

KONSEKWENCJE GLOBALNEGO OCIEPLENIA DLA KRIOSFERY

Jacek A. Jania

Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego

Komitet Badań Polarnych PAN

Wstęp

Pokrywa śnieżna i wieloletnia zmarzlina

Lód morski

Zanikanie lodu morskiego Arktyki
(polski wkład w poznanie procesów)

Lodowce i lądolody

Odpowiedź lodowców na ocieplenie
(znaczenie wyników polskich badań glaciologicznych)

Podsumowanie

Konsekwencje ocieplenia dla kriosfery

Globalne skutki redukcji kriosfery morskiej i lądowej



Kriosfera - to powłoka lodowa Ziemi obejmująca warstwę od górnej troposfery do dolnej granicy gruntów przemarzniętych (wieloletniej zmarzliny – zlodowacenia podziemnego).

Jest w ścisłym związku z atmosferą, litosferą i hydrosferą.

(za A.B. Dobrowolskim, 1923)

Do kriosfery należy lód w chmurach, lody lodowców i lądolodów, w wieloletniej zmarzlinie oraz lody morskie, a także śniegi stałe w wysokich górach i obszarach polarnych, a okresowe w strefie umiarkowanej.

Zmiany fazowe wody odpowiadają za przepływ energii w interakcjach:

LÓD – ATMOSFERA – OCEAN

(utajone ciepło topnienia/zamarzania 333,6 J/g; utajone ciepło sublimacji/resublimacji 2834 J/g)

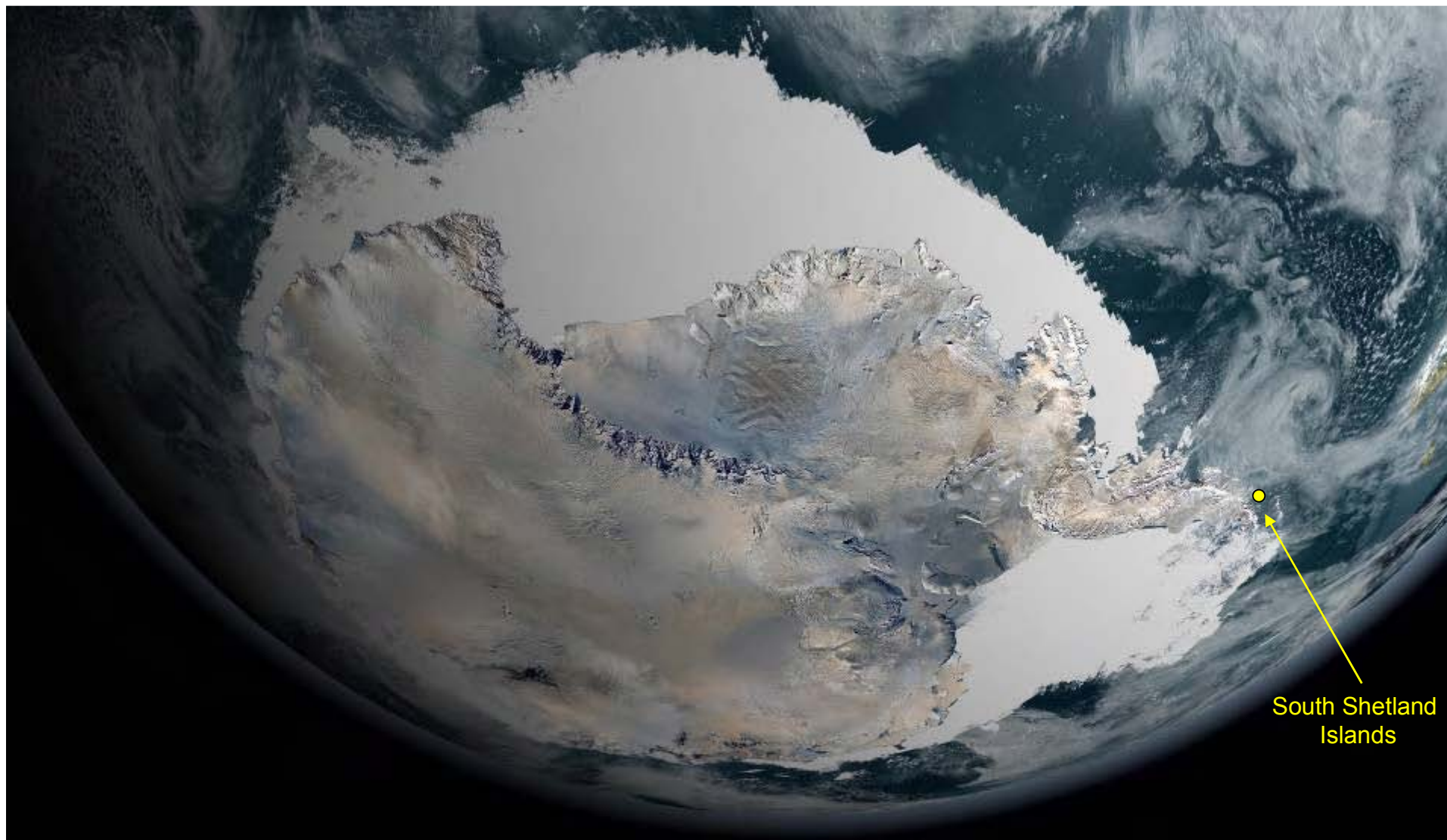
Kriosfera na półkuli północnej pod koniec zimy

Powierzchnia lodów
morskich (1979-2000):
14-16 mln km² w marcu;
7-9 mln km² we wrześniu

Rozpatrywane są:
lody morskie,
lodowce,
wieloletnia zmarzlina

Pominięto lód atmosferyczny
oraz kriosferę w górach



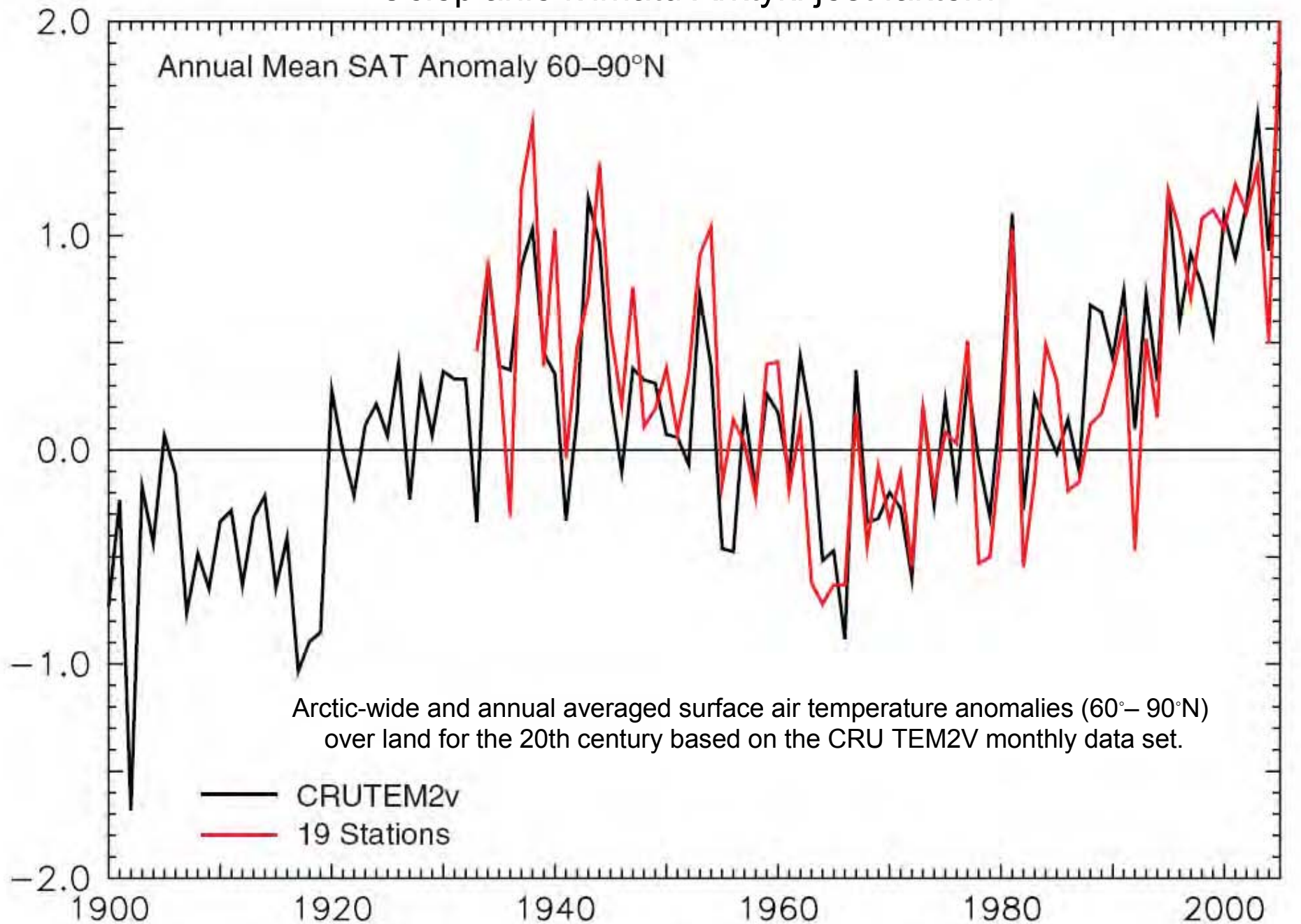


South Shetland
Islands

Powierzchnia lądolodu i lodowców:
13,72 mln km²
Średnia grubość lodu: 2160 m
Maks. grubość lodu: 4776 m

Powierzchnia lodów morskich
Półkuli południowej (1979-1996):
3-4 mln km² w lutym;
17-20 mln km² we wrześniu

Ocieplanie klimatu Arktyki jest faktem



(wg Richter-Menge *et al.*, 2006)



Pokrywa śnieżna

Na lądzie, lodowcach
i lodzie morskim

Duża zmienność w czasie
(rozległość, grubość)

Minimalne rozprzestrzenienie
na lądach – późny sierpień
(< 4 mln km²)

Maksymalny zasięg w lutym
(40-50 mln km²)

Na półkuli północnej
zmniejszenie zasięgu
pokrywy śnieżnej
średnio o 10% (1972-2003),
głównie w Eurazji
(dla okresu wiosny i lata).

27 marca 2007

© NASA, Terra/MODIS

(wg ACIA, 2005)

Wieloletnia zmarzlina na półkuli północnej

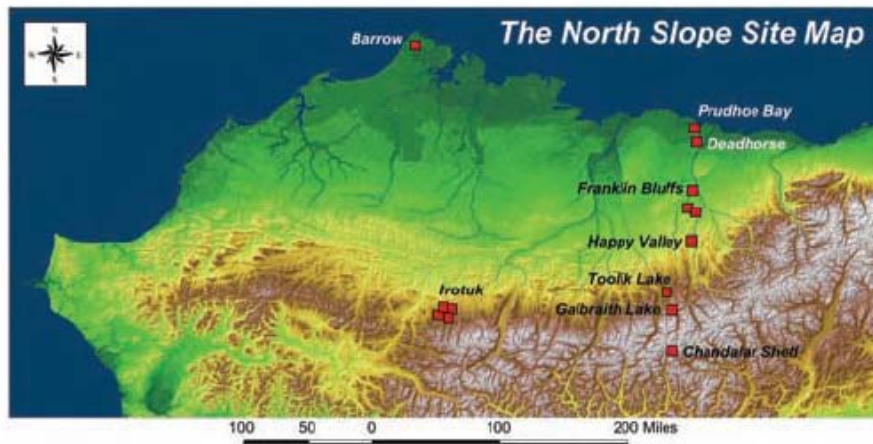
Courtesy of IPA



Wieloletnia zmarzlina
- ciągła
- nieciągła
- wyspowa
- sporadyczna

Powierzchnia zlodowacenia
podziemnego – ok. 21 mln km²

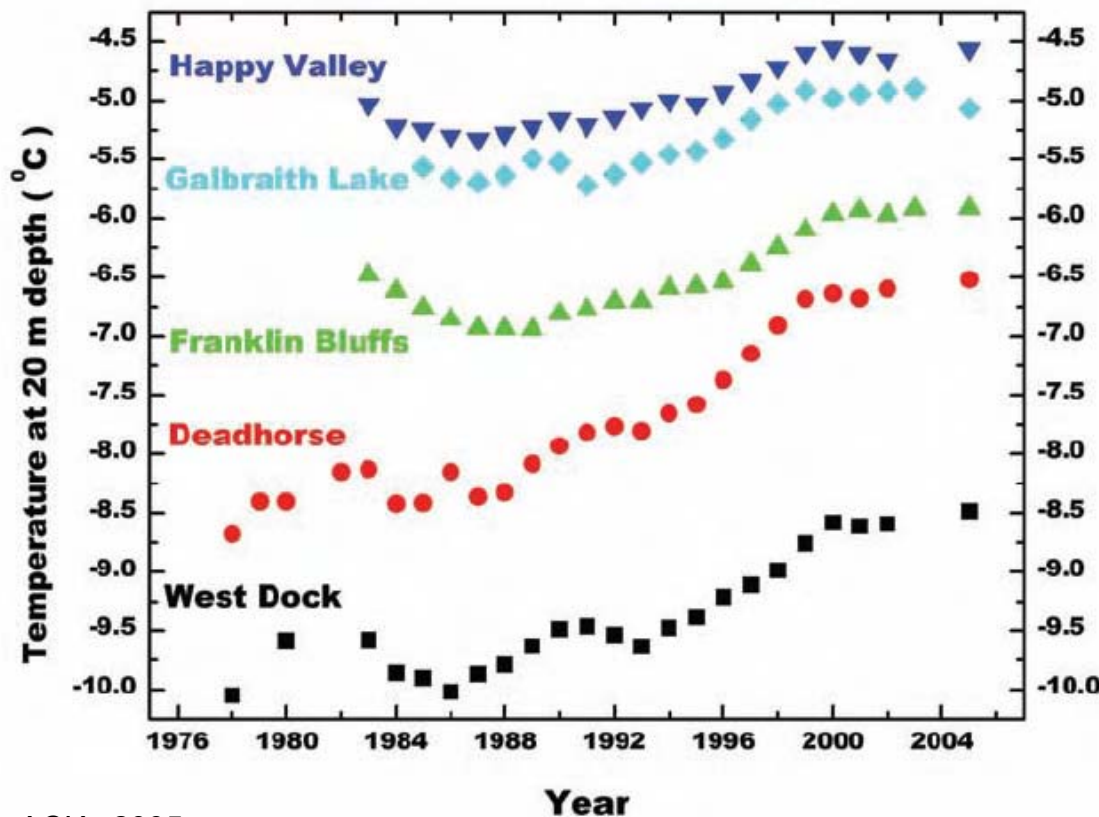
Grubość zmarzliny:
150-300 m w N Kanadzie,
do ponad 600 m w E Syberii



Lokalizacja długookresowych obserwacji wieloletniej zmarzliny prowadzonych przez University of Alaska na północnej Alasce.

(wg danych IPA)

**“TSP” Time Series - Northern Alaska
(Osterkamp and Romanovsky)**



Zmiany temperatury w otworach wiertniczych na głębokości 20 m. Zanotowano wzrost o 0,5 – 2°C w ciągu ostatnich 20-25 lat.

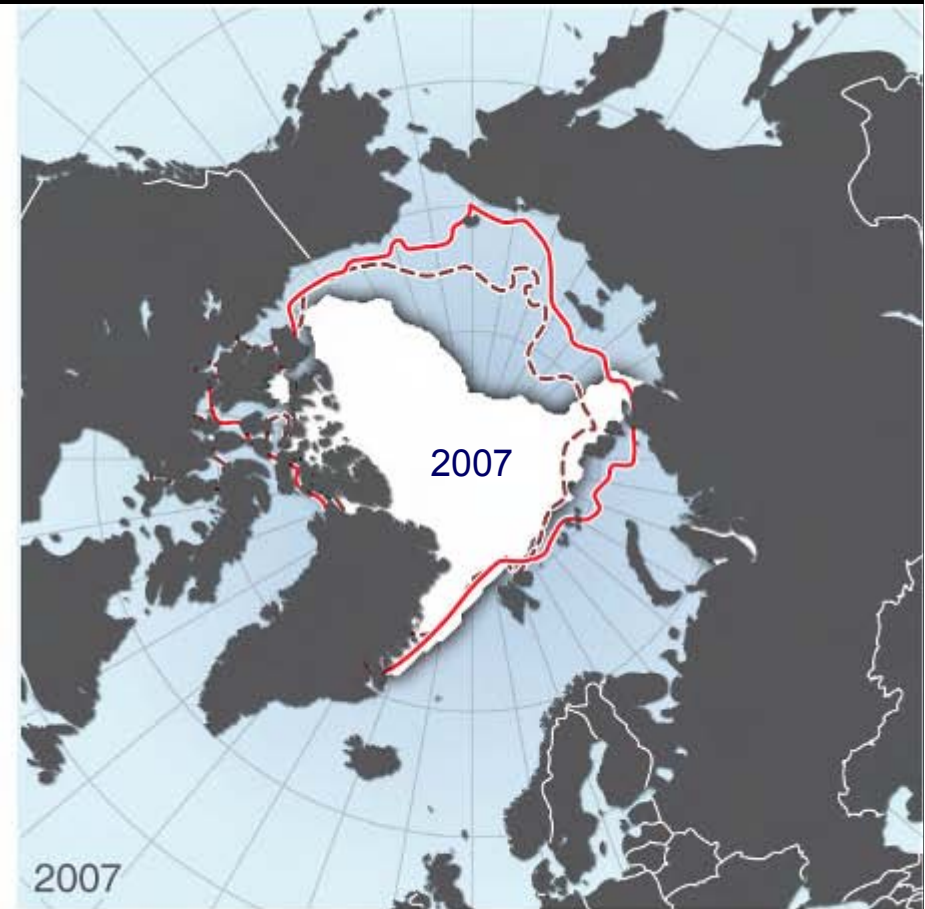
Na Spitsbergenie głębokość rozmarzania letniego gruntu w ostatnich latach wzrosła o ok. 50%.

**Zwiększenie grubości warstwy czynnej (rozmarzającej warstwy powierzchniowej) wzmacnia uwalnianie metanu z gruntu do atmosfery, zwłaszcza na Alasce, w N Kanadzie i na Syberii.
[pozytywne sprzężenie zwrotne]**



Photo by A. Nawrot, April 2007

Minimalne zasięgi arktycznego lodu morskiego we wrześniu 1982, 2005 i 2007



Minimum extent
of ice cover 2005

Median minimum extent
of ice cover (1979-2000)

Średnia powierzchnia dla okresu 1979-2000: 7,0 mln km²

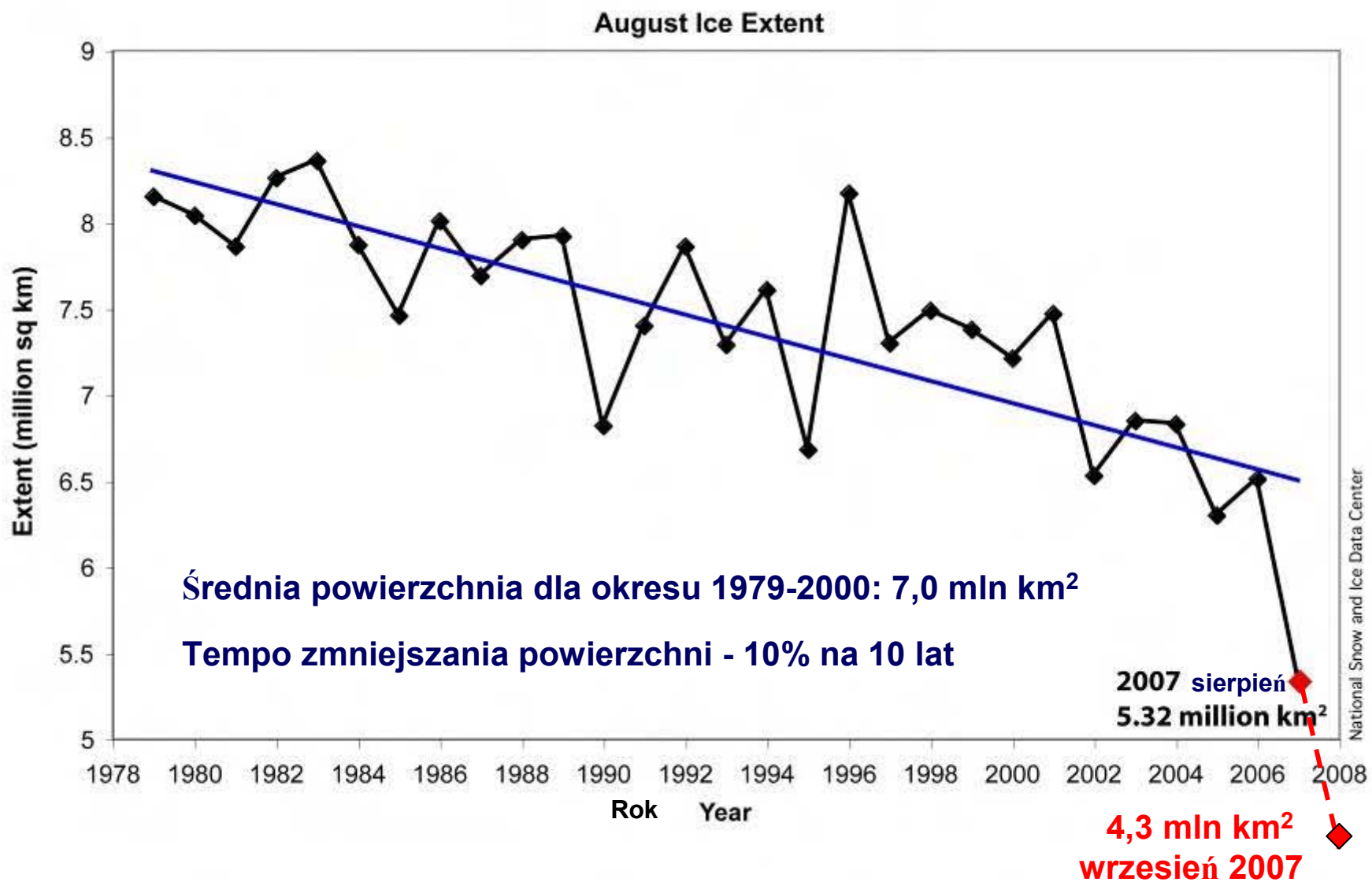
5,6 mln km²
wrzesień 2005

4,3 mln km²
wrzesień 2007

Credit: UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library, 2007, <<http://maps.grida.no/go/graphic/arctic-sea-ice-minimum-extent-in-september-1982-2005-and-2007>> [Accessed 9 December 2007]

Cartography: Hugo Ahlenius (UNEP/GRID-Arendal)

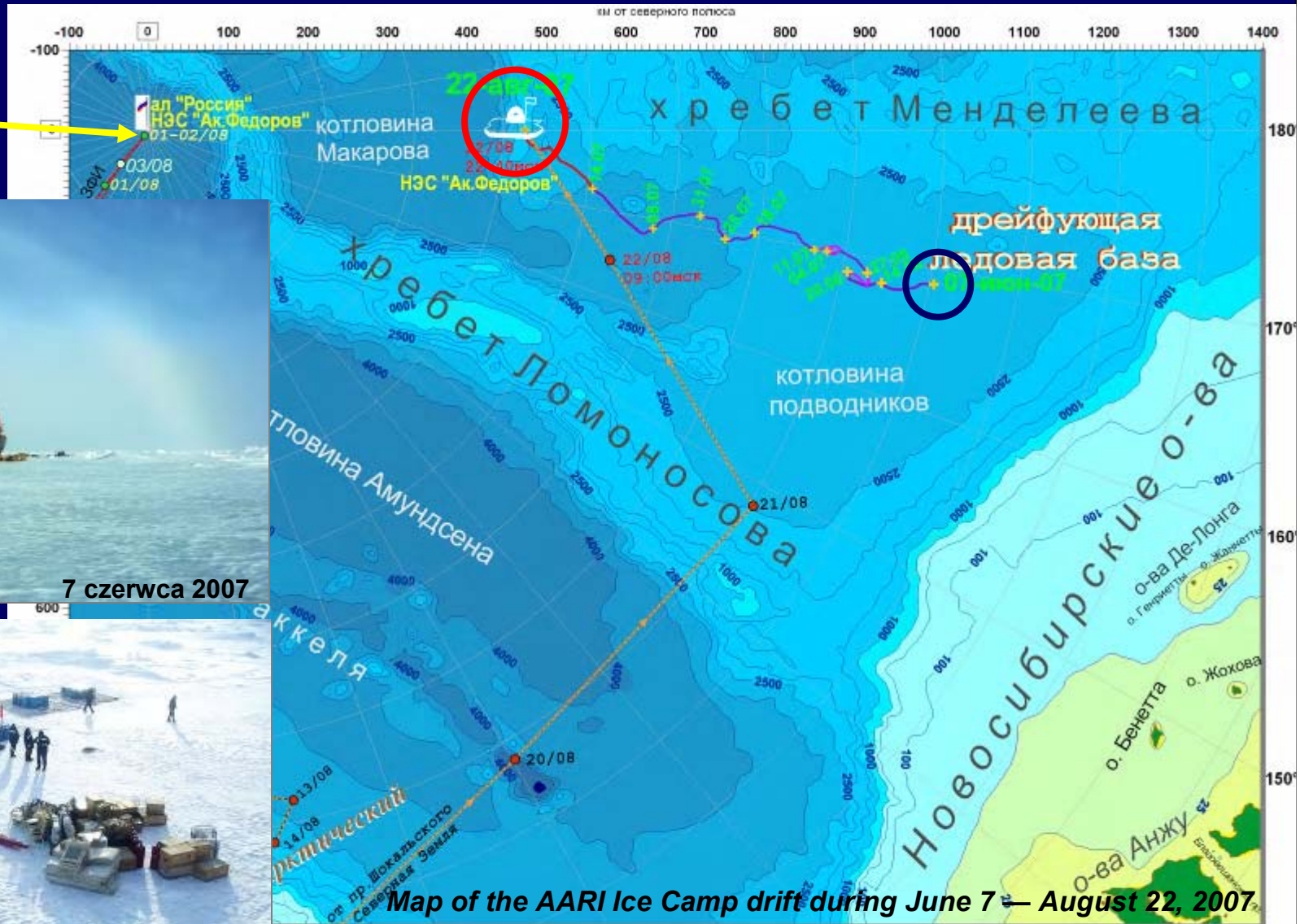
Zmiany pokrywy lodu morskiego w Arktyce





«AARI Ice Camp»

Biegun N



Dzięki uprzejmości Dr. S. Primakova, AARI

© Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

“AARI Ice Camp” as it was in August, 13-th of 2007



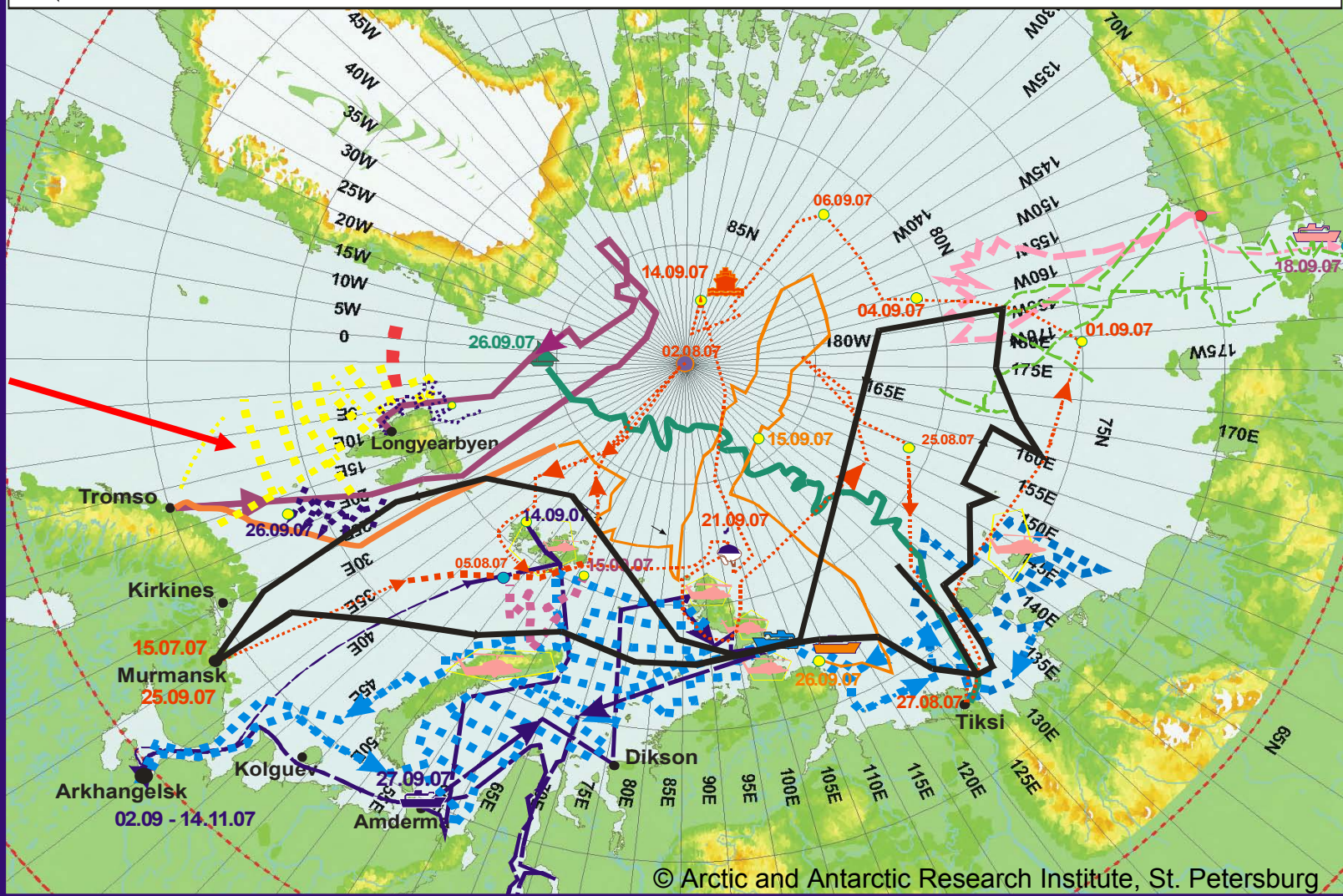
Dzięki uprzejmości Dr. S. Primakova, AARI

© Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

Marine expeditions in the Arctic Ocean during 2007 within the IPY projects (registered at Eurasian IPY node)

Profile badawcze r/V „Oceania” 1989-2007

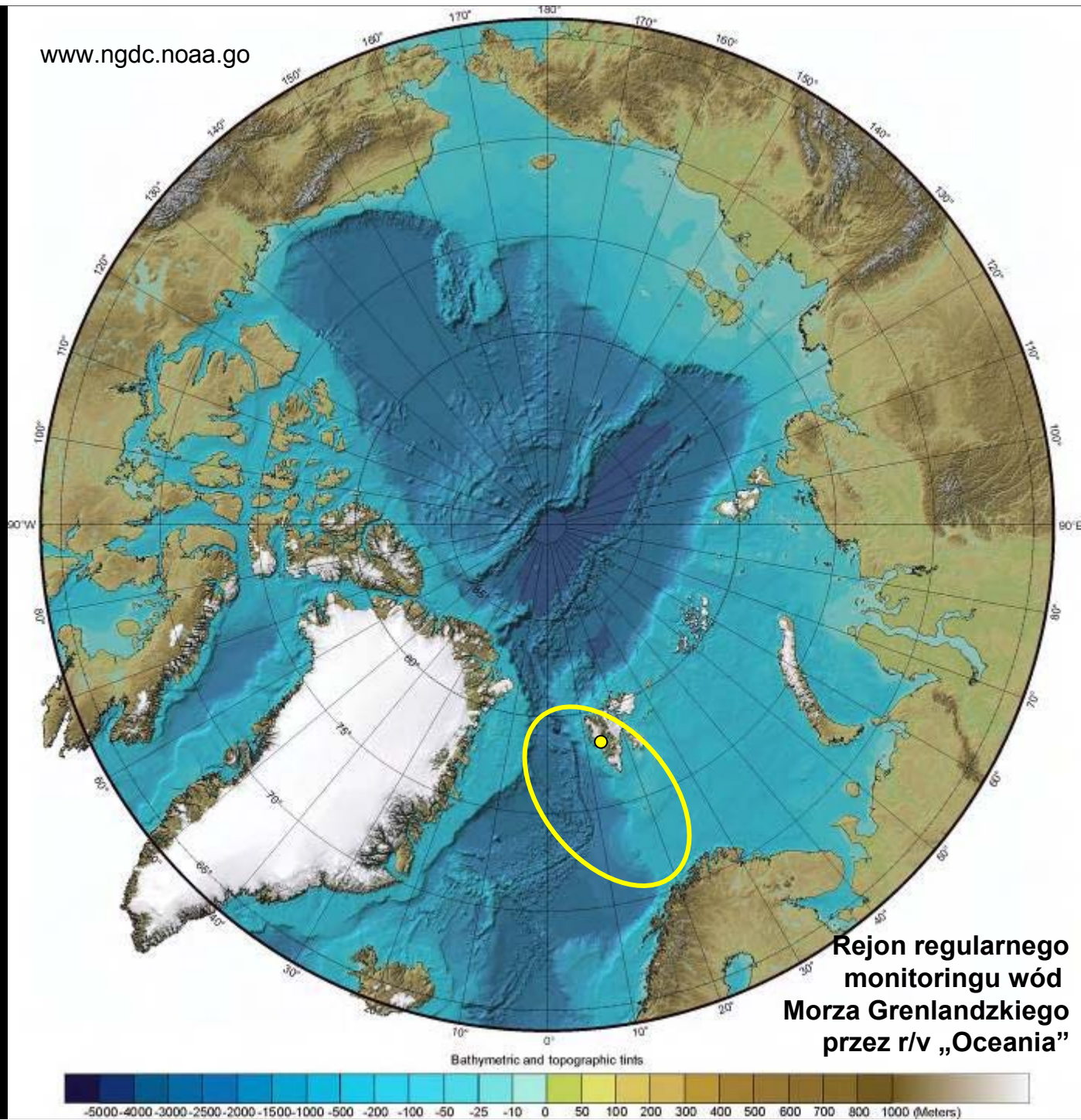
- track of NP-35 ice camp
- “Ak. Fedorov” ship track
- “Ivan Petrov” ship track
- “Ak. Buinitskiy” ship track
- the area of “Mir” diving location
- “Ak. Fedorov” and “Keldysh” meeting location (05.08.07)
- the area of activity the helicopter expedition in tundra and on glaciers
- “Polarstern” ship track
- “Oden” ship track
- rv. “M. Somov” ship track
- “Tara” ship track
- “Sever” ship track
- “Yan Mayen” ship track
- “Maria S. Merian” ship track
- “Oceania” ship track
- “Fritj of Nansen” ship track
- “Healy” ship track





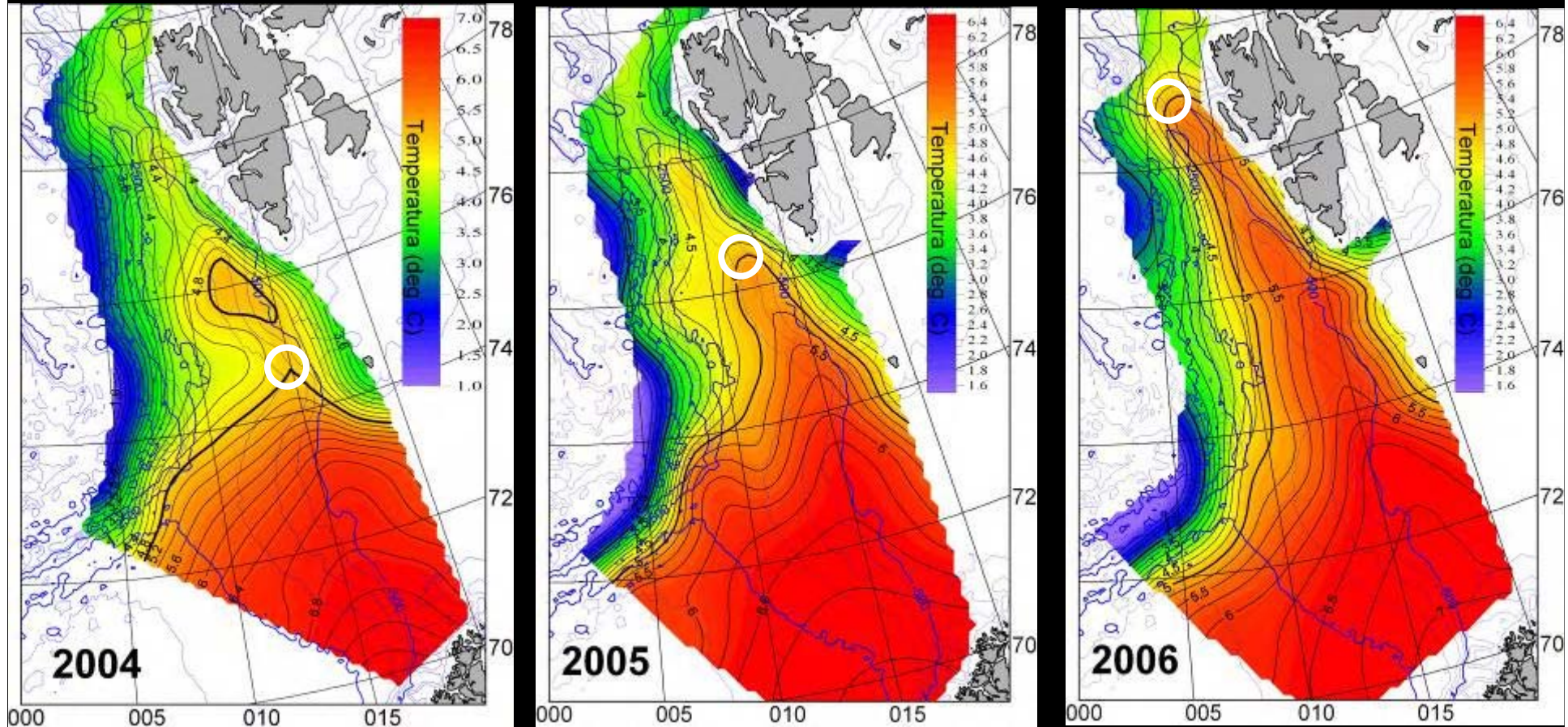
r/y Oceania - July 2003

www.ngdc.noaa.gov




**Rejon regularnego
monitoringu wód
Morza Grenlandzkiego
przez r/v „Oceania”**

Wyraźne podwyższenie temperatury i zasolenia Wody Atlantyckiej w Prądzie Zachodniospitsbergeńskim. Ekspansja języka ciepłej wody na północ.



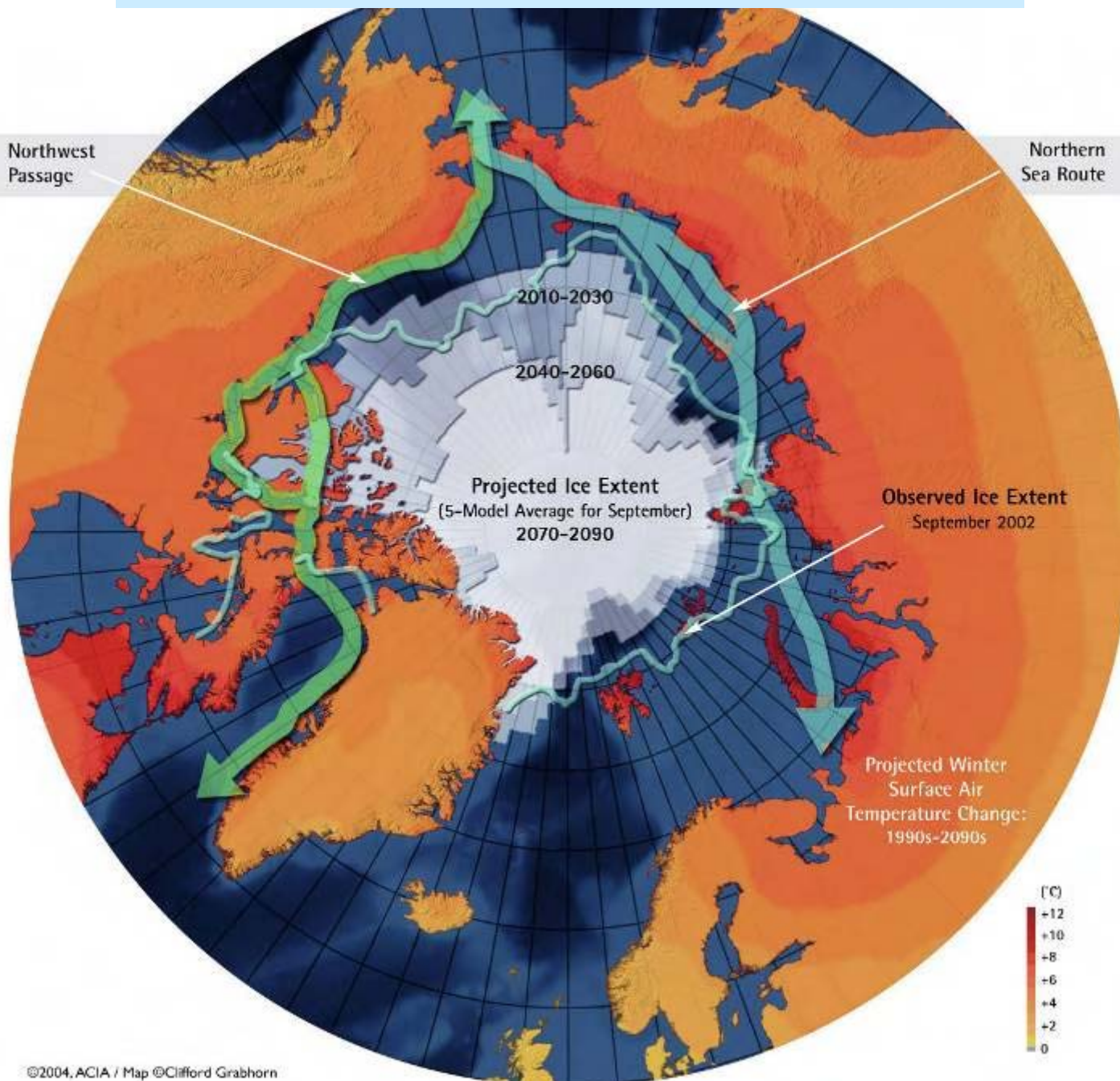
W ciągu dwóch lat izoterma +5°C (na głębokości 100 m) przesunęła się o ponad 4° szerokości geograficznej na północ

Wyniki badań r/v „Oceania” (Walczowski, Piechura, 2007). Dzięki uprzejmości Instytutu Oceanologii PAN

An aerial photograph showing a vast expanse of sea ice in the Arctic Ocean. The ice is highly fragmented into numerous small, irregular floes of varying sizes, creating a textured, mosaic-like appearance. The floes are densely packed in some areas and more sparse in others, with dark water visible between the ice fragments. The overall scene illustrates the process of ice disintegration.

Następuje dezintegracja i szybsze niż wskazywały modele
zmniejszanie się pokrywy lodu morskiego
na Morzu Arktycznym

Modele zmian zasięgu lodu morskiego w XXI wieku



Dramatyczne zmniejszanie się powierzchni lodu morskiego w Arktyce

Prawdopodobne przyczyny:

- Większe topnienie powierzchni lodu w wyniku ocieplenia klimatu
- Wzmożony dopływ ciepłych wód atlantyckich do Morza Arktycznego
- Intensywniejsza cyrkulacja atmosferyczna – szybszy dryf paku lodowego
- Mniejsze albedo z powodu nasączenia powierzchni śniegu i lodu wodą

Ważniejsze skutki:

- Zmniejszenie grubości lodu morskiego o 1,3 m, czyli o ok. 40% (w okresie od lat 1950-tych do 1990-tych)
- **Pozytywne sprzężenie zwrotne: większe topnienie z powodu mniejszego albedo powierzchni lodu morskiego – cieńsza pokrywa – łatwiejsza dezintegracja mechaniczna – odsłonięcie powierzchni morza o niskim albedo (ok. 10%) – wzrost temperatur wody i powietrza – intensywniejsze topnienie... etc.** (Mechanizm utrwalania ocieplania klimatu Arktyki)
- Oddziaływanie na termikę regionu i ostatecznie półkuli północnej
- Gospodarcze (transport, łatwiejsze wydobywanie surowców, turystyka)



Reakcje lodowców na ocieplanie klimatu

Lodowiec Elizy, NW Spitsbergen (sierpień 2000)

Foto M. Grześ, UMK Toruń

12 July 2002

Terra/MODIS

© NASA

"Visible Earth"

Kinnvika Station

Ny Aalesund

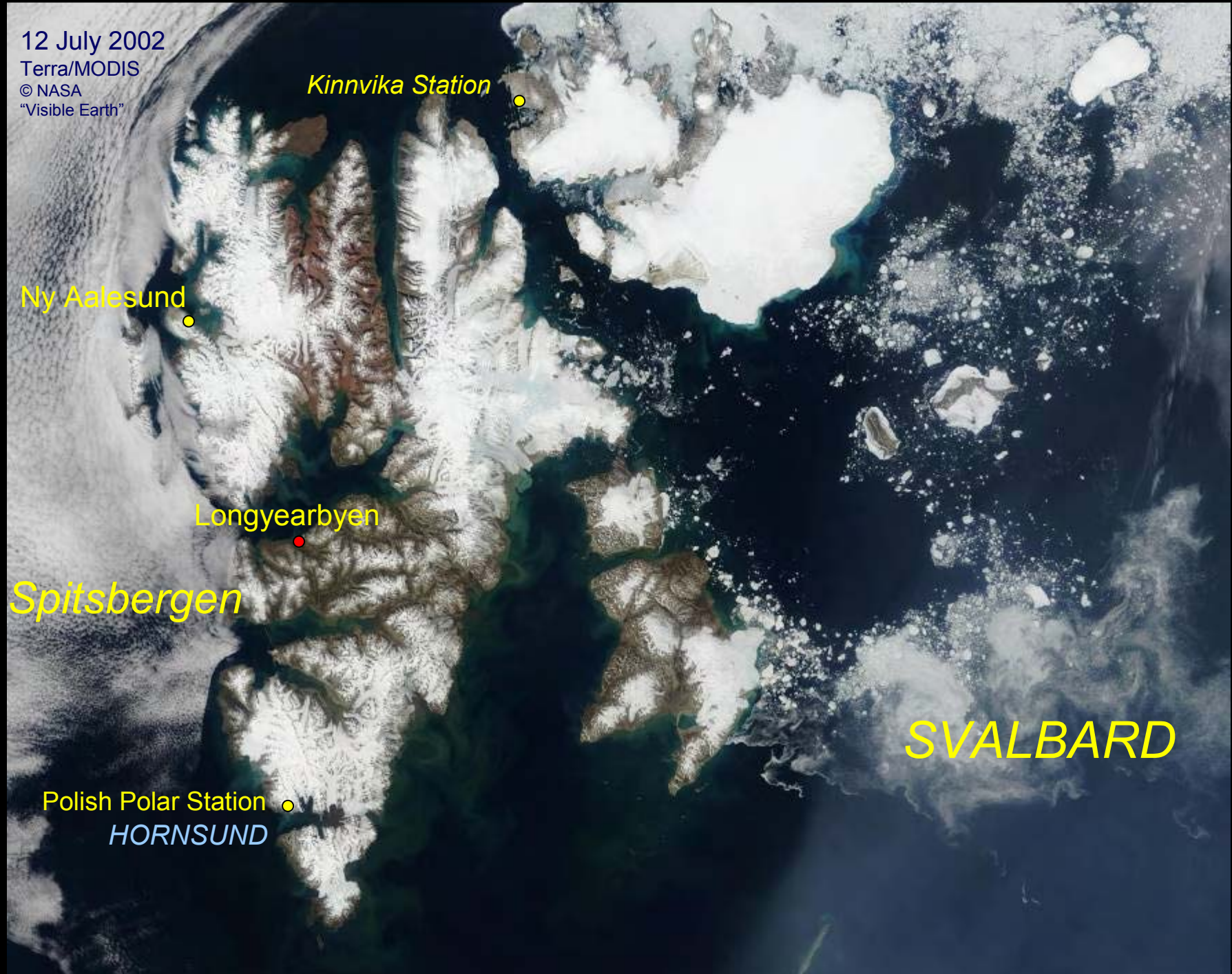
Longyearbyen

Spitsbergen

Polish Polar Station

HORNSUND

SVALBARD

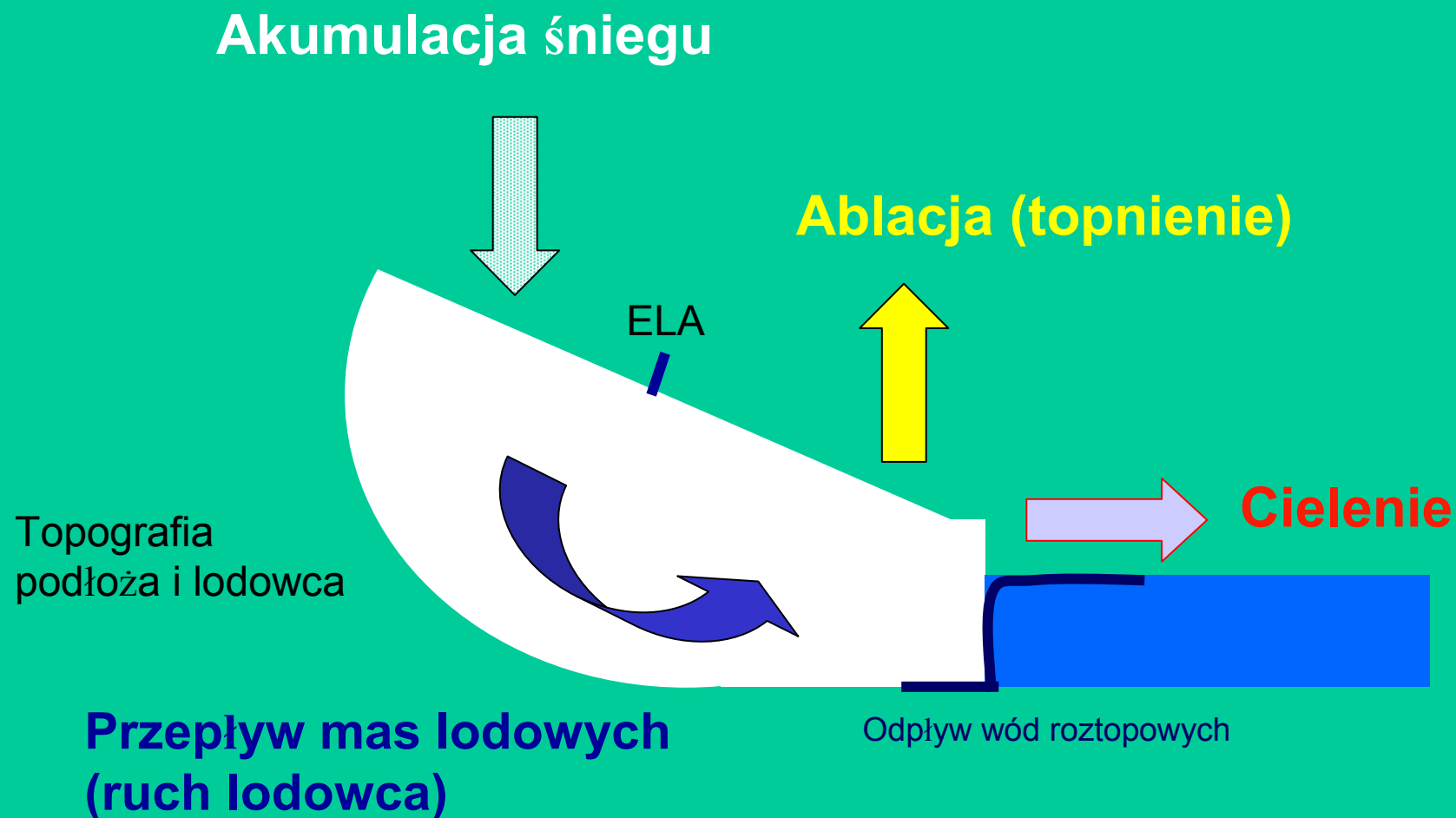




Lodowiec Hansa (lipiec 2003)

Foto J. Jania

Mechanizm odpowiedzi lodowców na ocieplenie klimatu



Akumulacja << Ablacja powierzchniowa + cielenie = Wzrost poziomu oceanów



Foto J. Jania (wrzesień 2007)



Zobacz,
dlaczego
mówi się
o wierzchołku
góry lodowej

Foto J. Jania

Hornsund (wrzesień 2007)

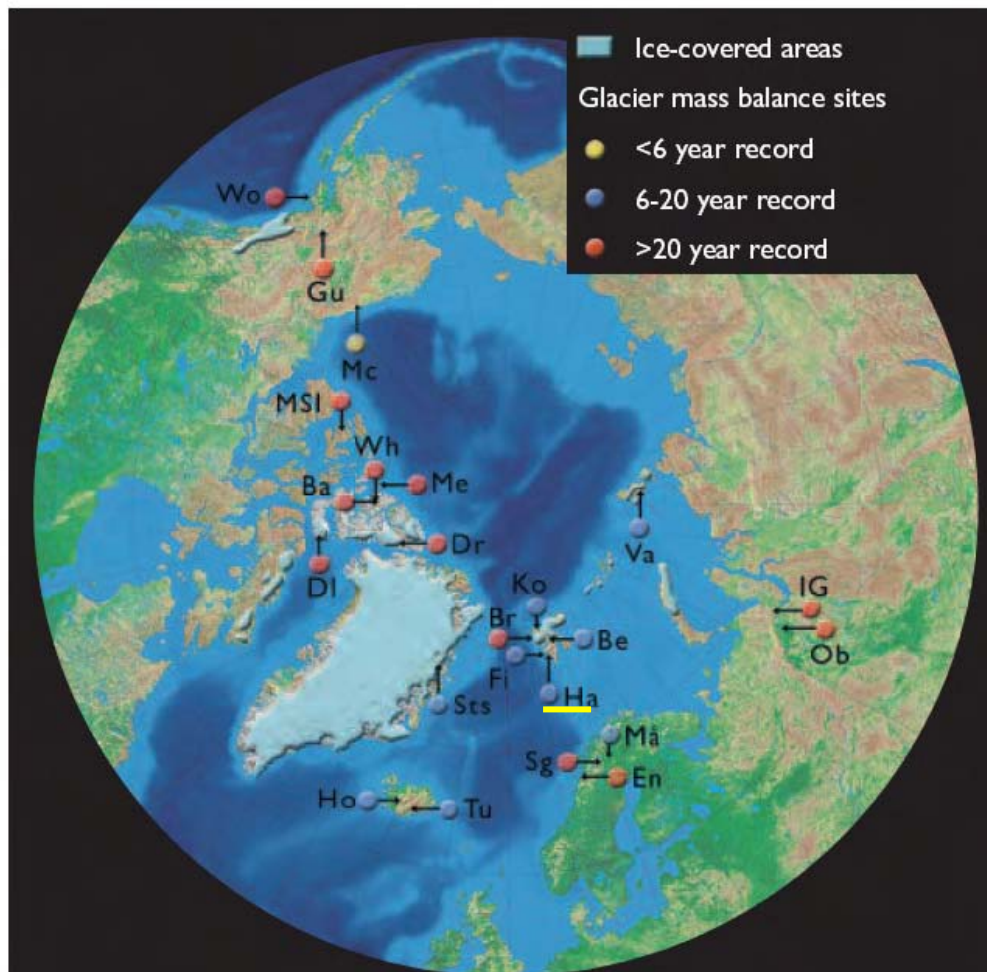


Fig. 6.15. Ice-covered areas and the location of glaciers and ice caps for which mass balance data are available. Wo: Wolverine Glacier, Gu: Gulkana Glacier, Mc: McCall Glacier, MSI: Melville South Ice Cap, Ba: Baby Glacier, Me: Meighen Ice Cap, DI: Devon Ice Cap, Dr: Drambui Glacier, Ho: Hofsjökull, Tu: Tungnarjökull, Br: Austre Brøggerbreen, Ko: Kongsvegen, En: Engabreen, Sg: Storglaciären, IG: Igan, Ob: Obruchev, Va: Vavilov, Ha: Hansbreen, Wh: White, Be: Bear Bay, Fi: Finsterwalderbreen, Ma: Storglaciären, Sts: Storstrommen (modified from Dowdeswell et al., 1997).

Lodowce w Arktyce

Łączna powierzchnia lodowców:
1972,6 tys. km²

Szacowana objętość:

3,1 mln km³ (ekwiwalent 8 m poziomu morza)

Lodowce dla których prowadzony
jest monitoring bilansu masy

(Hansbreen – PL)

Table 6.7. Ice coverage in arctic regions with extensive glaciation (Dowdeswell and Hagen, 2004).

| | Glacier area (10 ³ km ²) |
|--------------------------|---|
| Greenland Ice Sheet | 1640.0 |
| Canadian Arctic (>74° N) | 108.0 |
| Canadian Arctic (<74° N) | 43.4 |
| Alaska | 75.0 |
| Iceland | 10.9 |
| Svalbard | 36.6 |
| Franz Josef Land | 13.7 |
| Novaya Zemlya | 23.6 |
| Severnaya Zemlya | 18.3 |
| Norway/Sweden | 3.1 |

(wg ACIA, 2005)



Photo by courtesy of the Univ. of Leeds, July 2004

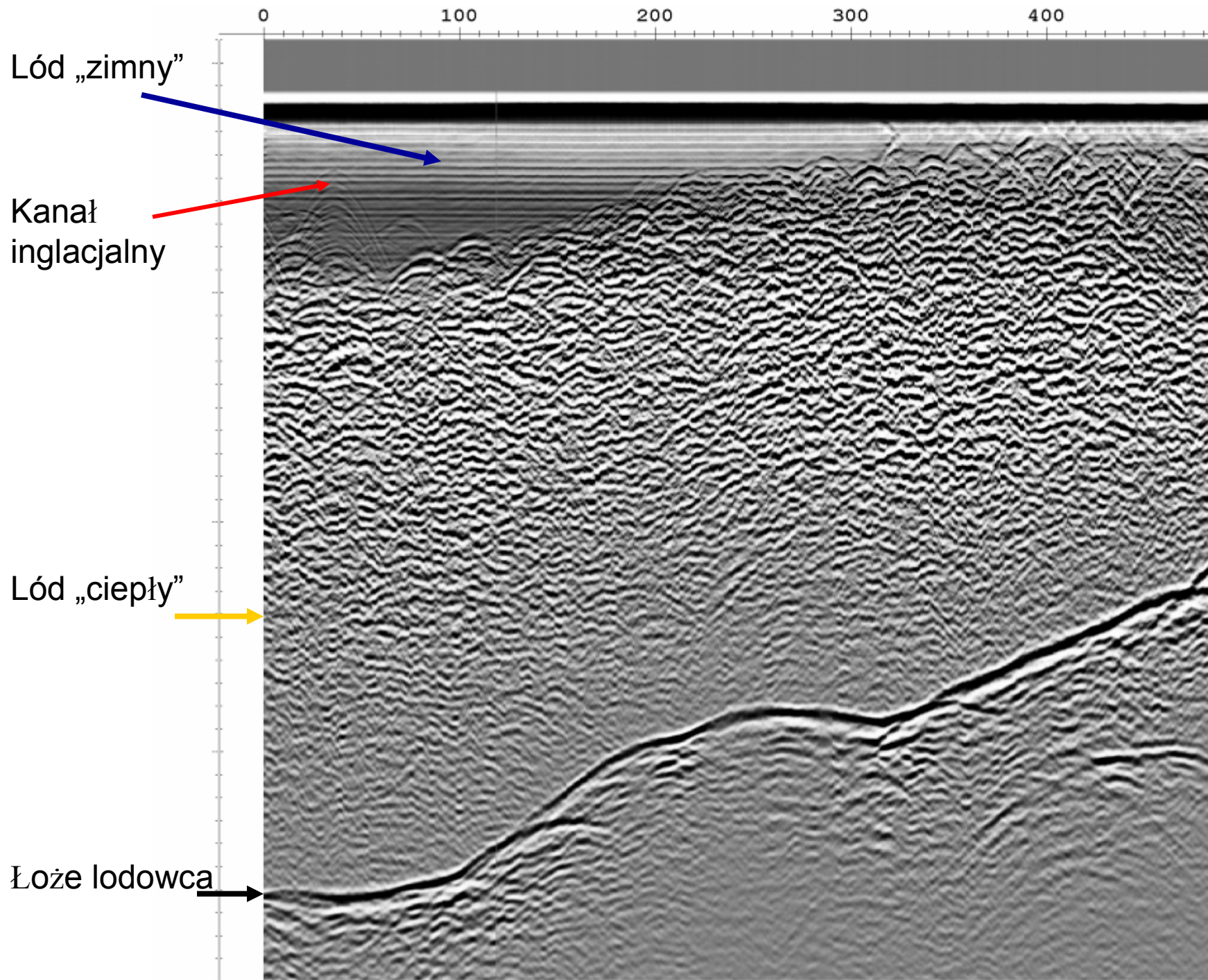


Photo from the Archive of the Station, September 2007



Polish Glaciological Research
Hans Glacier, Spitsbergen
Svalbard - Arctic

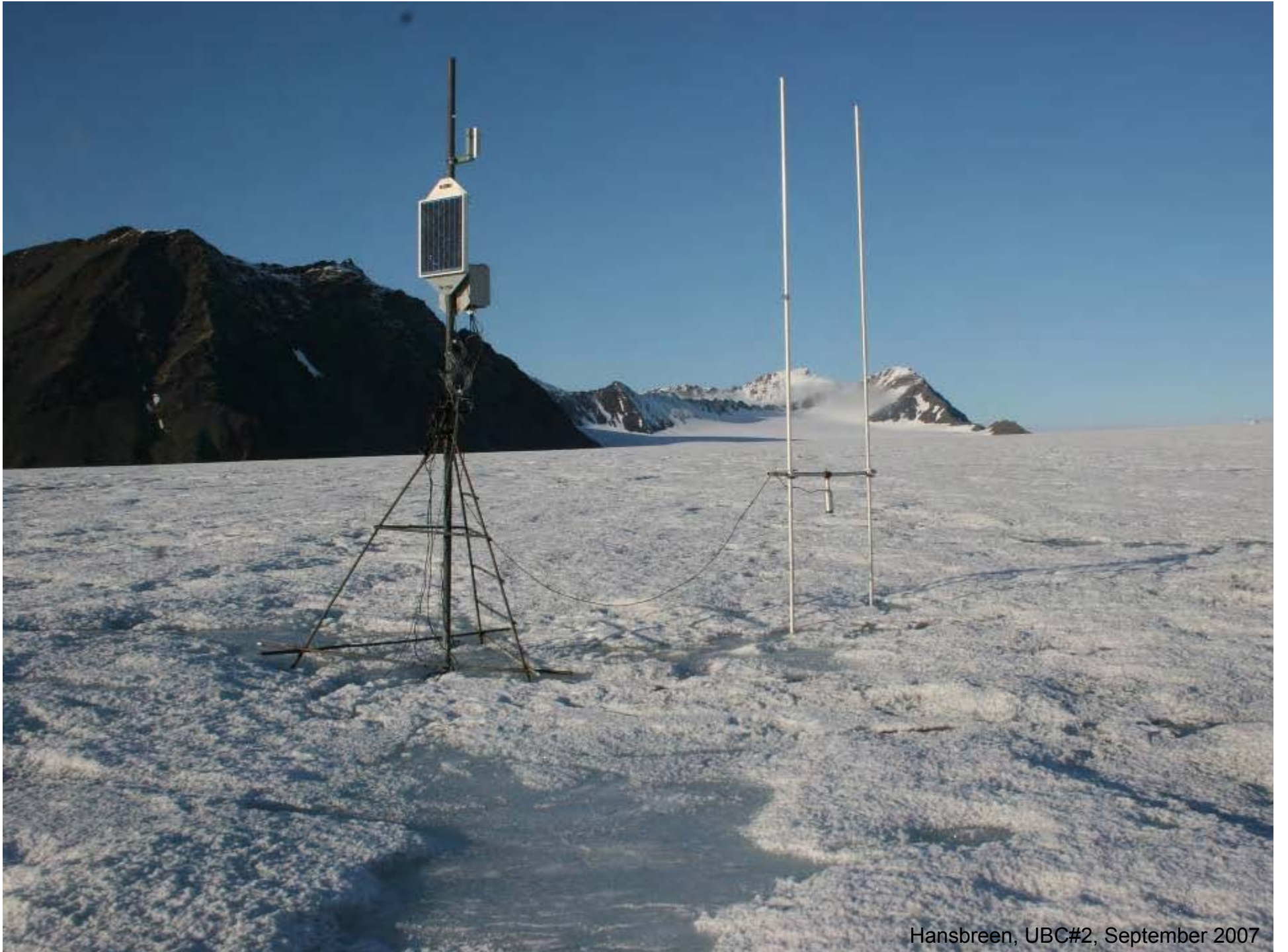






Hansbreen, hotwater drilling to the glacier bed

Photo by A. Kies



Hansbreen, UBC#2, September 2007



Photo by A. Nawrot, April 2007

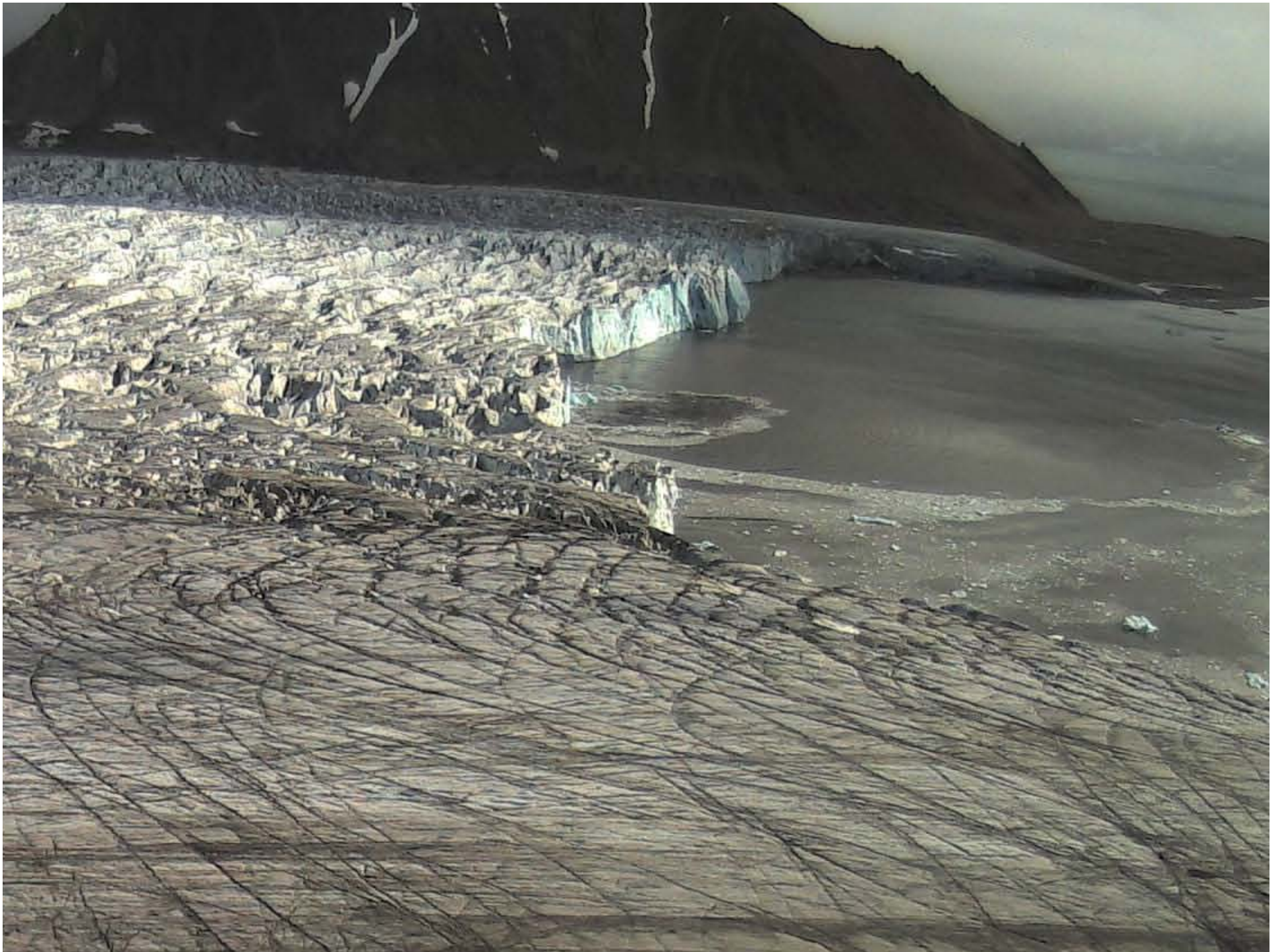


Monitoring czołowej części Lodowca Hansa
automatycznymi kamerami cyfrowymi (stereoskopowo)
Co godzinę w okresie 12 lipca – 25 września 2007



Fotografie wysokiej rozdzielczości dla pomiarów fotogrametrycznych szybkości ruchu lodowca i zmian położenia czoła (dla określenia cieleńca)

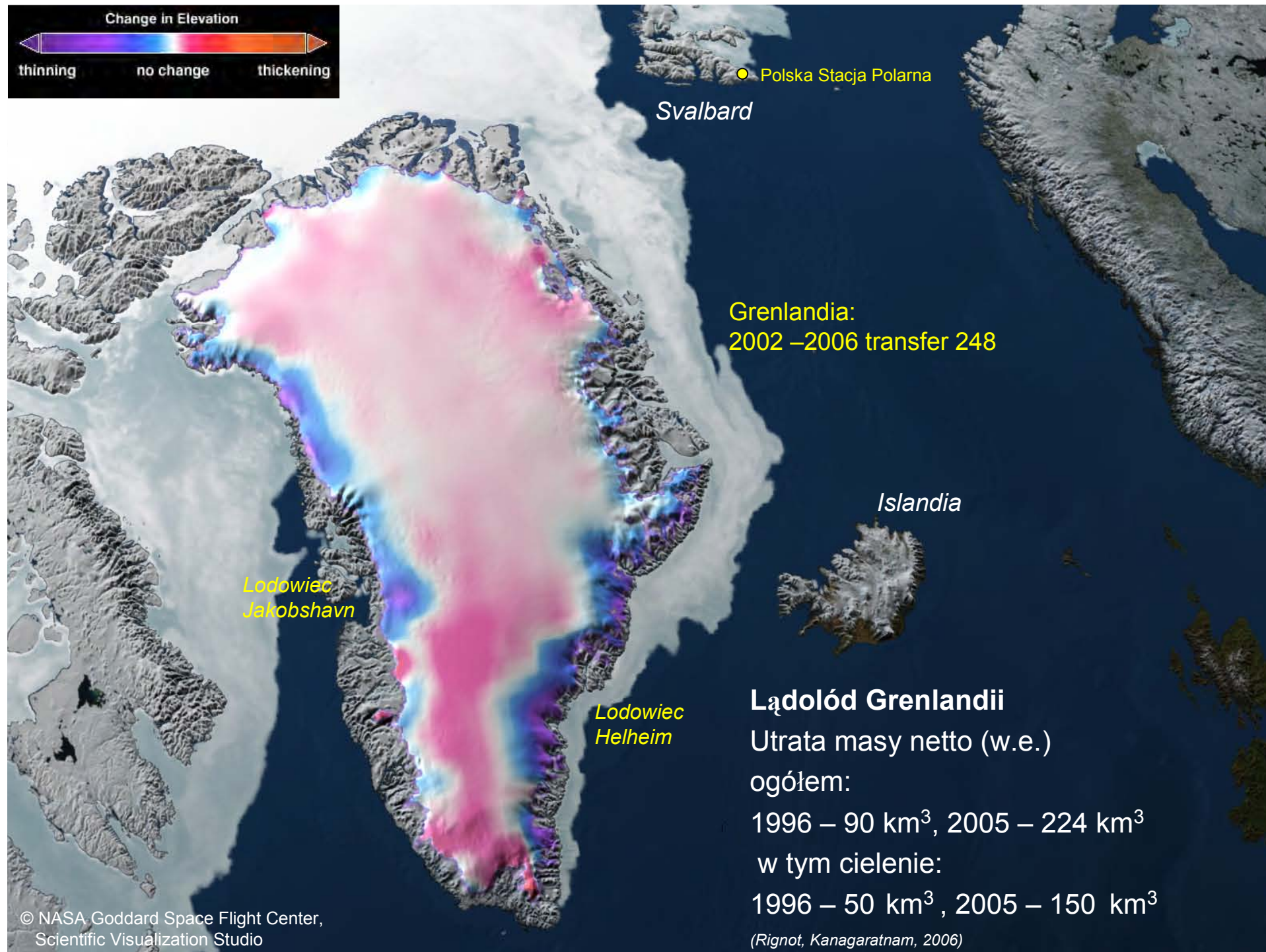
1 sierpnia 2007, godz. 13



Bear Glacier Alaska



Terra ASTER, NASA



Lądolód Grenlandii

Utrata masy netto (w.e.)

ogółem:

1996 – 90 km³, 2005 – 224 km³

w tym cieleńie:

1996 – 50 km³, 2005 – 150 km³