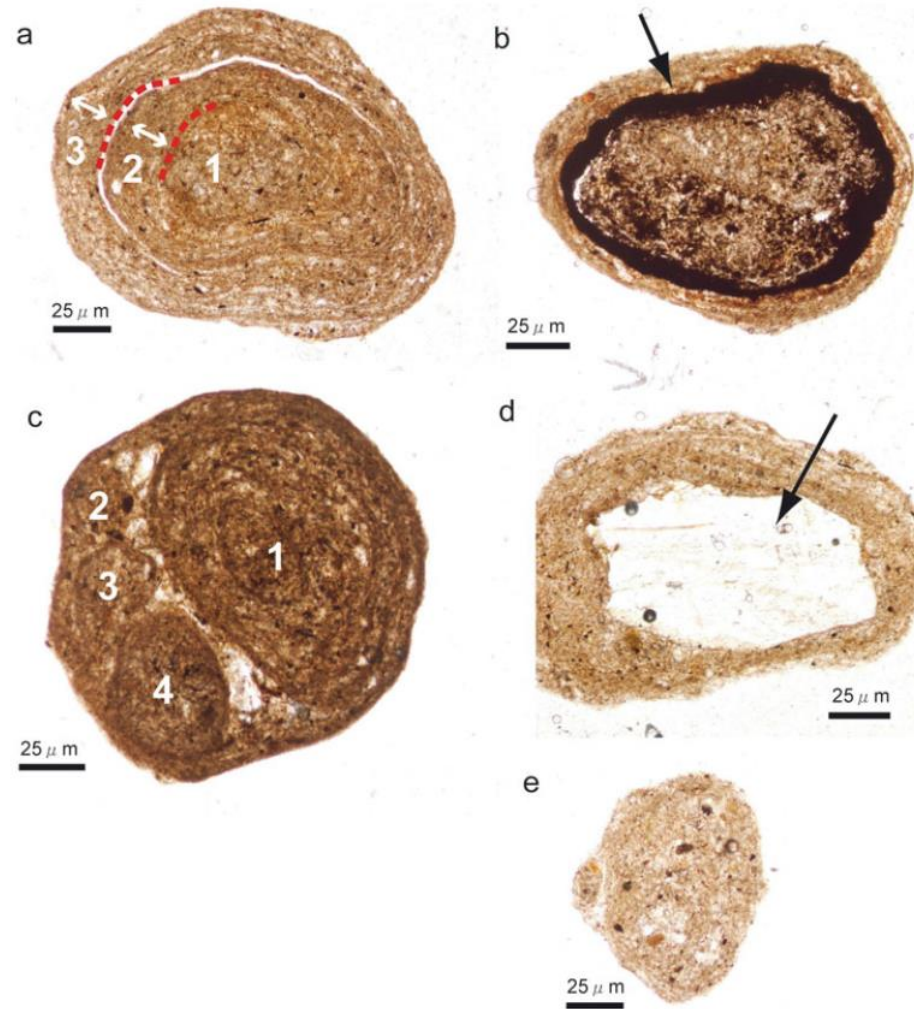




WEWNĘTRZNA STRUKTURA GRANULEK KRIOKONITU

Narastanie odtwarza powierzchnię
mającą kontakt
z atmosferą

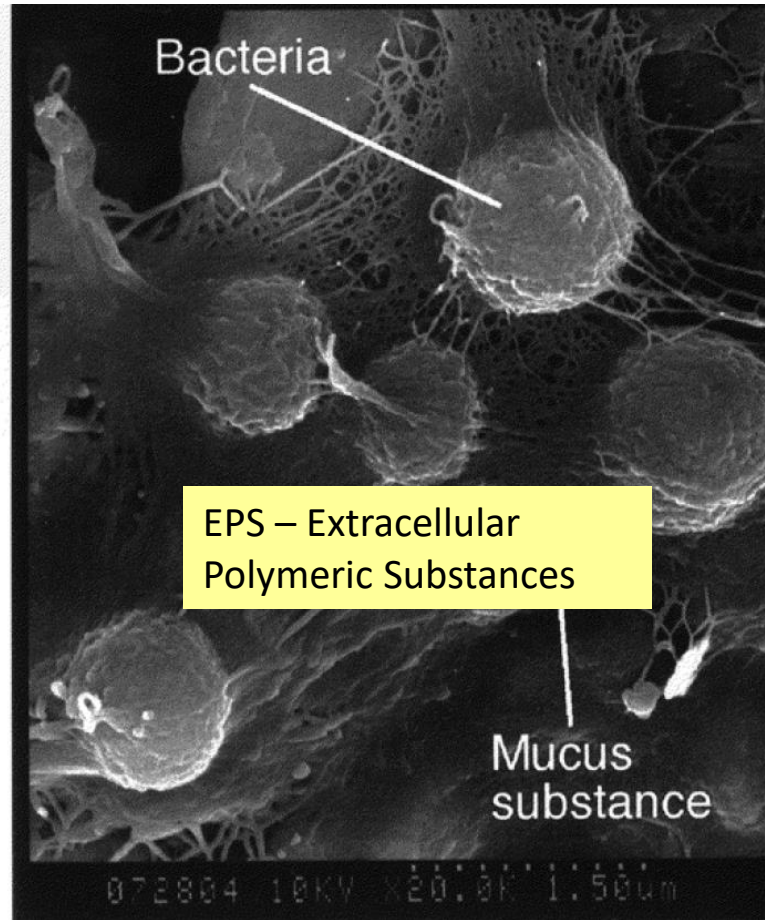
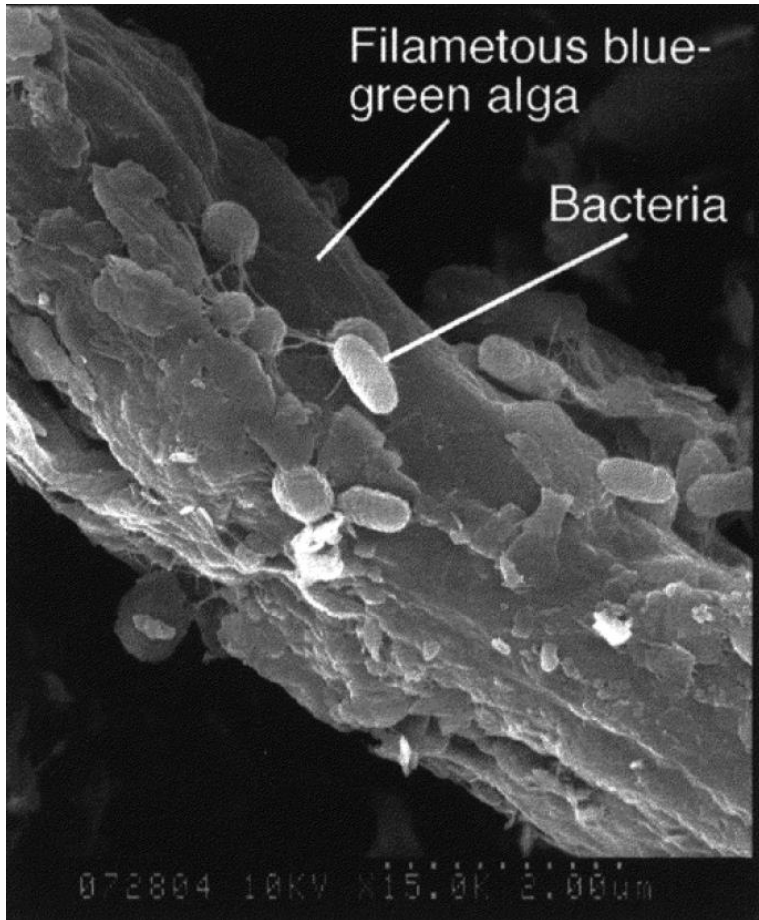
„Recykling” granulek



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.



MATERIAŁY Z DALEKOZASIĘGOWEGO TRANSPORTU W KRIKONICIE

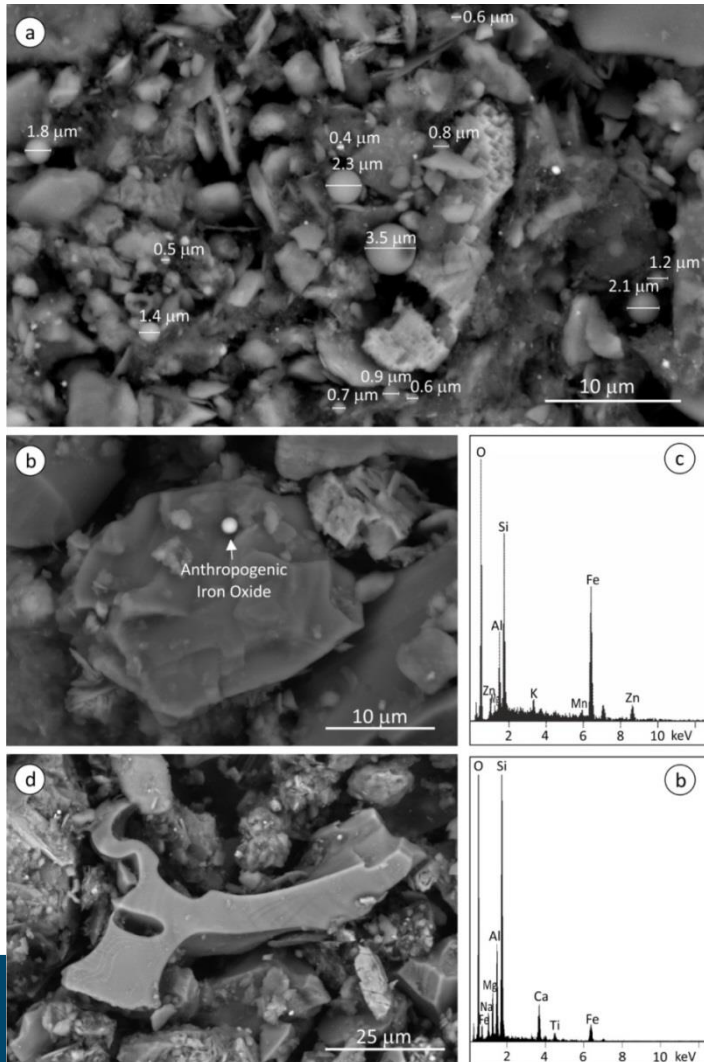
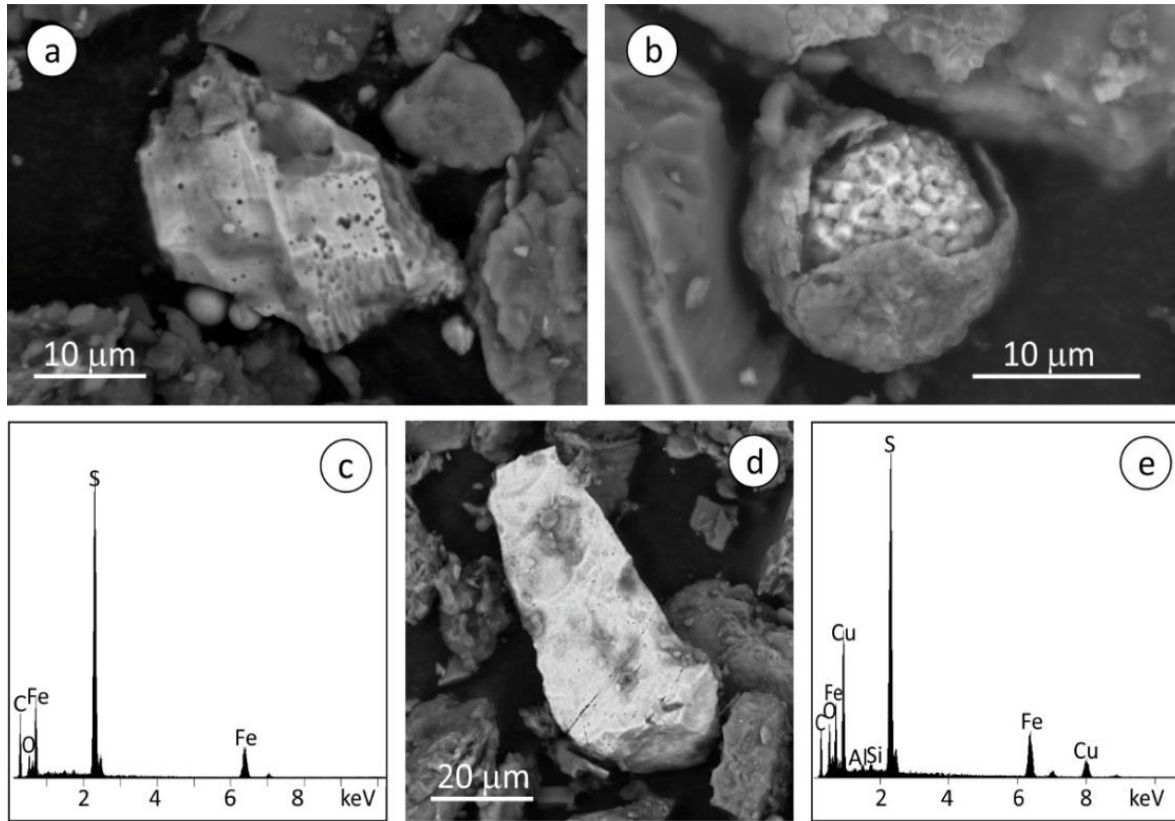


Fig. 5. Dust particles from long-range transport. (a) Spheroidal aluminosilicate fly ash particles (SAP) in sample CR1; (b) anthropogenic spherical Fe oxide and the corresponding EDS spectra (c) showing Zn and Mn enrichment in the particle; sample CR4 (Si and Al are from the background geogenic large particle). (d) Volcanic glass shard, (e) EDS spectra of the shard basaltic in composition (sample CR4).

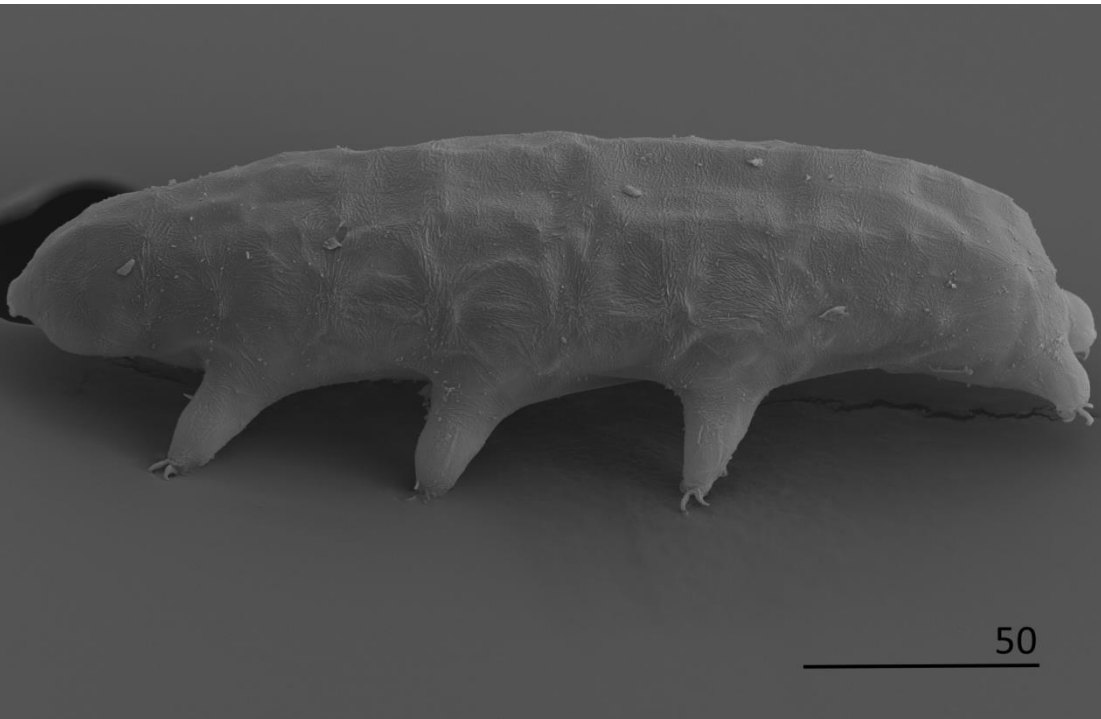
REAKTOR BIOCHEMICZNY



Sulfide minerals in cryoconite. (a) massive pyrite with weathering pits (CR5); (b) framboidal pyrite in organic-rich envelope (CR 3) with (c) the corresponding EDS spectra, (d, e) iron-copper sulfide, sample CR7.

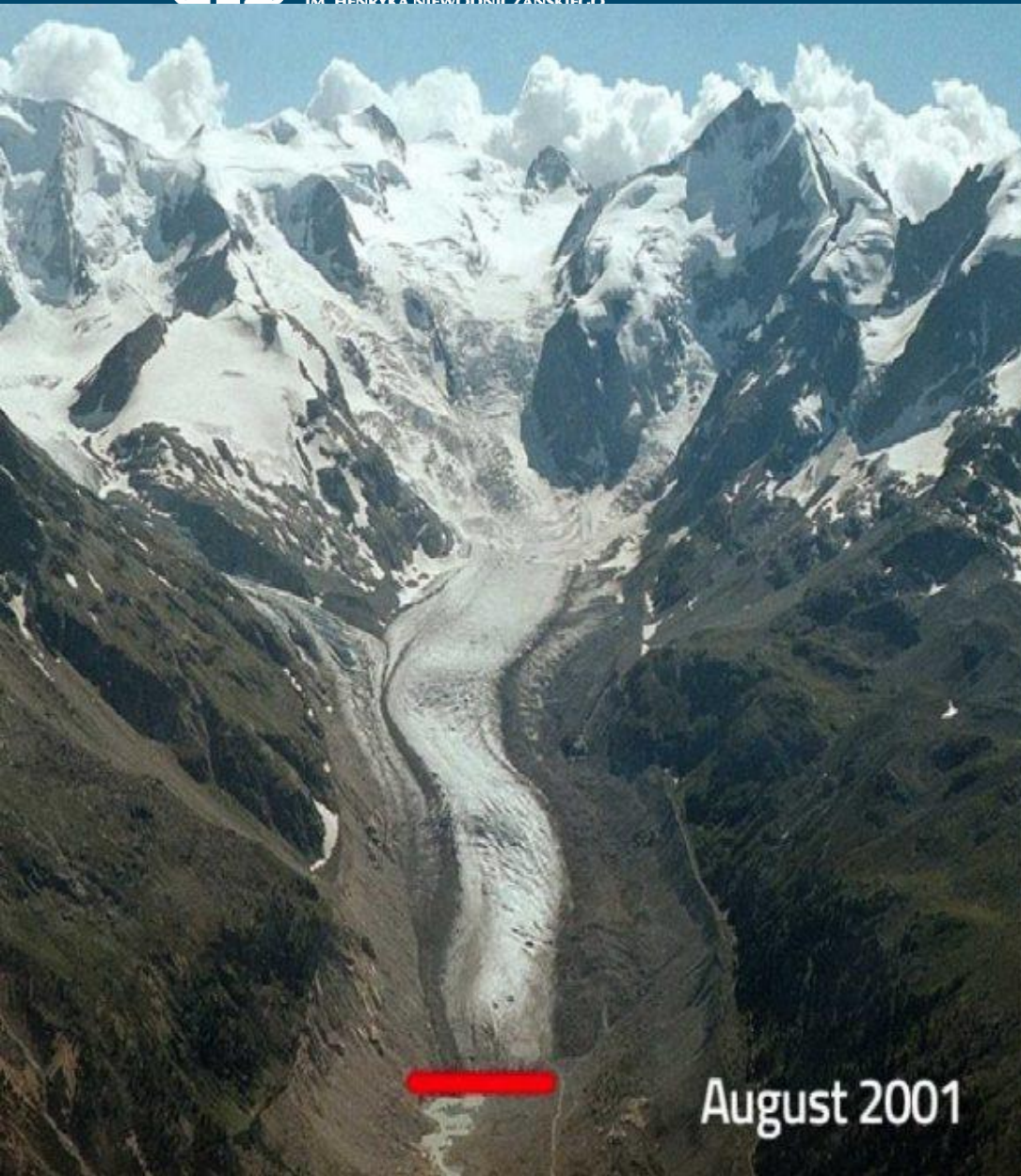


ORGANIZMY ZWIĄZANE Z KRIOKONITEM



Niesporczaki

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




August 2001



July 2016

- rozprzestrzenianie się skoncentrowanych zanieczyszczeń

TŁO BADAŃ



Lodowce zajmują ok 10% powierzchni Ziemi i zawierają 70% całkowitych zasobów wody. Setki milionów ludzi zależy od wody zmagazynowanej w lodzie szczególnie w rejonach wysokogórskich Himalajów czy Andów. Lodowce zatrzymują zanieczyszczenia atmosferyczne w tym radionuklidy. Radionuklidy, i inne zanieczyszczenia, uwalniane z topniejących lodowców mogą być transportowane do dalszych ekosystemów (strefa proglacjalna, jeziora, fiordy) i gromadzone w faunie i florze.

CEL:

1. określenie stopnia zanieczyszczenia izotopami radioaktywnymi (^{137}Cs , ^{241}Am , ^{207}Bi , ^{210}Pb , ^7Be i izotopów Pu) różnych elementów kriosfery (kriokonity, gleby, osady morskie)
2. wskazanie źródeł zanieczyszczenia radionuklidami pochodzenia sztucznego poprzez wyznaczenie wartości stosunków izotopowych ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$, $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) w kriokonitach i glebach.
3. Określenie stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi (Pb, Cd, Co, Ni, Zn, Mn) oraz źródeł $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$

DODATKOWO: zależności między zawartością radionuklidów i metali ciężkich w ekosystemach glacialnych a własnościami mineralogiczno-biologiczno-chemicznymi kriokonitu



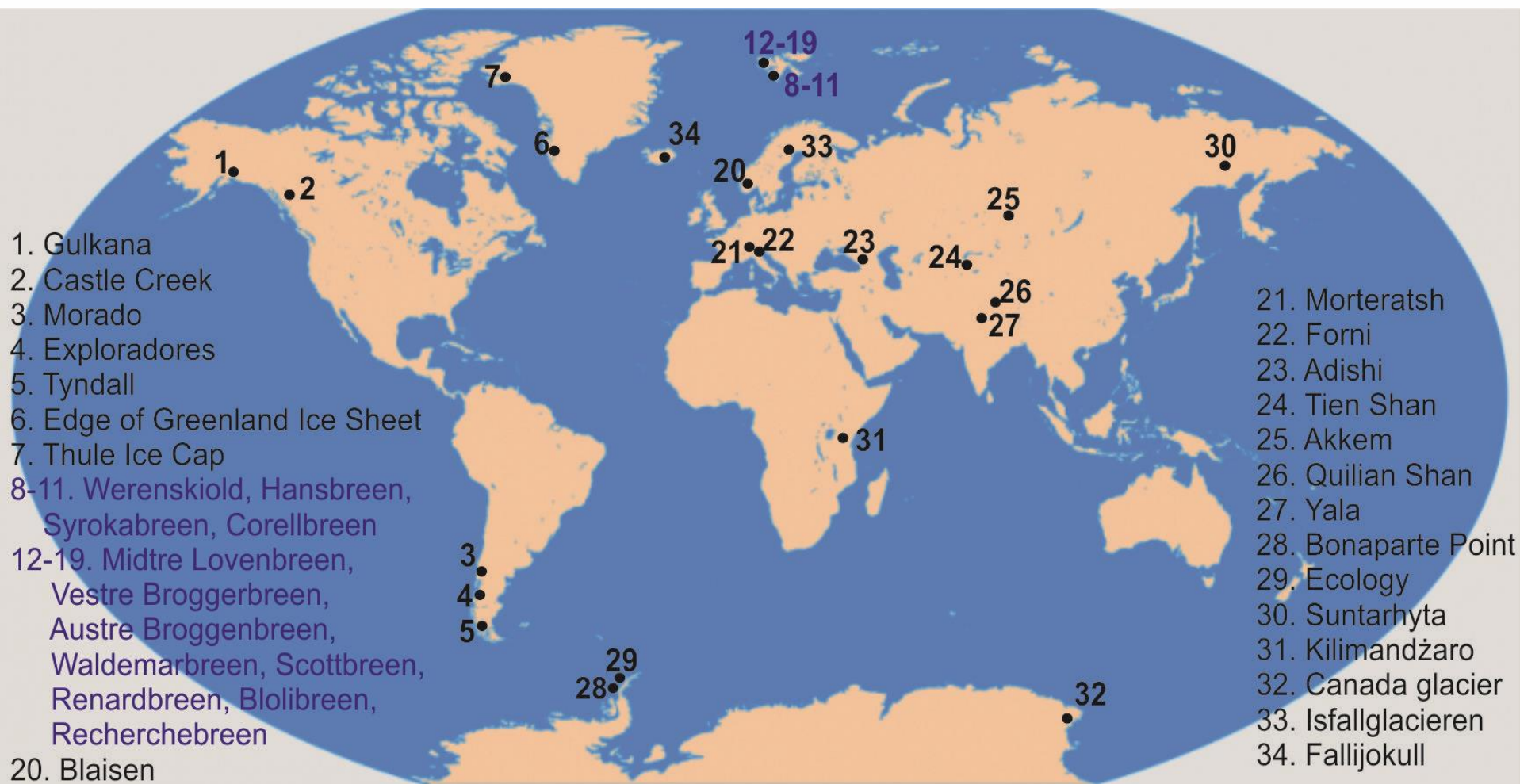
Dlaczego radionuklidy atmosferyczne są akumulowane w kriokonicie?



- Zdolności materiału kriokonitowego do zatrzymywania radionuklidów atmosferycznych oraz prawdopodobnie innych zanieczyszczeń śladowych polegają na wydzielaniu przez sinice pozakomórkowej substancji polimerycznej (EPS), sideroforów oraz biosurfaktantów
- Różne okresy półtrwania radionuklidów pokazują różnicę w ich dojrzałości oraz kontakt z wodami supraglacialnymi.



Aby ocenić, w jakim stopniu akumulacja FRN występuje w globalnej kriosferze, opracowano bazę danych z 34 pojedynczych miejsc (do tej pory!), obejmujących lodowce górskie, czapy lodowe i lądolody oraz szereg reżimów klimatologicznych.





ANALIZOWANE IZOTOPY

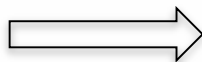
^{210}Pb , ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{207}Bi , ^7Be ,
 ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra



Measurements-low-
background gamma-
ray spectrometers
with HPGe detectors



^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, (^{241}Am)



alpha-ray spectrometers
with Si detectors

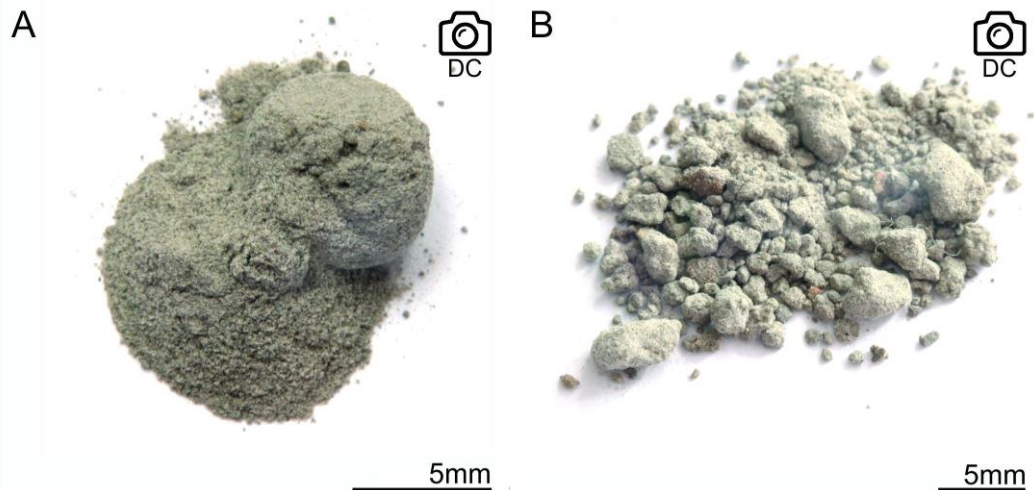


$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$

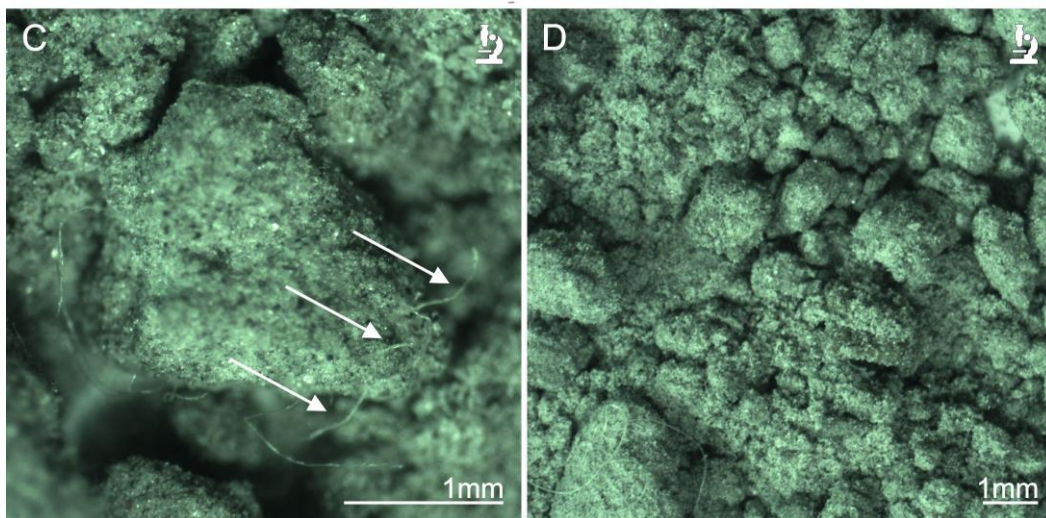


mass spectrometry
MC-ICP-MS Neptune





W 1870r. szwedzki geolog Adolf Eric Nordenskjöld podczas wyprawy na Grenlandię odkrył, opisał i nazwał kriokonit.



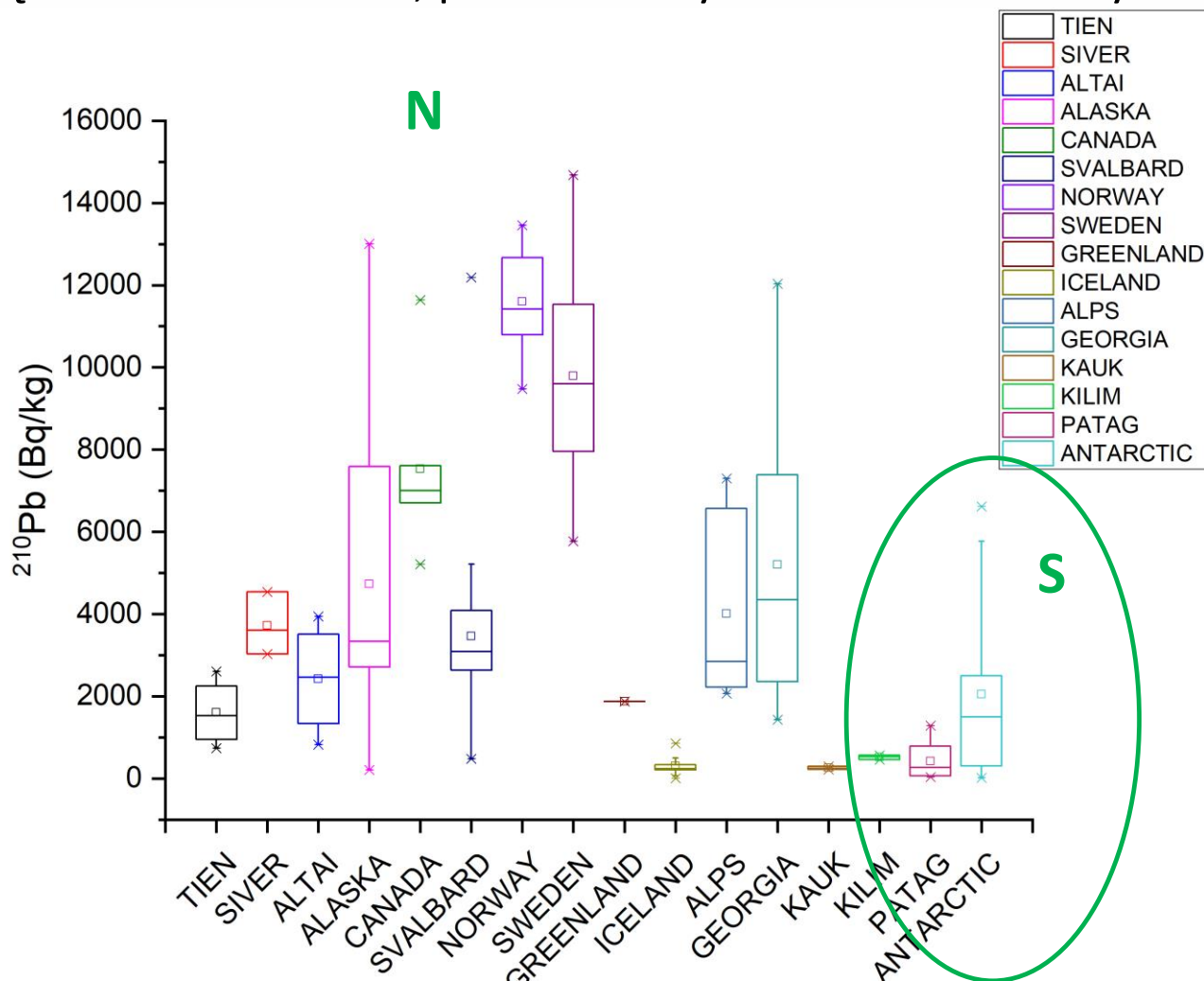
^{210}Pb , ^{241}Am i $^{137}\text{Cs} < \text{MDC}$

Prywatna kolekcja Marka Stibala - pochodzi z Muzeum Historii Naturalnej w Kopenhadze



^{210}Pb (naturalny *FRN*, $t_{1/2}=22,3\text{y}$)

Nadmiarowa frakcja $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (deponowany z atmosfery) w kriokonicie jest o rząd/dwa większa niż w mchach, porostach czy osadach morenowych.

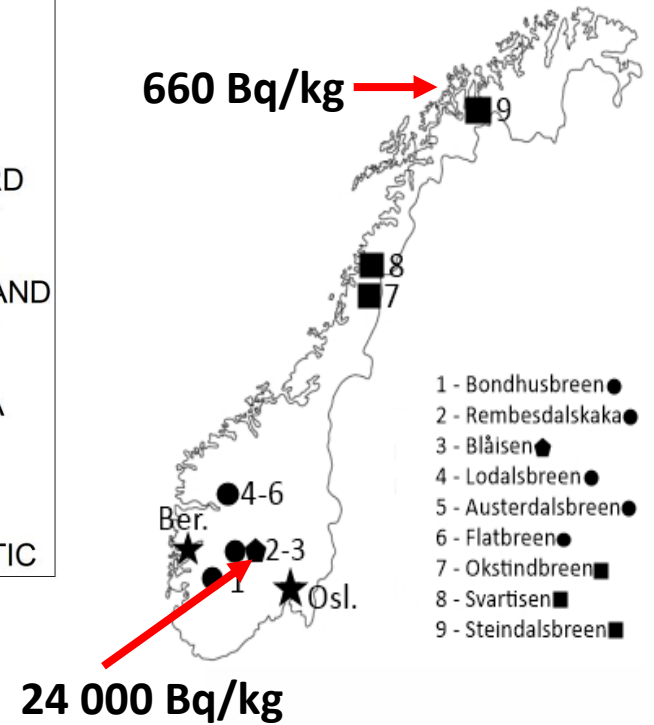
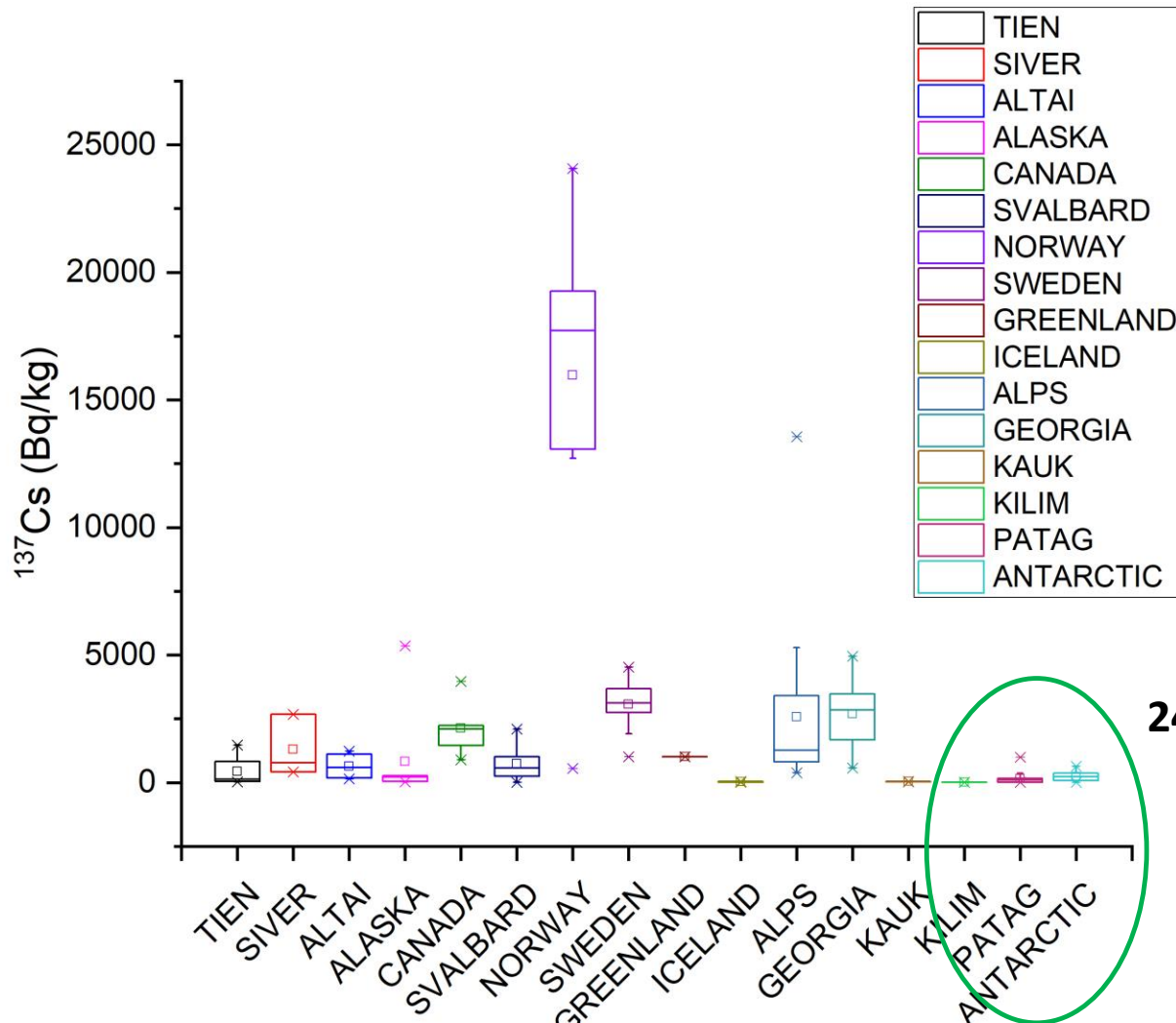


14 600 Bq/kg



^{137}Cs (sztuczny FRN, $t_{1/2}=30,1$ y)

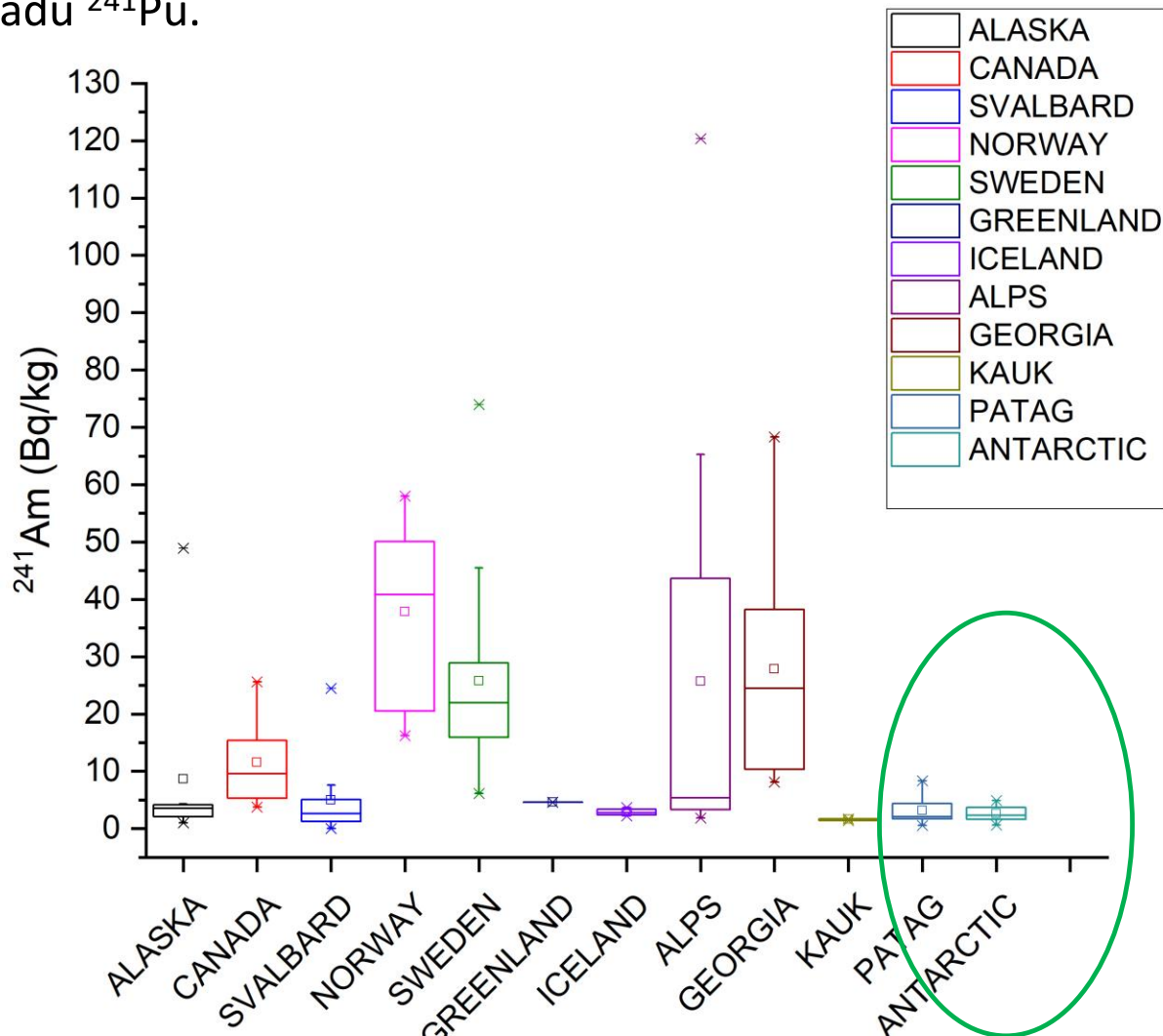
Duże ilości zdeponowane po katastrofie w Czarnobylu. Niektóre mięso z dzika w Szwecji nadal zawiera do 10 razy więcej (16000 Bq/kg) niż prawnie dopuszczalny limit (1500 Bq/kg).





^{241}Am (sztuczny FRN, $t_{1/2}=432,2$ y)

Rzadziej obserwowany FRN. Jego rosnąca ilość w środowisku jest wynikiem rozpadu ^{241}Pu .

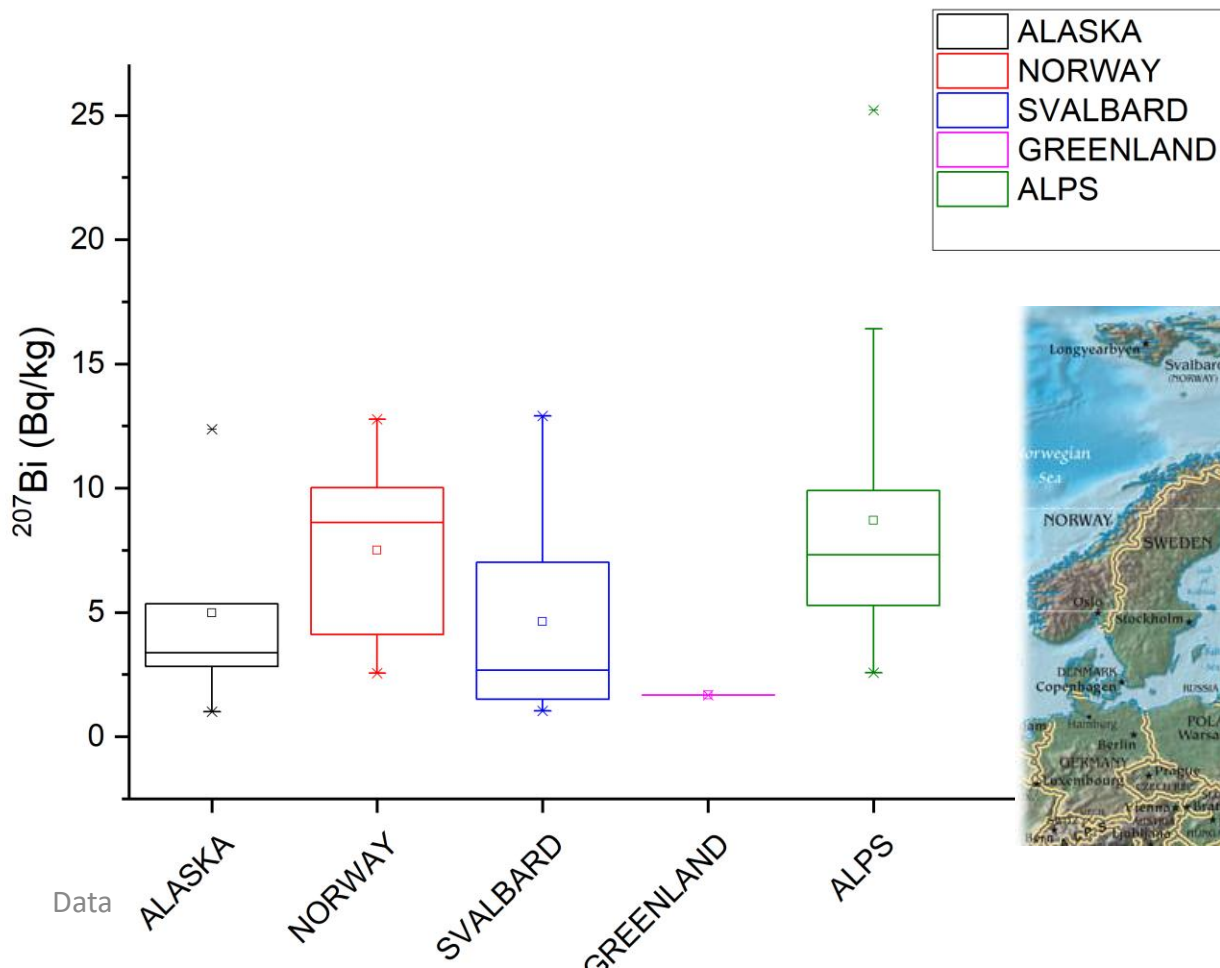


120 Bq/kg

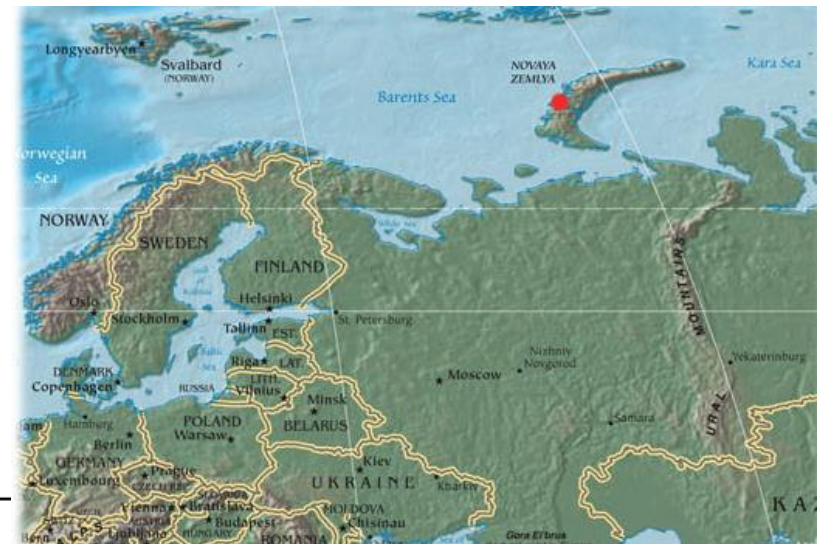


^{207}Bi (sztuczny *FRN*, $t_{1/2}=31,6$ y)

Jego produkcja i rozprzestrzenianie się na północnej półkuli jest związane z eksplozją Car-bomby w 1961 r na Nowej Ziemi. Największa zdetonowana bomba wodorowa (58 Mt). Po tym wydarzeniu ^{207}Bi stał się mierzalny w atmosferze (Kim et al., 1997).



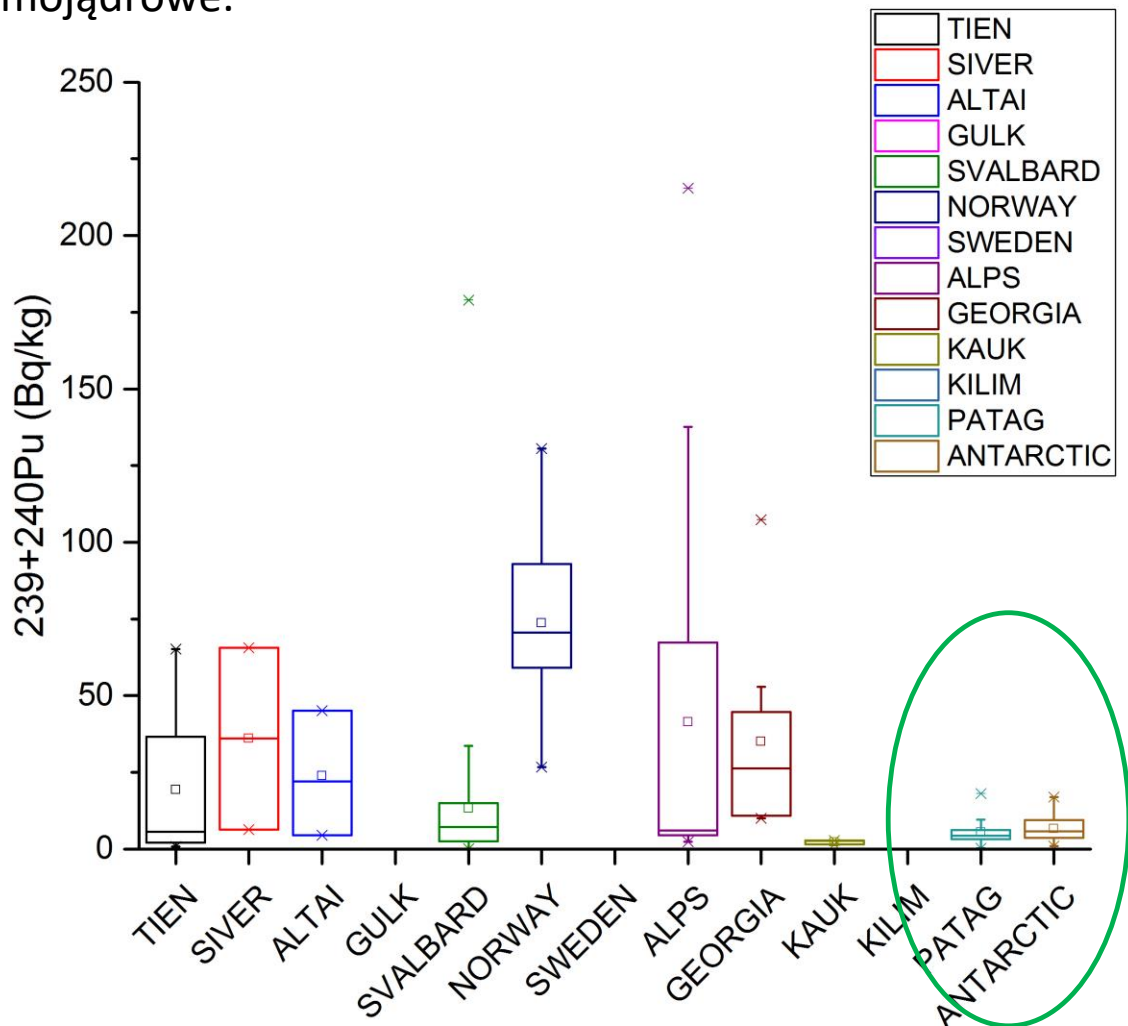
25 Bq/kg





$^{239+240}\text{Pu}$ (sztuczny FRN, $t_{1/2}=24110$ i 6536 y)

Uwolnienia do środowiska Pu związane były przede wszystkim z atmosferycznymi testami broni jądrowej. W latach 1945-1963 przeprowadzono w otwartej atmosferze 423 wybuchy jądrowe i termojądrowe.

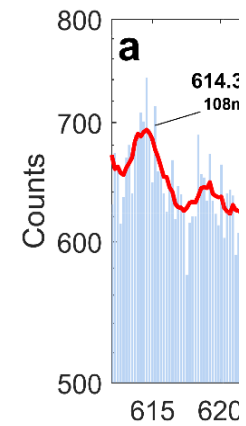


215 Bq/kg

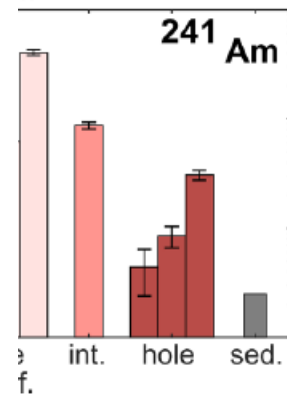
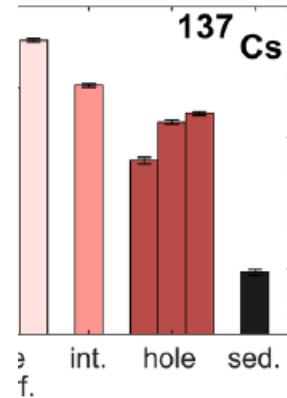
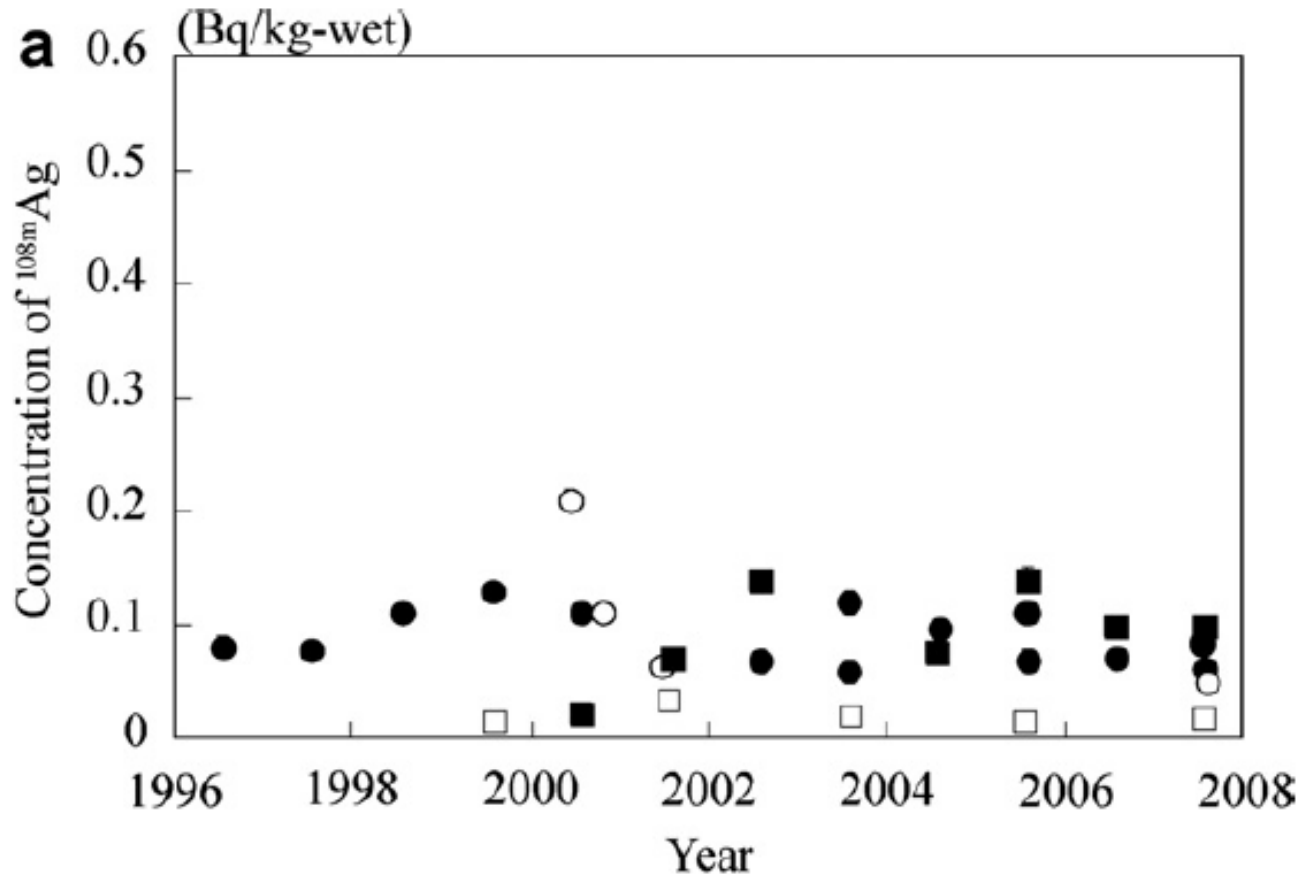


^{108m}Ag (sztuczny FRN, $t_{1/2}=418$ y)

Powstaje w wyniku reakcji jądrowych z udziałem srebra podczas testów z bronią jądrową



Dwie główne
3 linia ^{108m}Ag

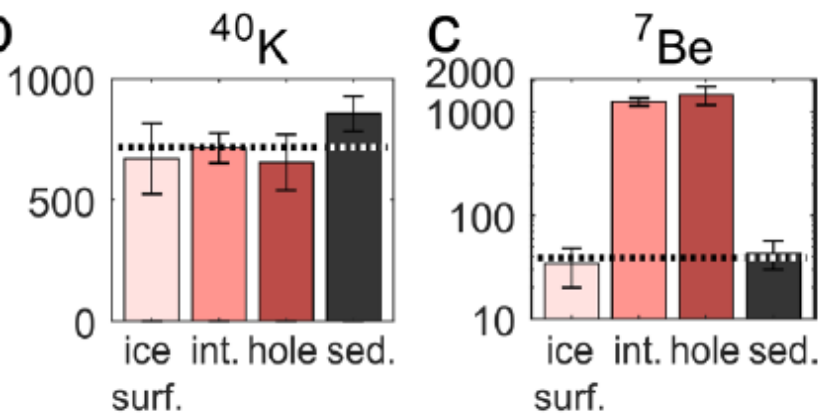


< 0.2

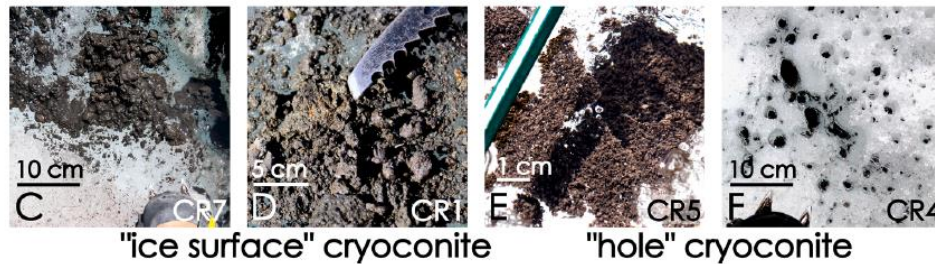
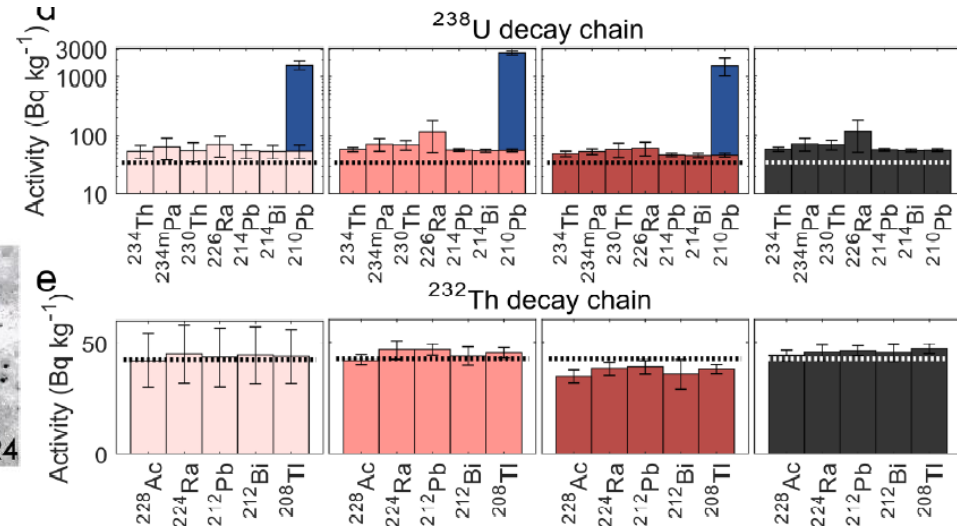


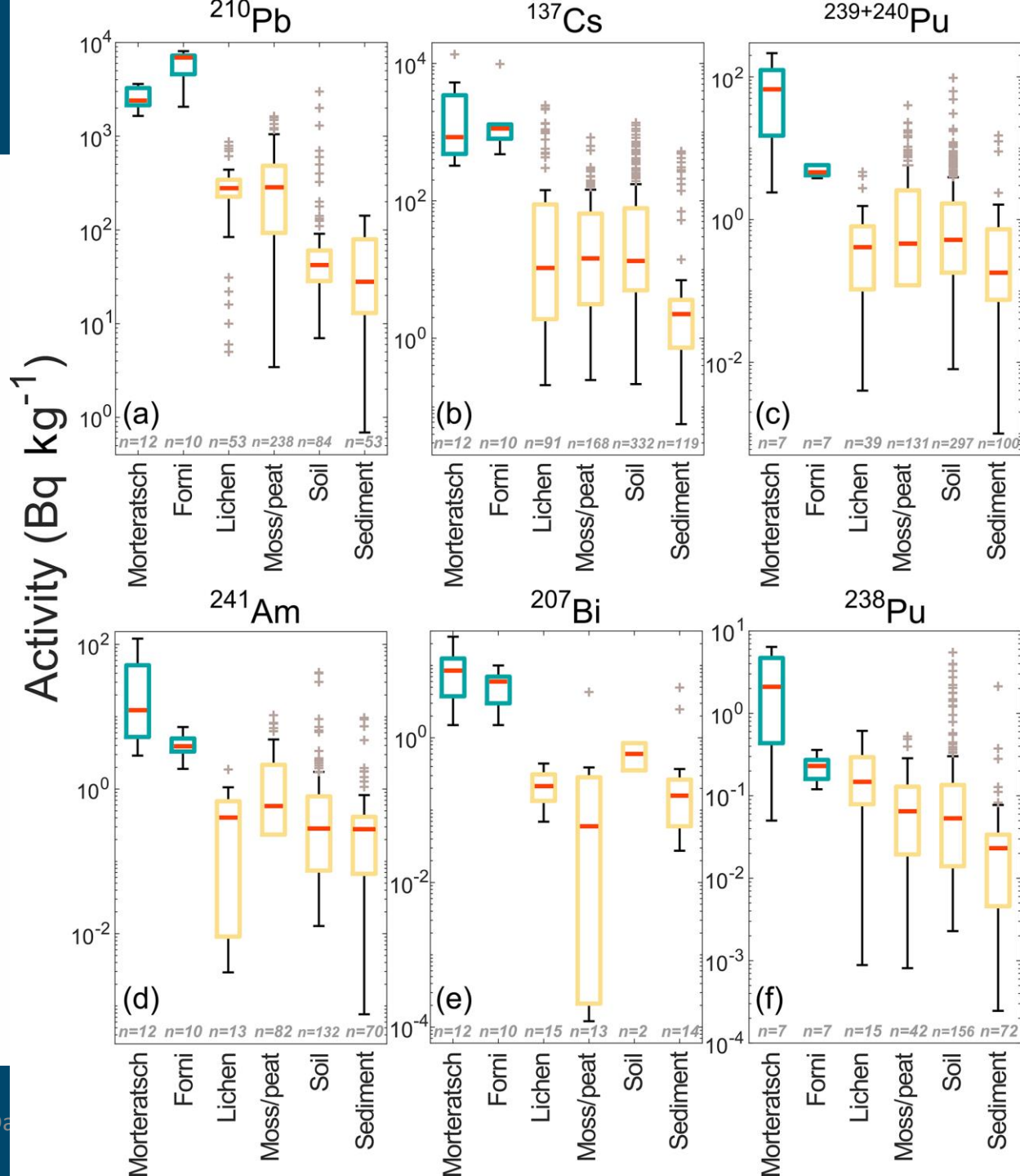
^7Be (kosmogeniczny, $t_{1/2}=53$ d)

Powstaje w górnej troposferze i dolnej stratosferze. Jego aktywność właściwa w kriokonicie przewyższa typowe wartości w środowisku



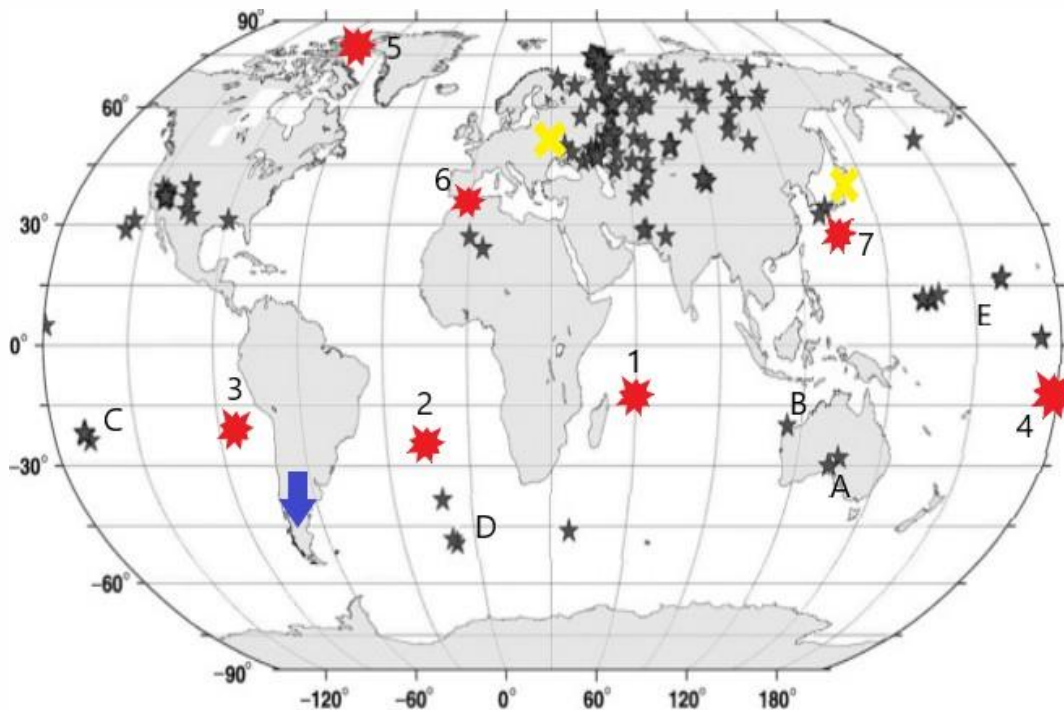
Typowe wartości w środowisku to 10–50 Bq/kg. W kriokonicie z lodowca Morteratsch (Alpy) ok. 1000Bq/kg.







ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZEŃ



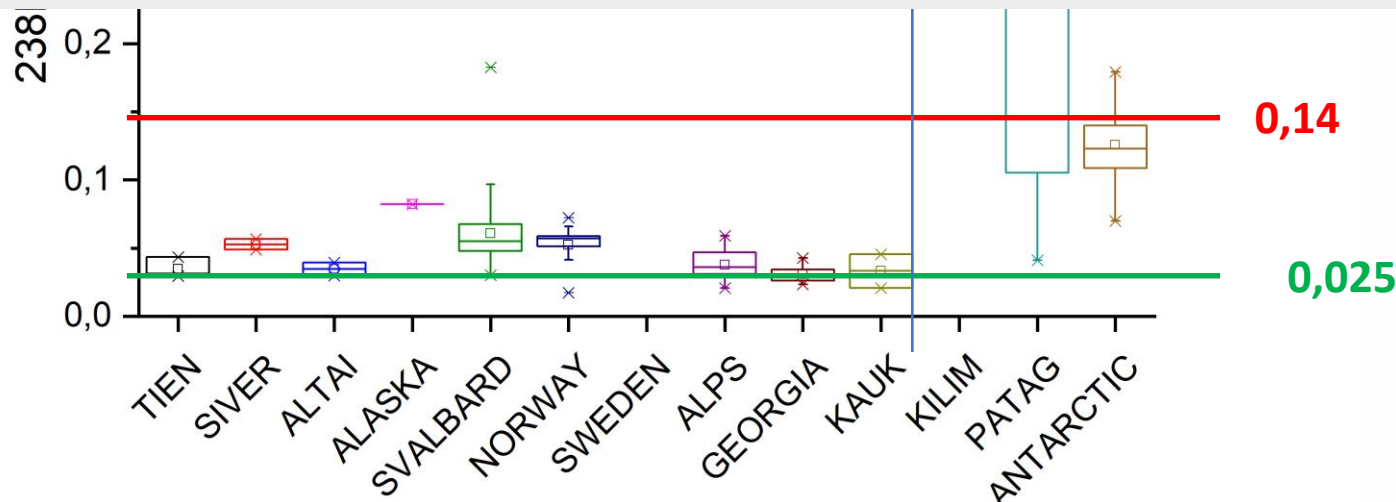
Mapa świata z zaznaczonymi próbnymi testami jądrowymi (szare gwiazdki), najważniejszymi wypadkami samolotów, satelitów, sond kosmicznych (czerwone gwiazdki), największych katastrof jądrowych- Fukushima i Czarnobyla.

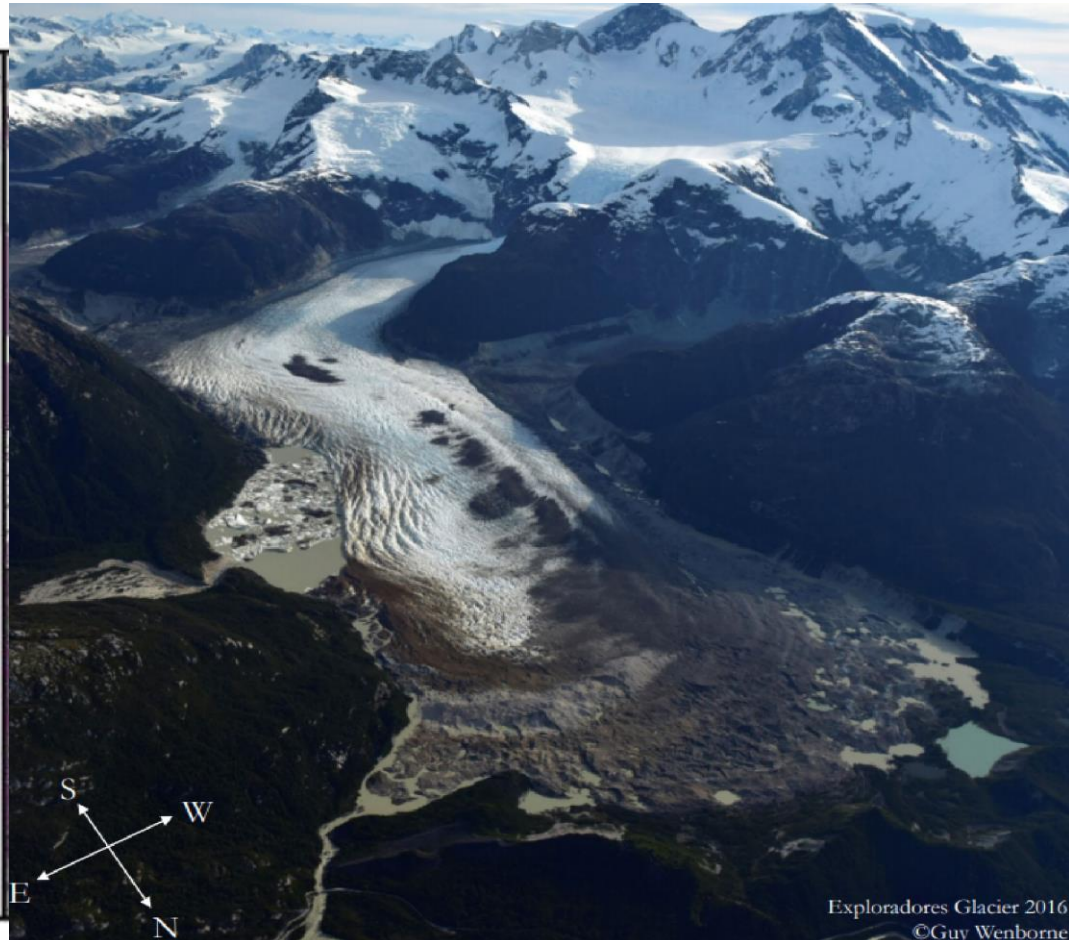
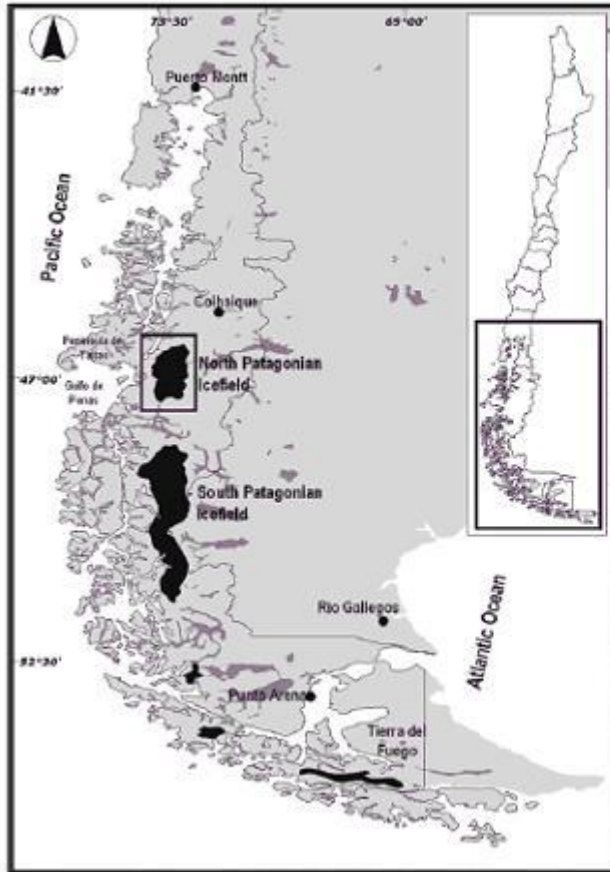
1. SNAP 9A, 2. Kosmos 1402, 3. Mars 96
4. Apollo 13, 5. B-52 ('68), 6. B-52 ('66), 7. Skyhawk Jet A-4;

- A. Zakazana Strefa Woomera,
- B. Wyspa Montebello
- C. Atol Murora
- D. Operacja Argus
- E. Wyspy Marshalla.



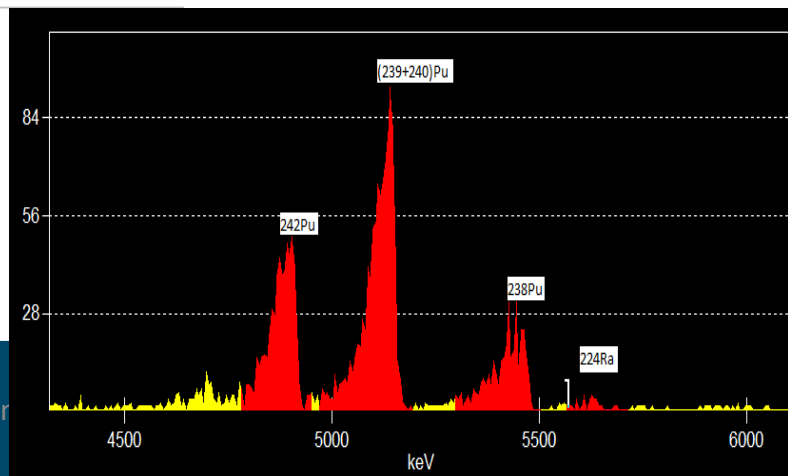
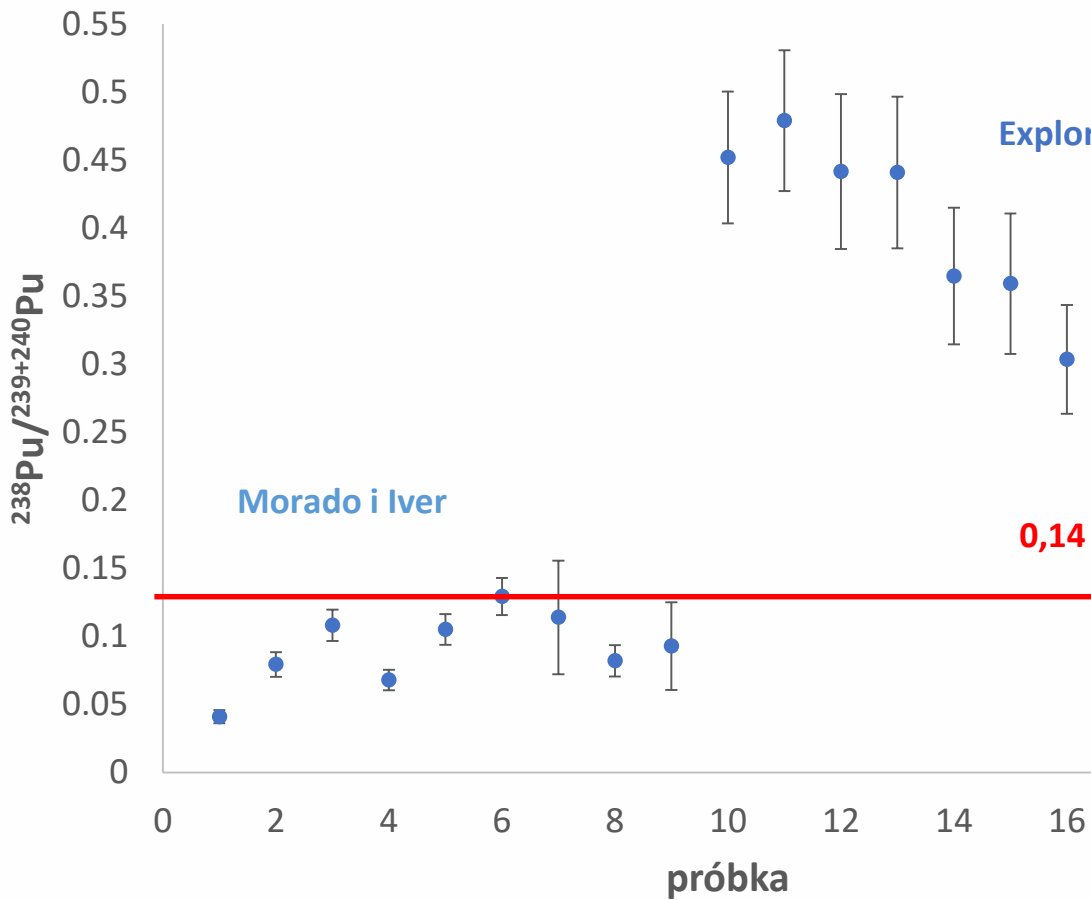
"Interplanetary station "Mars' 96" — The automatic Interplanetary Station "Mars' 96" was launched on 16 November 1996 but as a result of an unsuccessful burn of the booster block entered the earth's atmosphere and fell into the Pacific Ocean to the West of Chile. The "Mars' 96" probe contained 18 RTGs containing ^{238}Pu with a total activity 174 TBq (4.7 kCi). Potential local radioactive contamination of the marine environment cannot be excluded." (IAEA (2001) Inventory of accidents and losses at sea involving radioactive material. International Atomic Energy Agency IAEA, Vienna).





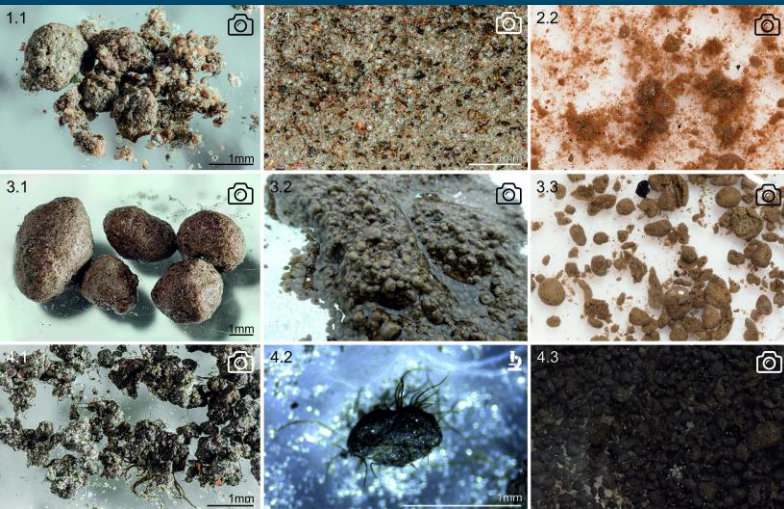
Exploradores Glacier 2016
©Guy Wenborne

Czapa lodowa Patagonii jest jednym z największych na świecie obszarów lodowych o powierzchni ponad 17 200 km^2 . Teren charakteryzuje duża ilość opadów oraz topnienia lodowców. Czyni go to wrażliwym na wszelkie zmiany klimatyczne, dlatego badania tego regionu są bardzo ważne w określaniu przebiegu i skutków ich zmian.

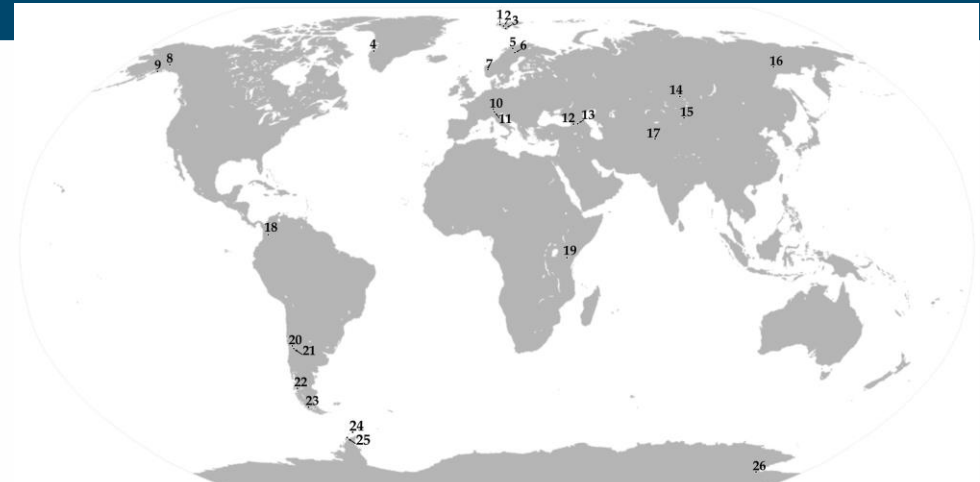
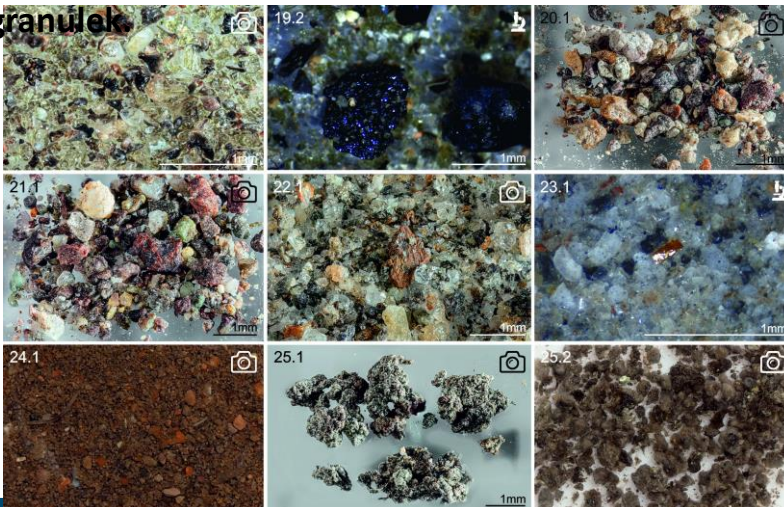




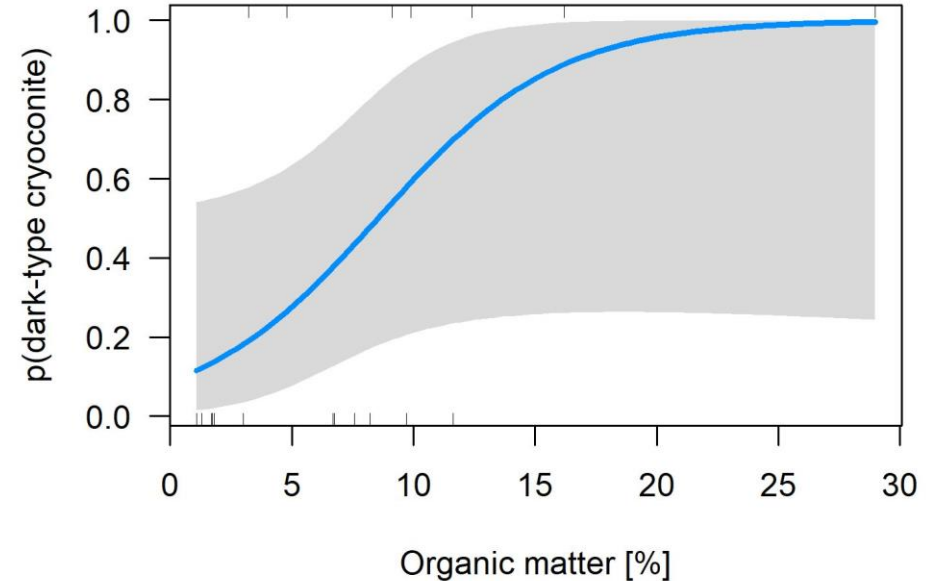
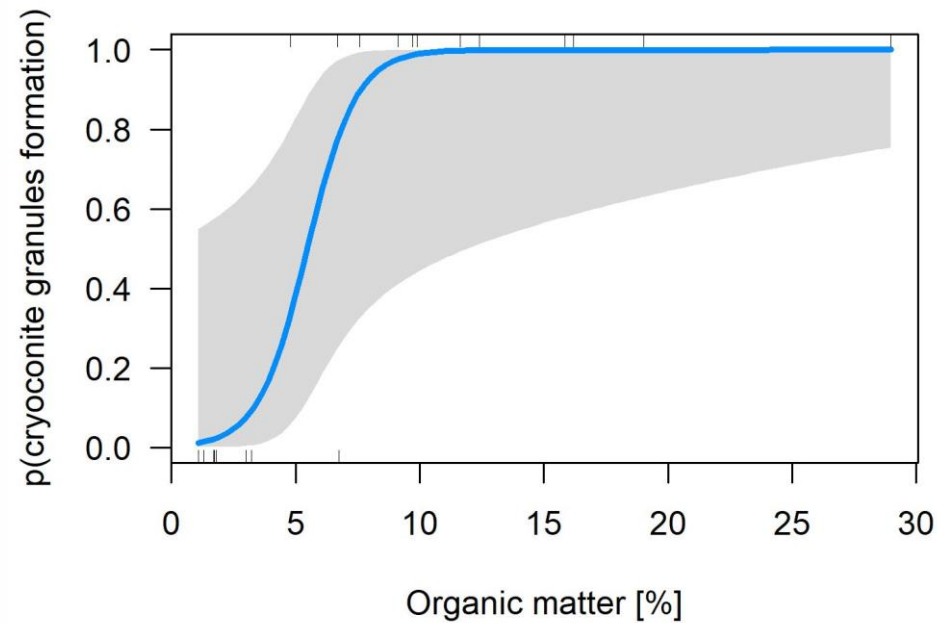
Morfologia, kolor i skład kriokonitu (mineralny i składniki biogenne)



Zdjęcia zrobione pod mikroskopem stereoskopowym posłużyły do oceny kształtu i powierzchni zewnętrznej



- Granulki różniły się wielkością i formami, prawdopodobnie zapewniając różne nisze dla drobnoustrojów lodowcowych.
- Morfologia kriokonitu znacznie się różniła w poszczególnych regionach
- Warunki geologiczne, takie jak ciemne skały maficzne lub piroklastyczne, nie mogą wyjaśnić samego koloru kriokonitu. **Nasze badanie dostarczyło dowodów na wzajemne oddziaływanie środowiska geologicznego i materii organicznej w kształtowaniu koloru kriokonitu na lodowcach.**



Zawartość materii organicznej w kriokonicie miała istotny wpływ na występowanie granulek na poszczególnych lodowcach.

Silny wpływ zawartości materii organicznej na kolor osadu kriokonitu





POTENCJALNE SKUTKI I ZASTOSOWANIA

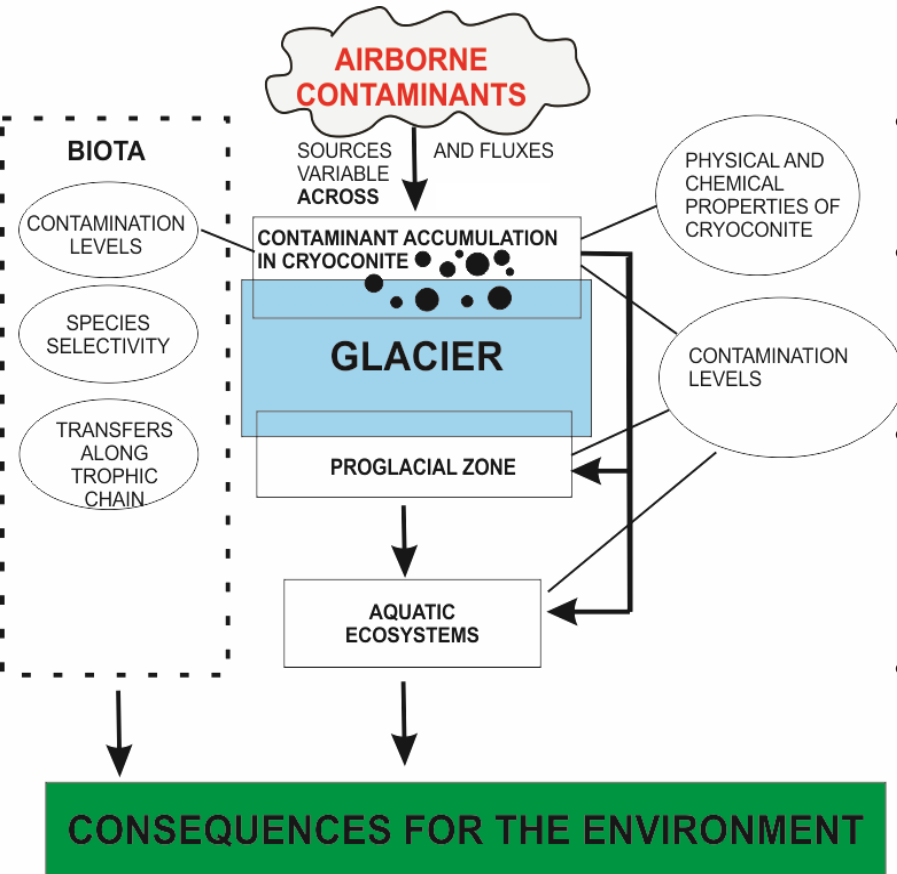
- Nadmierna akumulacja FRN w kriokonicy może spowodować miejscowe wtórne zanieczyszczenie w wyniku topnienia lodowca, co będzie miało konsekwencje dla jakości wody i środowiska. Akumulacja FRN w dół rzeki w osadach jeziornych może być szczególnie problematyczna dla ekosystemów wodnych.
- Kriokonit może być brany pod uwagę przy bio-remediacji skażeń radioaktywnych.
- Kriokonit może służyć jako długoterminowy bio-monitor dla FRN w środowisku kriosfery, tak jak porosty i mchy.



WYNIKI



- Radionuklidy atmosferyczne są szeroko rozpowszechnione w kriokonicie na całym świecie.
- Kriokonit zawiera wysoki poziom naturalnych (^{210}Pb , ^7Be) i sztucznych radionuklidów, znacznie przewyższający poziomy w porostach i mchach.
- Poziomy radionuklidów atmosferycznych znalezione w większości lodowców zwłaszcza na N półkuli są o rzędy wielkości wyższe niż te zmierzone w innych środowiskach i stanowią jedne z najwyższych poziomów odnotowanych poza strefami wyłączonymi z wypadków jądrowych.



- Przez 200 lat po jego opisaniu kriokonit wzbudzał umiarkowane zainteresowanie nauki.
- Znaczenie badań nad kriokonitem rośnie w warunkach zanikania zlodowaceń.
- Do oceny wszelkich potencjalnych skutków środowiskowych i społeczno-gospodarczych konieczne jest podejście interdyscyplinarne.
- Lepsze zrozumienie interakcji radionuklidów atmosferycznych ze składnikami organicznymi i nieorganicznymi jest wymagane, aby ocenić potencjał absorpcji w łańcuchu pokarmowym.
- Oddziaływanie na jakość wody w rzekach i jakość środowiska, w tym na akumulację radionuklidów we florze i faunie, oprócz rozszerzenia bazy danych o inne obszary kriosfery.



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



WSPÓŁPRACA



Badania promieniotwórczości realizowane są w ramach projektu **NCN OPUS/2018/31/B/ST10/03057 „Kriokonity jako wskaźnik zanieczyszczeń antropogenicznych w lodowcach wysokogórskich”**.

Badania kriokonitów w Arktyce NCN 2016/21/B/ST10/02327



Badania biologiczno-chemiczne realizowane w ramach projektu na Uniwersytecie A. Mickiewicza Poznań

W 2018 r zainicjowaliśmy nieformalną międzynarodową grupę naukowców (**University of Plymouth, University of Milano-Bicocca, University of Sheffield, University of Northern British Columbia, AGH-University of Science and Technology**) utworzoną w celu rozwoju badań nad środowiskowym znaczeniem zanieczyszczeń promieniotwórczych uwalnianych z lodowców.

Chiba University, Japonia – dostarczanie próbek kriokonitu z różnych lodowców

University of Southampton, Wielka Brytania – analizy ICPMS $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$

Uniwersytet Śląski – analizy XRD oraz mikroskop skaningowy, poszukiwanie śladów meteorytów

W ramach współpracy powstało 10 publikacji i 4 są przygotowywane do wystania