



О постановке задачи моделирования крупномасштабного состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана

Яковлев Н.Г., Голубева Е.Н., Платов Г.А.

Институт вычислительной математики РАН, Институт океанологии РАН
Институт вычислительной математики и математической геофизики
СО РАН

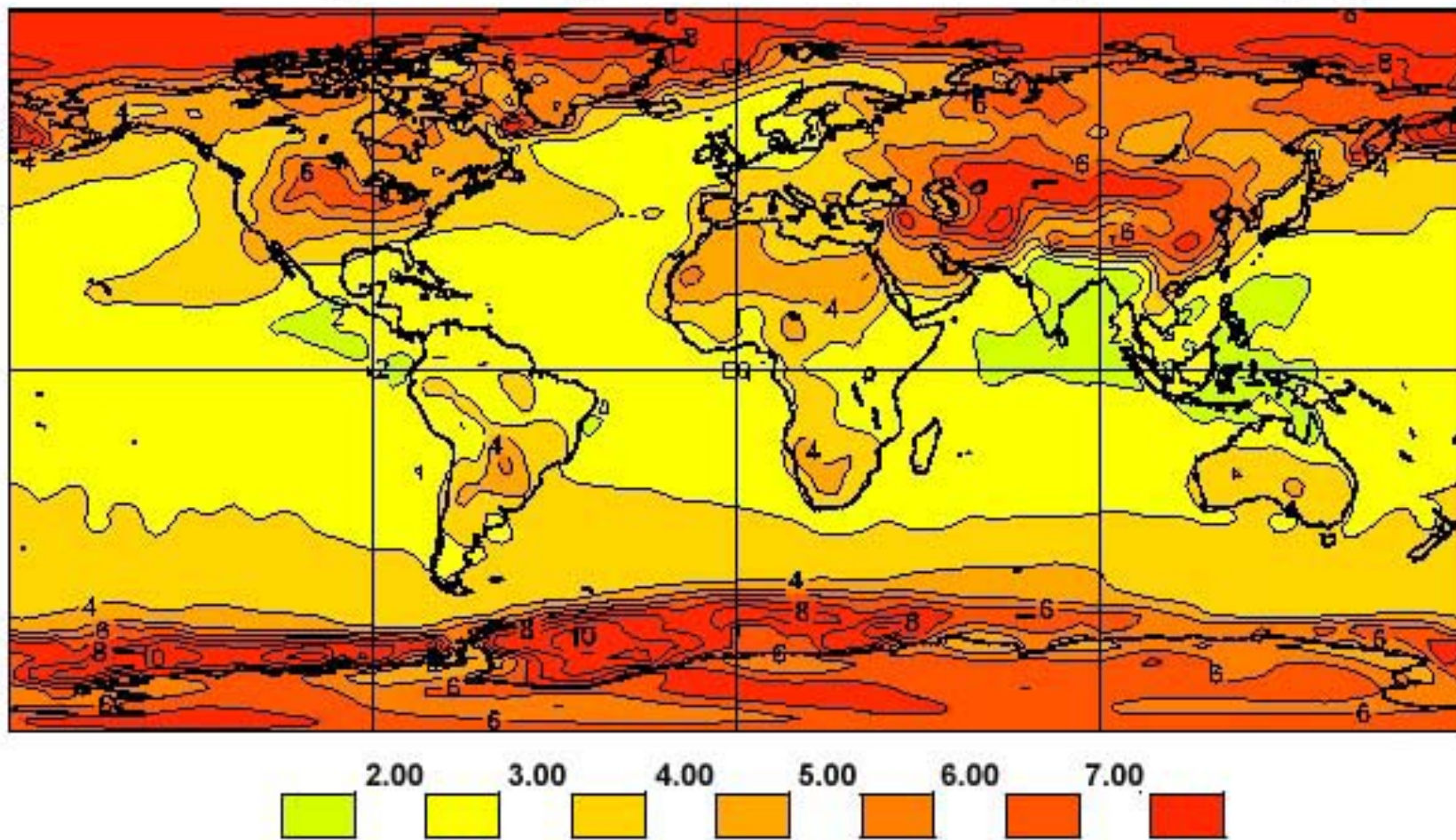
Задача докладчиков:

Показать, что численное моделирование Северного Ледовитого океана остается в значительной мере задачей физической, а не только задачей вычислительной математики или программирования.

*Яковлев Н.Г., Голубева Е.Н.,
Платов Г.А.*

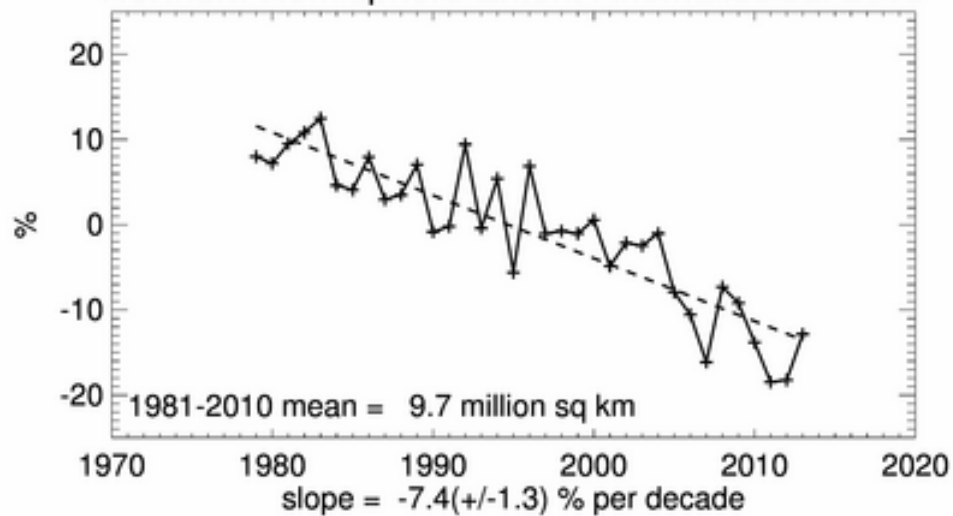
«Полярное усиление»

2 x CO₂ - 1 x CO₂ Annual Screen Temperature (°C)

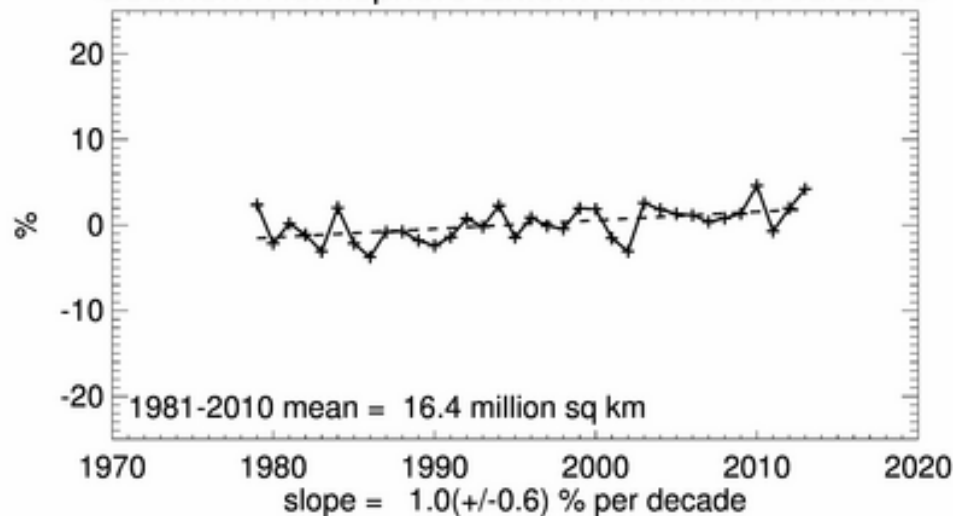


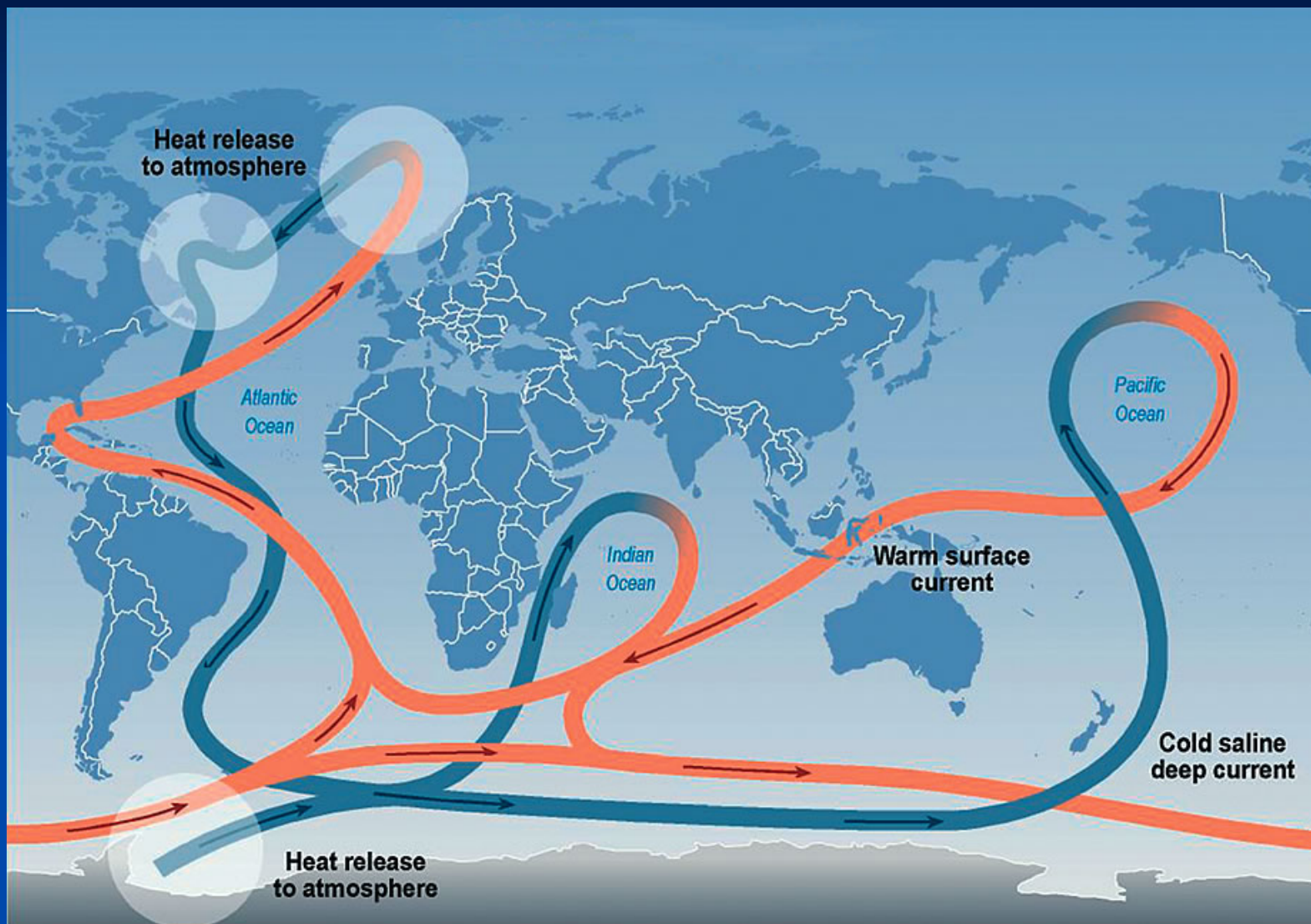
Яковлев Н.Г., Голубева Е.Н.,
Платов Г.А.

Northern Hemisphere Extent Anomalies Jul 2013



Southern Hemisphere Extent Anomalies Jul 2013





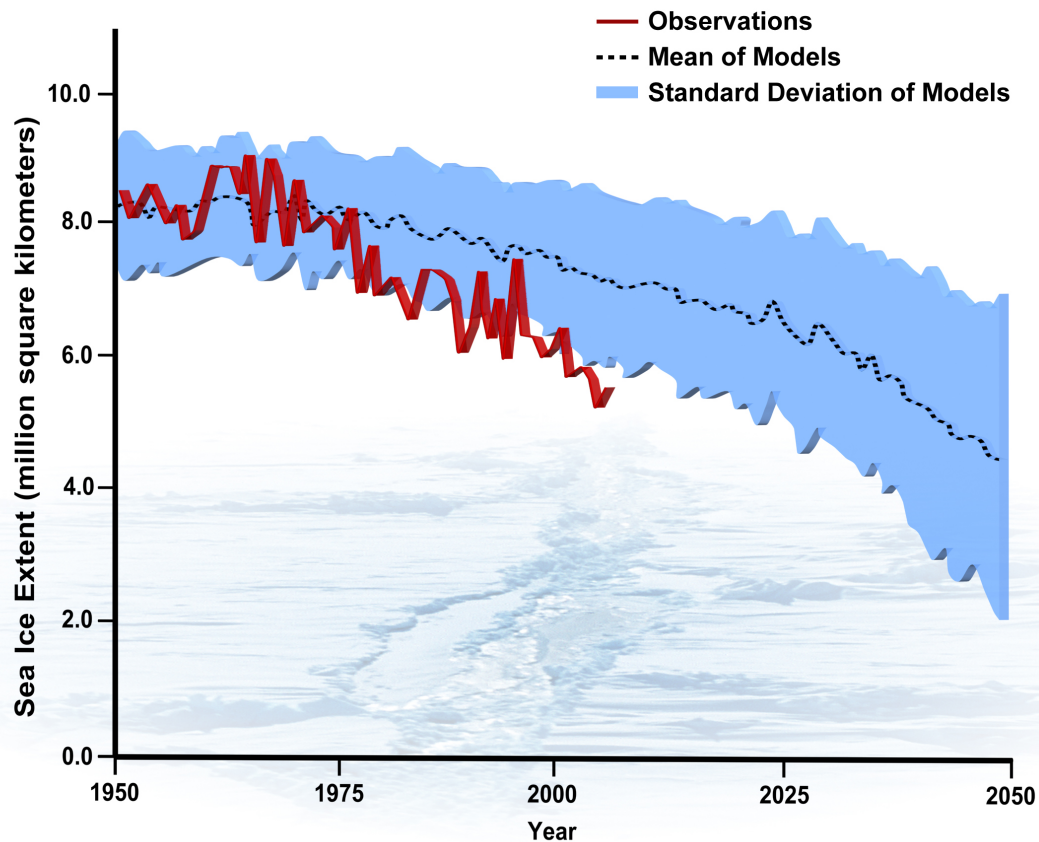
Яковлев Н.Г., Голубева Е.Н.,
Платов Г.А.

The image is a movie poster for 'The Day After Tomorrow'. It depicts a desolate, frozen landscape under a dark, stormy sky. In the foreground, the Statue of Liberty stands partially buried in snow and ice. In the background, a city skyline is visible, also covered in snow. A small, damaged airplane lies on the ground in the middle ground. The overall tone is bleak and catastrophic.

THE DAY AFTER TOMORROW
WHERE WILL YOU BE?

IN THEATERS WORLDWIDE 28 MAY 2004

Arctic September Sea Ice Extent: Observations and Model Runs





1999 – 2012 гг.

Arctic Ocean Model Intercomparison Project

Основные цели проекта:

сравнение существующих совместных численных моделей океана и морского льда;

выяснение причин качественных и количественных различий в результатах численных экспериментов;

разработка современных Арктических моделей, способных воспроизвести прошлые события, описать настоящее и предсказать будущее состояние водных масс и морского льда Северного Ледовитого океана

*Яковлев Н.Г., Голубева Е.Н.,
Платов Г.А.*

| Institute | State | Principal Investigator | Model name |
|---|---------------|--------------------------|------------------|
| Alfred Wegener Institute, AWI | Germany | M. Karcher | AWI |
| Goddard Space Flight Center (GSFC) | USA | S. Hakkinen | GSFC |
| Laboratoire de Physique des Océans | France | C. Lique | ORCA025/ DRAKKAR |
| Los Alamos National Laboratory | USA | E. Hunke | LANL |
| Nansen Environmental and Remote Sensing Center, NERSC | Norway | H. Drange | NERSC |
| Naval Postgraduate School, NPS | USA | W. Maslowski | NPS |
| New York University, NYU | USA | D. Holland | NYU |
| Russian Academy of Science SB, ICMMG, Novosibirsk | Russia | E. Golubeva | RASN |
| Institute of Numerical Mathematics, INM RAS, Moscow | Russia | N. Yakovlev | FEMAO2 |
| Institute of Numerical Mathematics, INM RAS, Moscow | Russia | N. Diansky | INMOM |
| University of Washington | USA | J. Zhang | UW |
| Dalhousie University, DAL | Canada | F. Dupont | DAL |
| Florida State University | USA | D. Dukhovskoy | FSU |
| Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL | USA | Winton/Martin | GFDL |
| International Arctic Research Center, IARC | USA | E. Watanabe | IARC-2/COCO |
| Jet Propulsion Laboratory, JPL | USA | An T. Nguyen | ECCO2 |
| Massachusetts Institute of Technology, MIT | USA | C. Hill | ECCO2 |
| National Center for Atmospheric Research, NCAR | USA | M. Holland | NCAR |
| Norwegian Polar Institute, NPI | Norway | Ole A. Nøst | NPI |
| Rosby Center, Swedish Meteorol. & Hydrol. Institute, RCO | Sweden | M. Meier | RCO |
| University of Massachusetts, Dartmouth, UMASDD | USA | C. Chen | FVCOM |
| National Oceanography Centre Southampton (NOCS/ORCA25) | UK | Y. Aksenov, B. de Cuevas | ORCA25 |
| Laboratoire d'Océanographie:et du Climat: Expérimentations et Approches Numériques LOCEAN | France | Houssais/Herbaut | ORCA05 |
| Institute of Ocean Sciences, Canada, IOS | Canada | G. Holloway | IOS |

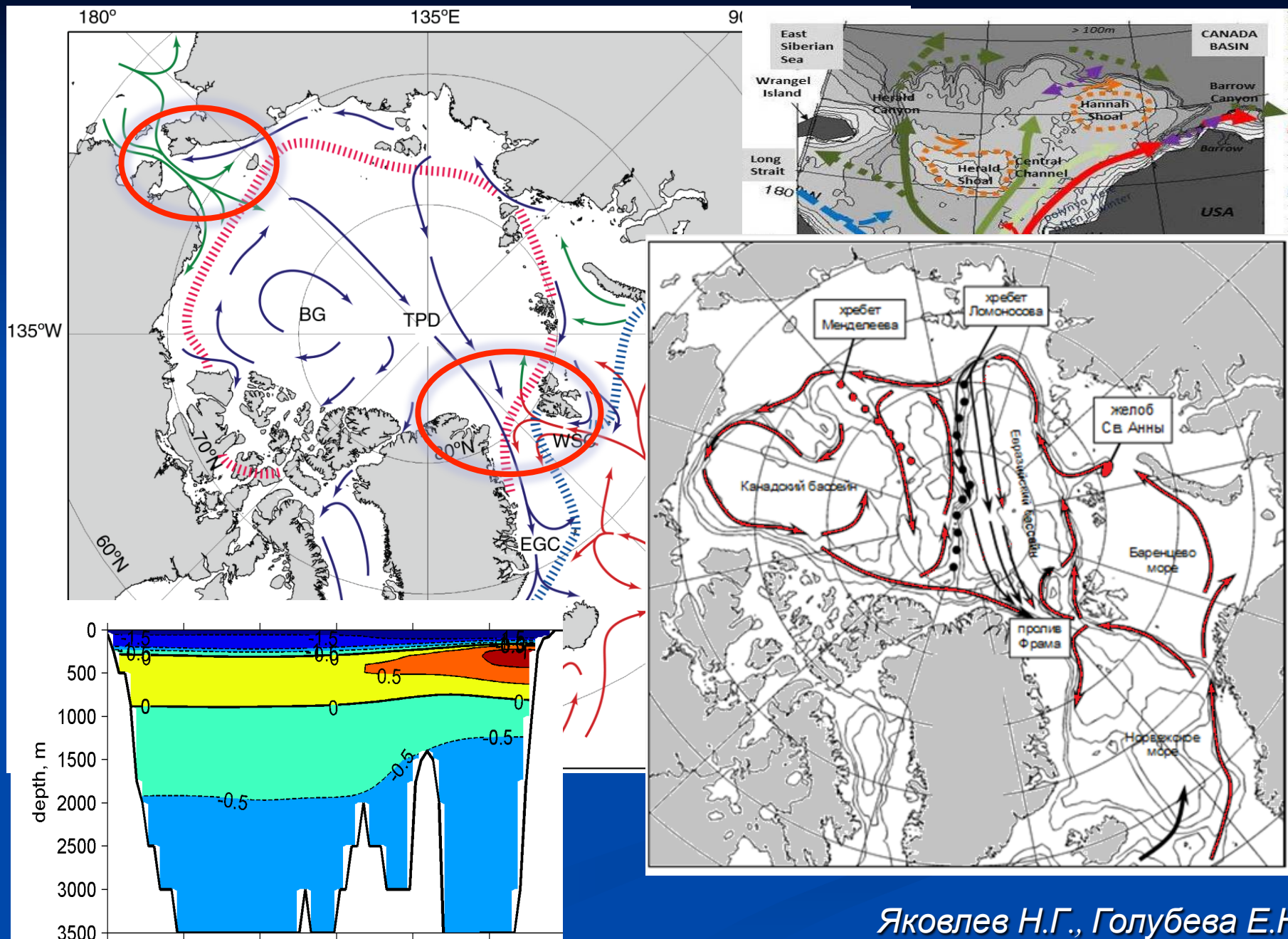


Начальный координированный эксперимент АОМІР выявил поразительные различия между результатами численного моделирования по многим ключевым параметрам.

Два вывода, которые последовали в результате анализа этого эксперимента:

- численные модели дают соленость океана, сильно отличающуюся от «климатического состояния»;**
- численные модели СЛО дают существенно разную циркуляцию основных водных масс.**

*Яковлев Н.Г., Голубева Е.Н.,
Платов Г.А.*



Яковлев Н.Г., Голубева Е.Н.,
Платов Г.А.

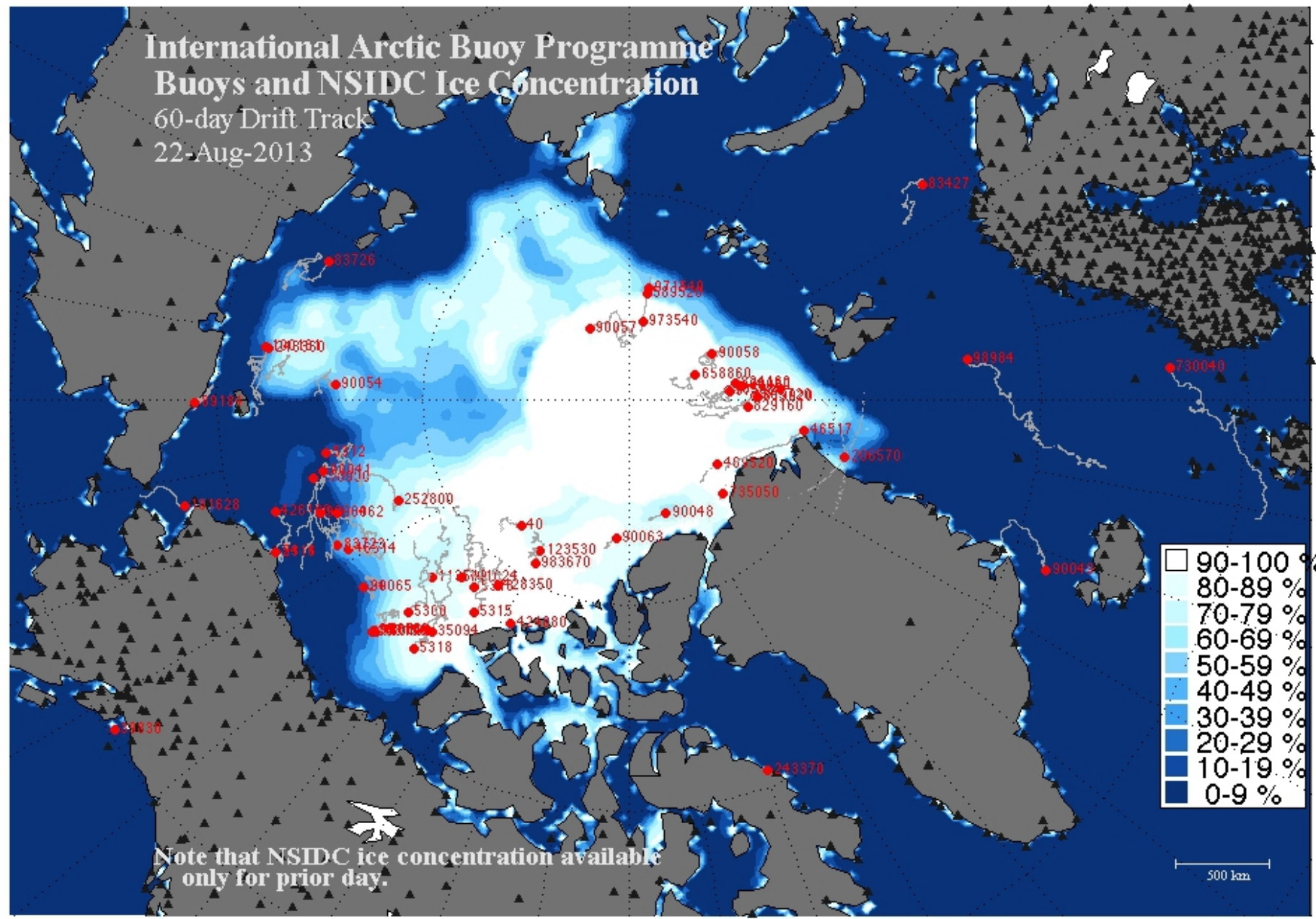
Можем ли мы доверять данным наблюдений?

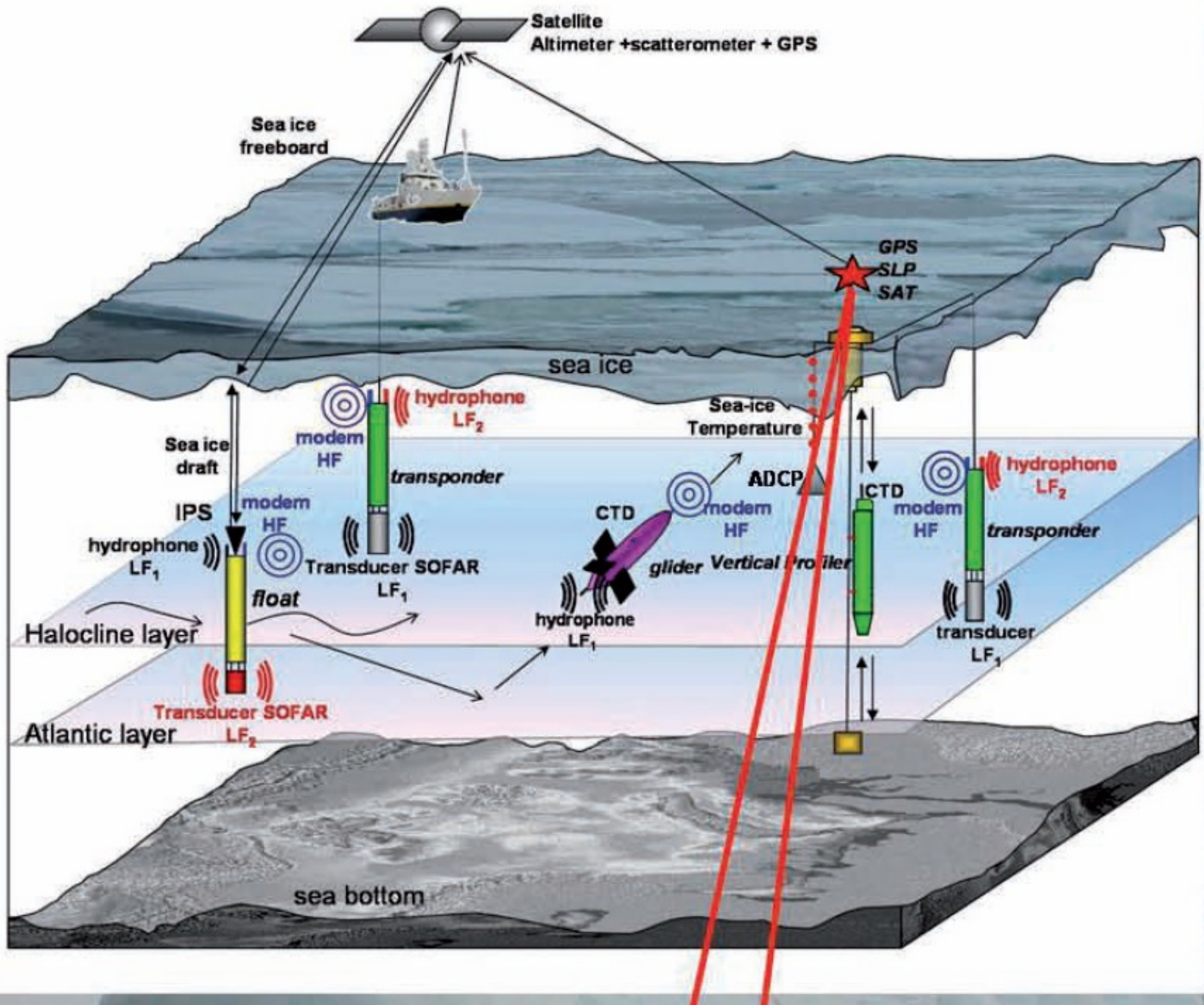
*Яковлев Н.Г., Голубева Е.Н.,
Платов Г.А.*

International Arctic Buoy Programme Buoys and NSIDC Ice Concentration

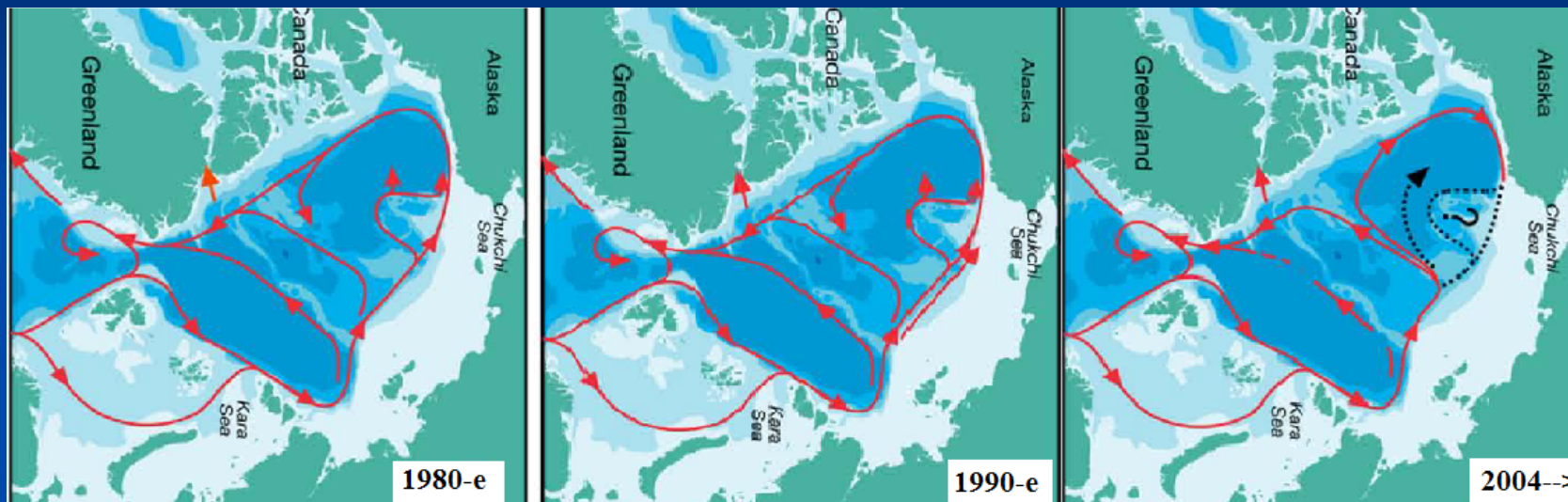
60-day Drift Track

22-Aug-2013





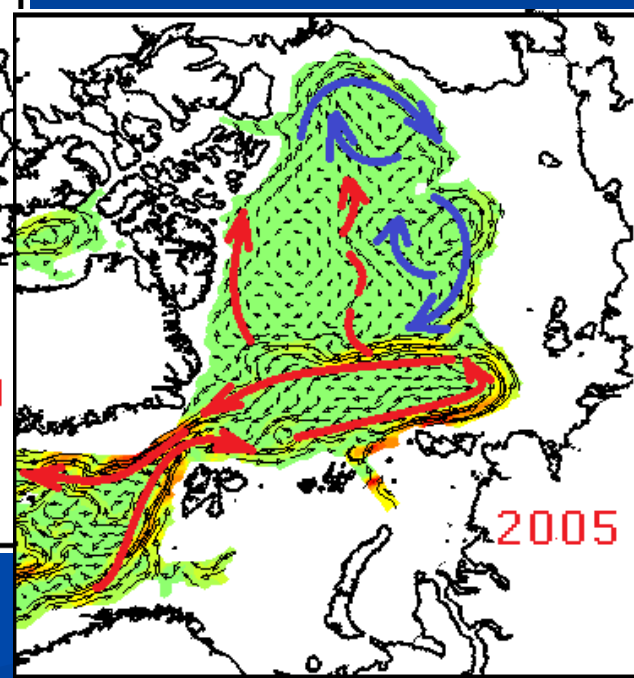
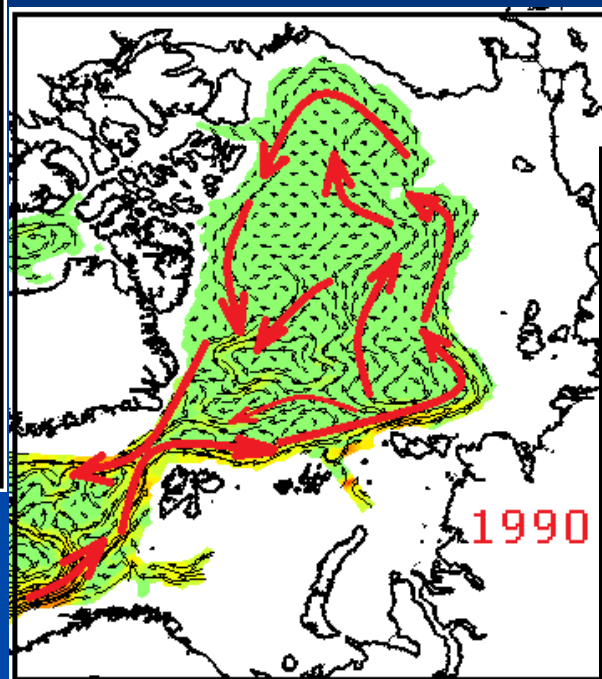
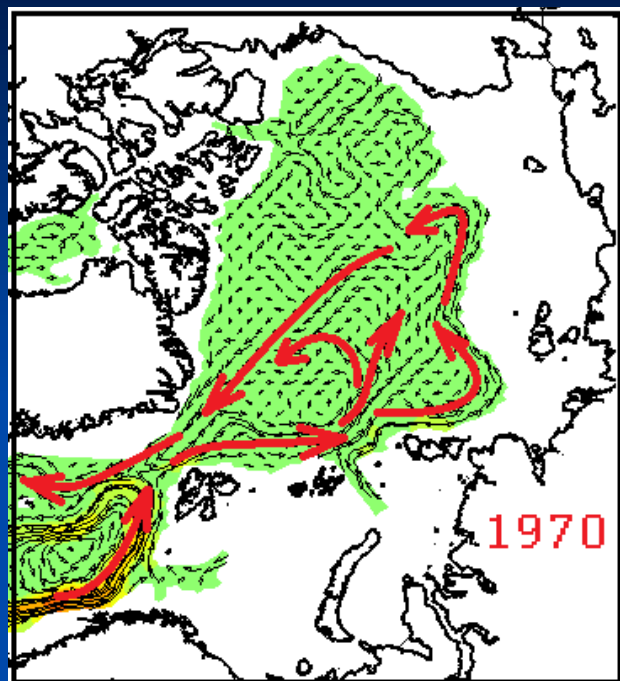
Циркуляция атлантических вод (слой 200-800 м) в СЛО по результатам численной модели NAOSIM (AWI, Германия)



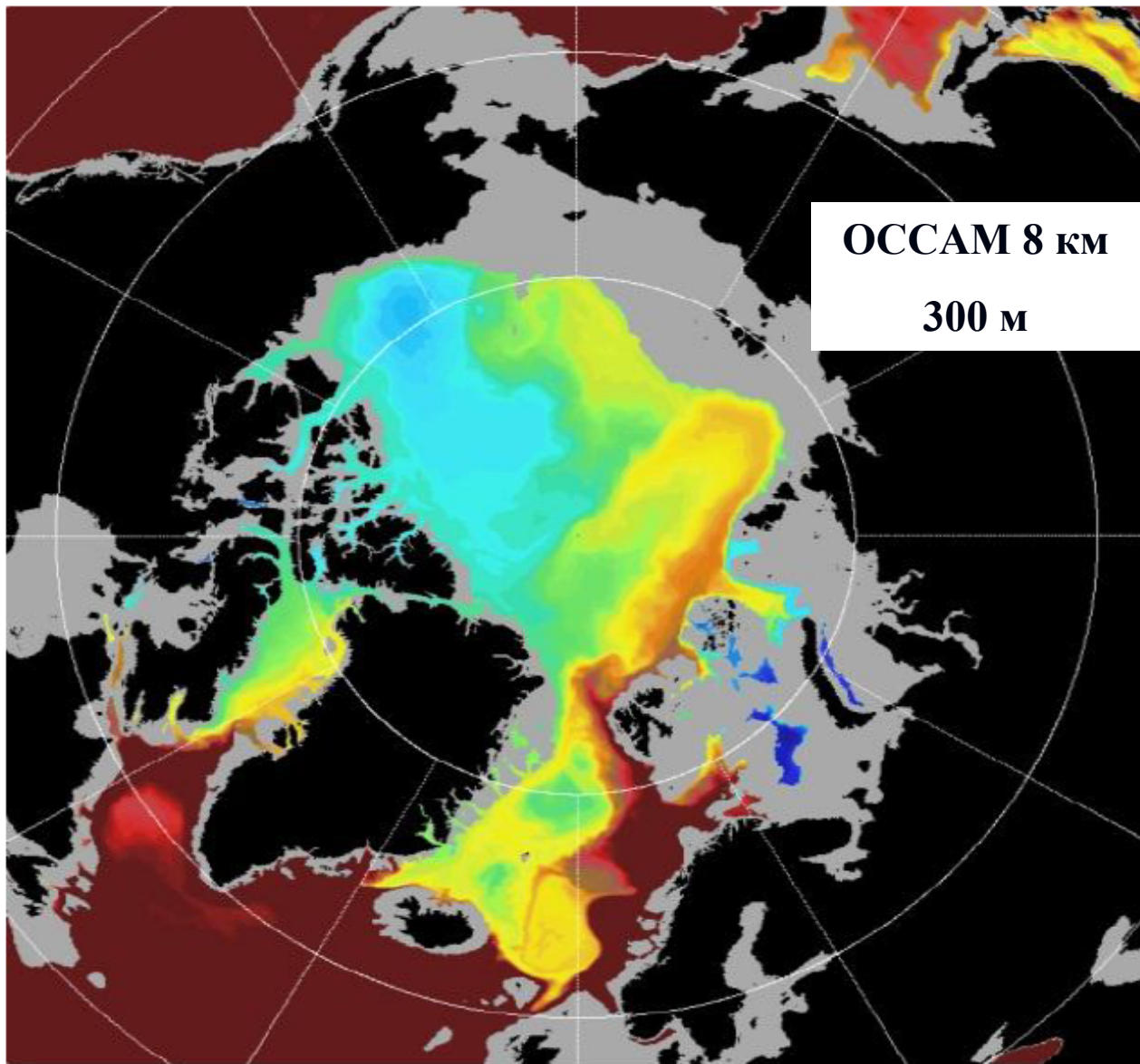
Recent changes in Arctic Ocean circulation revealed by 129 Odissey observations and modelling

Michael Karcher, John N. Smith, Frank Kauker, Rüdiger Gerdes, William M. Smethie, Jr.

Поле течений на глубине 400 м по
результатам работы численной модели
ИВМиМГ СО РАН

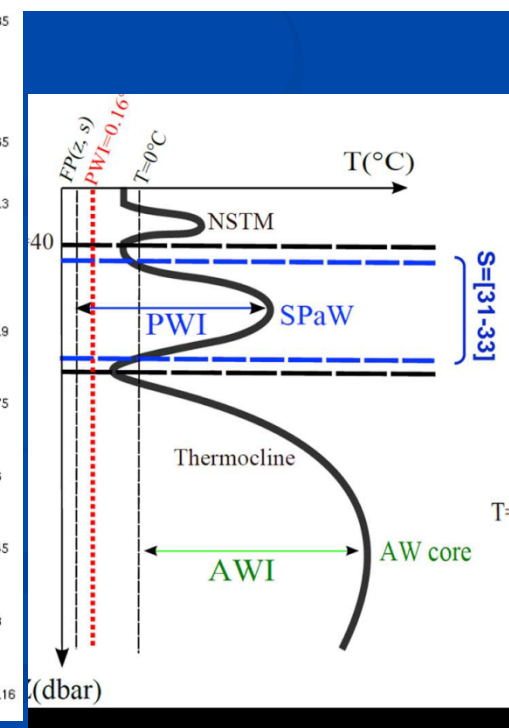
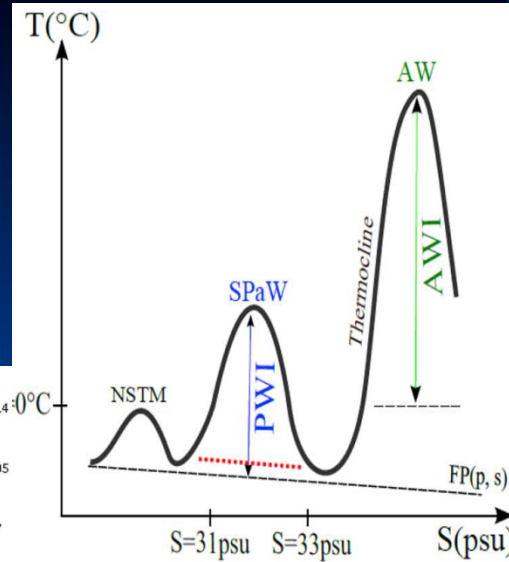
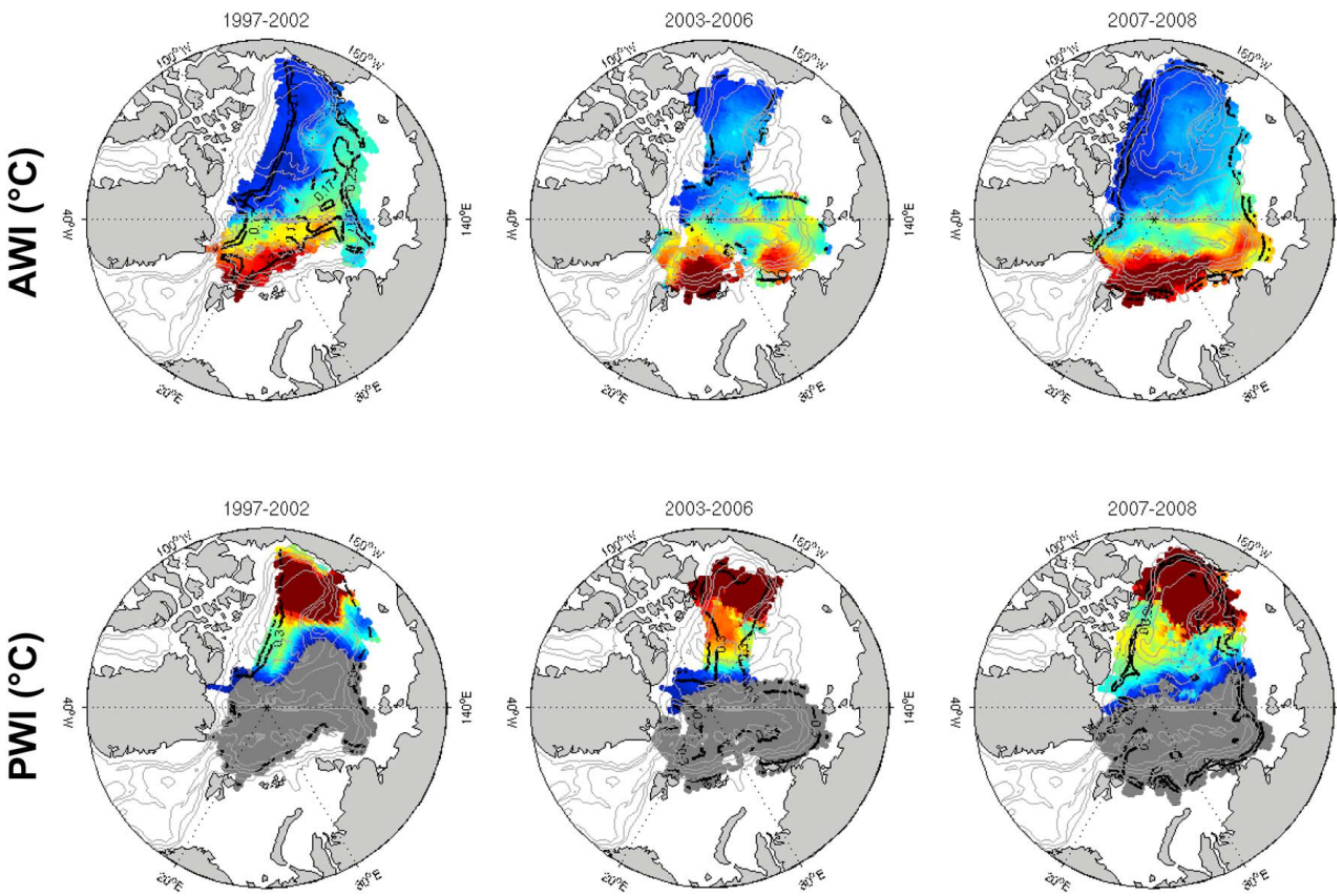


**Можем ли мы доверять моделям высокого
пространственного разрешения?**



Пространственное распределение индекса атлантических и тихоокеанских вод для трех временных периодов по данным наблюдений

P. Bourgain and J.C. Gascard, GRL, VOL. 39, L05603, doi:10.1029/2012GL051045, 2012



Координированный численный эксперимент проекта АОМІР (Aksenov et al. to be published). Распространение тихоокеанского трассера, источник которого постоянно находится в Беринговом проливе, в периоды циклонической (верхний ряд) и антициклонической (нижний ряд) циркуляции атмосферы. Поле трассера на глубине 100 м

OCCAM, 8 km

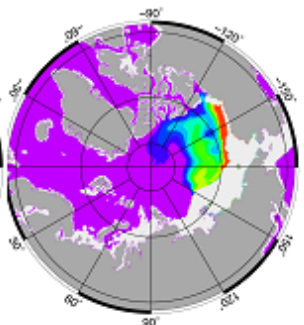
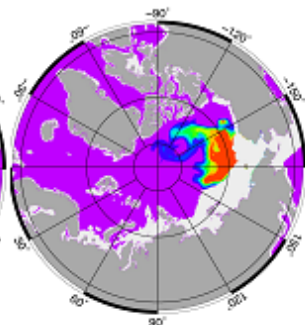
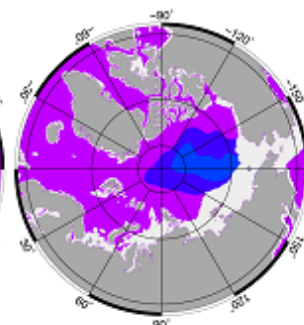
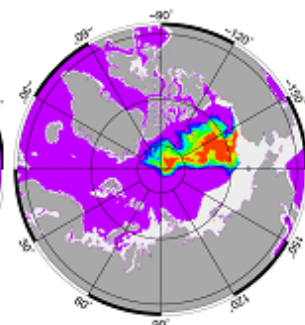
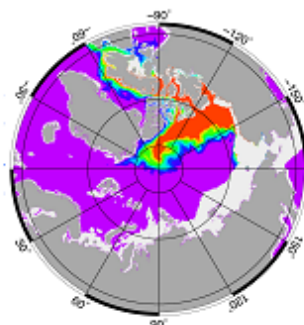
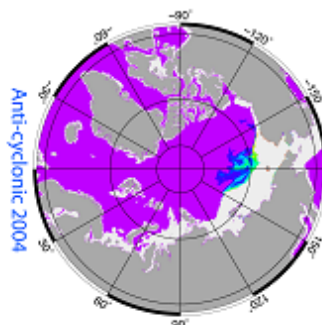
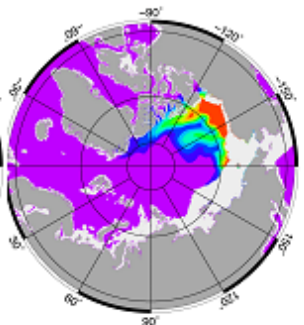
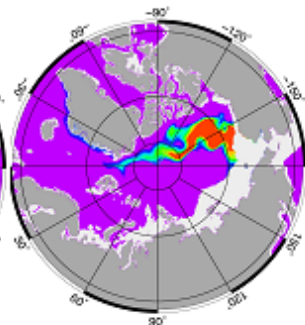
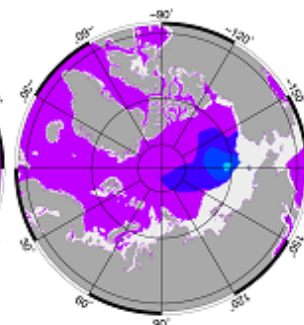
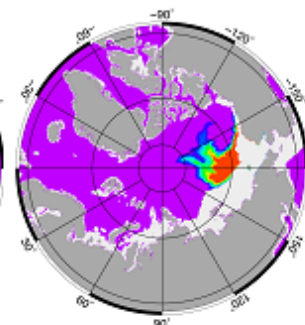
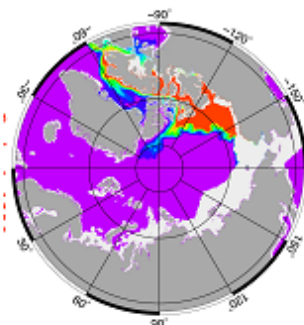
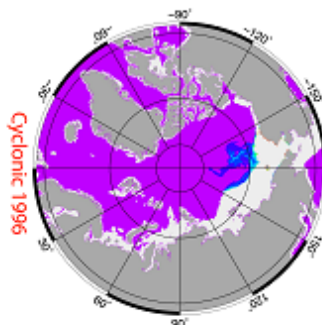
ORCA, 13km

ECCO, 23km

COCO, 25km

NAOSIM, 28km

ICMMG, 35km



Необходимо более качественное понимание физики

Гидродинамика океана

Пограничные слои (атмосфера-лед-океан)

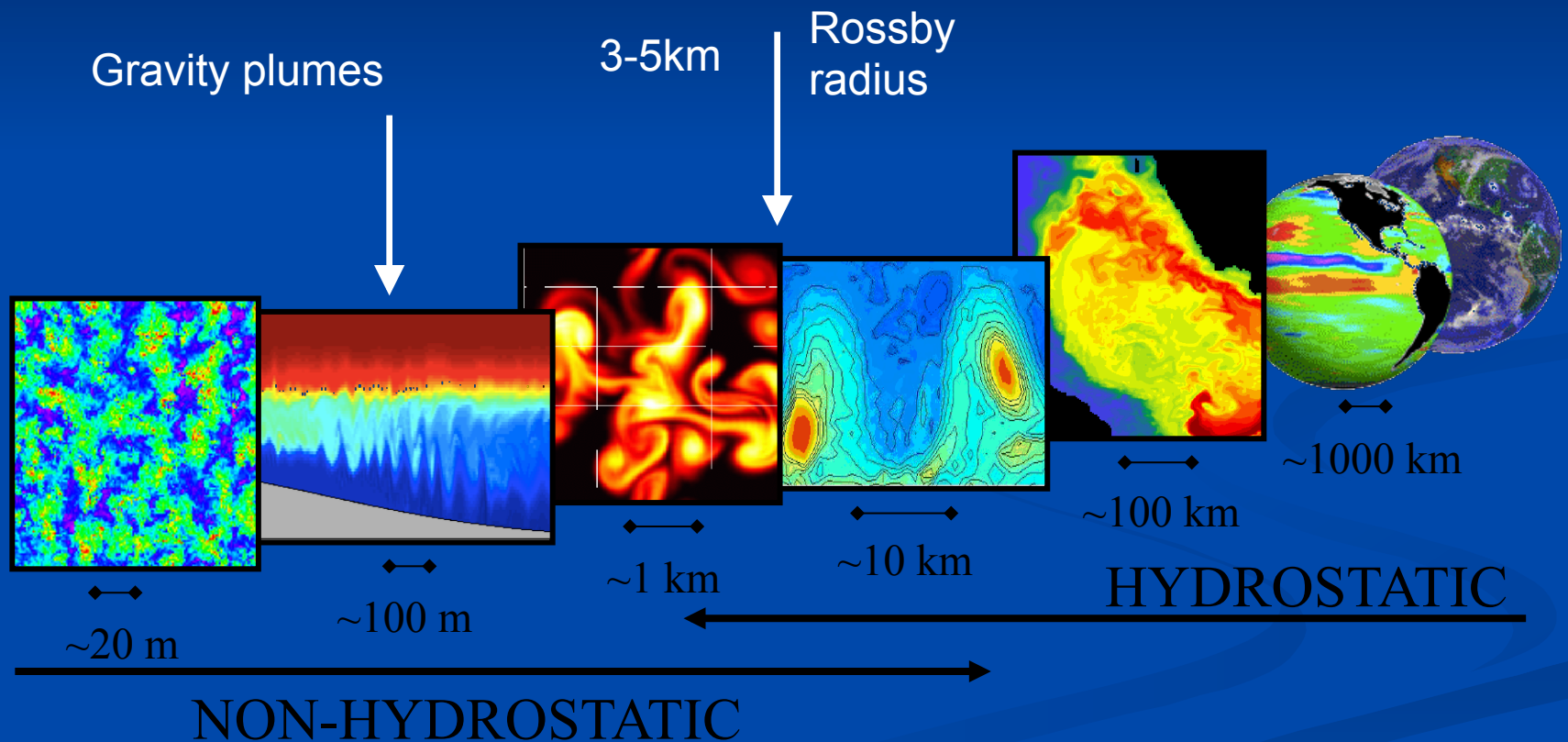
Термодинамика соленого морского льда (и снега на нем)

Динамика деформируемого морского льда

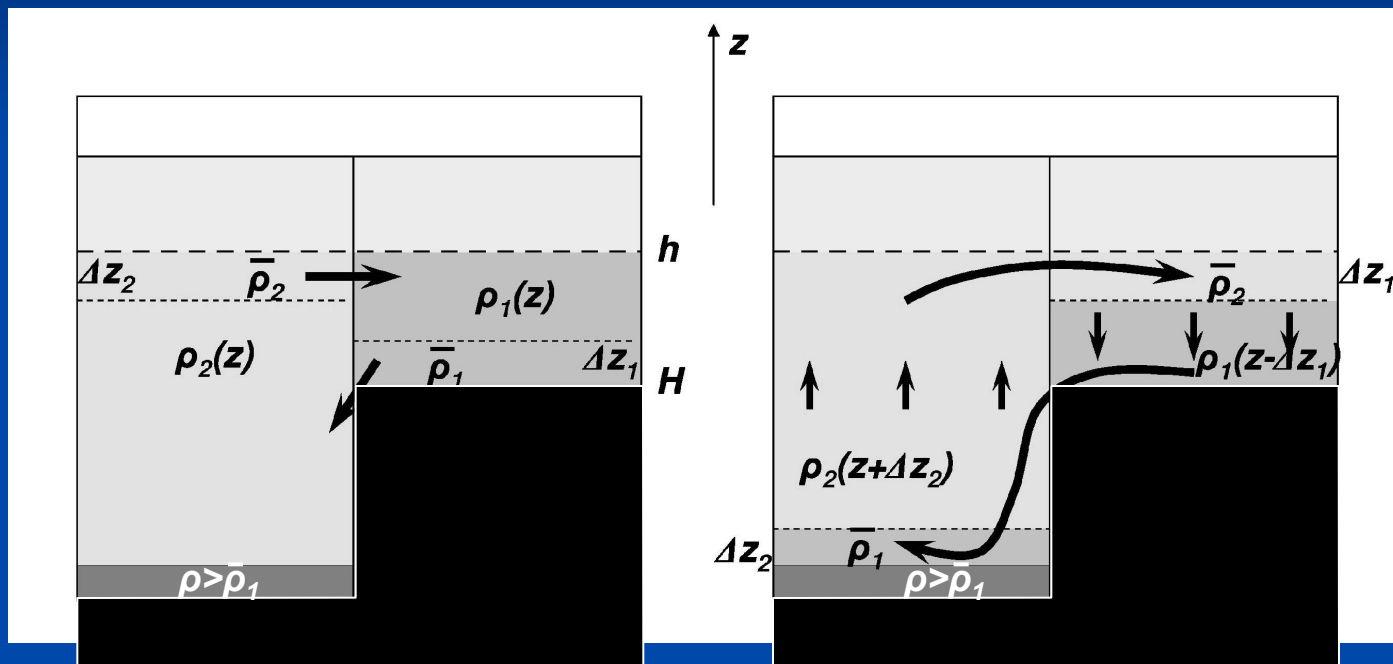
Гидродинамика океана

The main features of the Arctic Ocean are the combination of stable (with very high Vasa-Brunt frequencies) and unstable stratification, and small baroclinic Rossby radius (3-5 km).

Non-Boussinesq in estuaries and during summer ice melting.

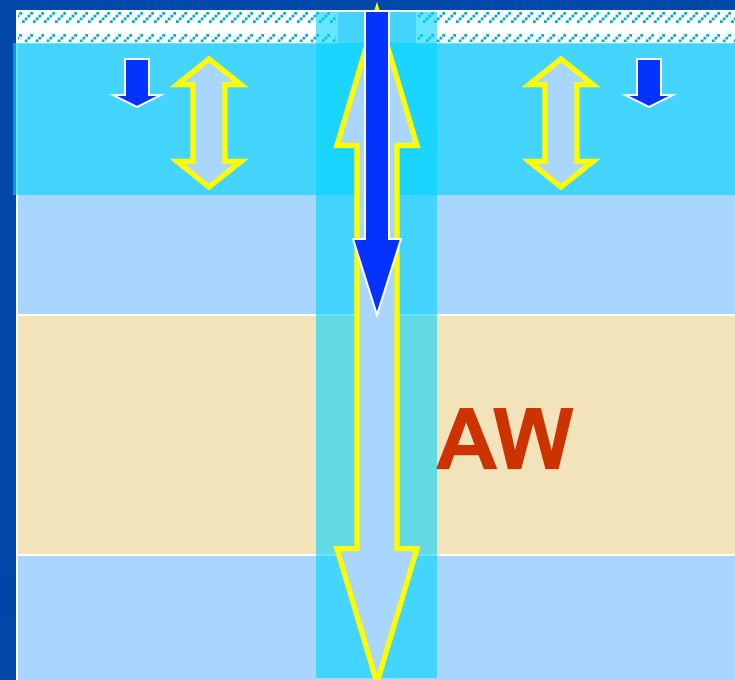
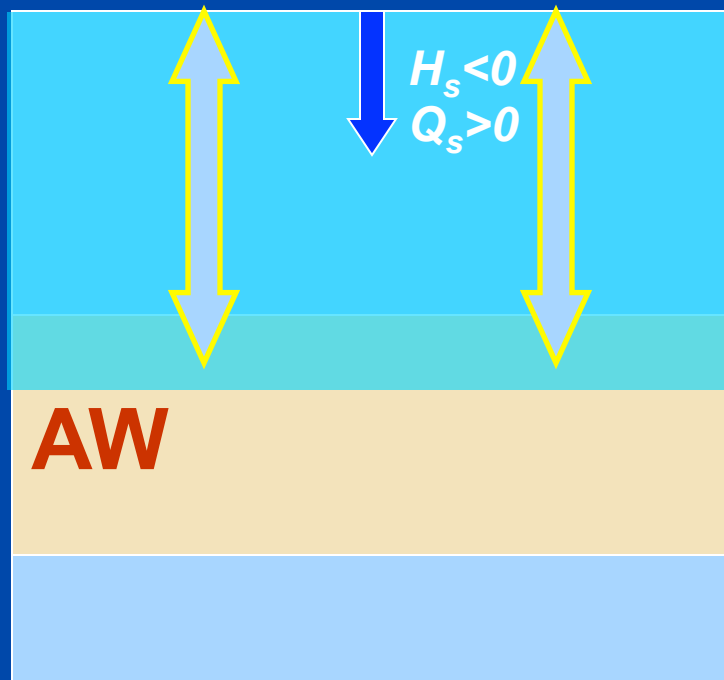


Параметризация глубокой конвекции и склоновой конвекции (каскадинга)



Конвекция в Арктике (Платов Г.А.)

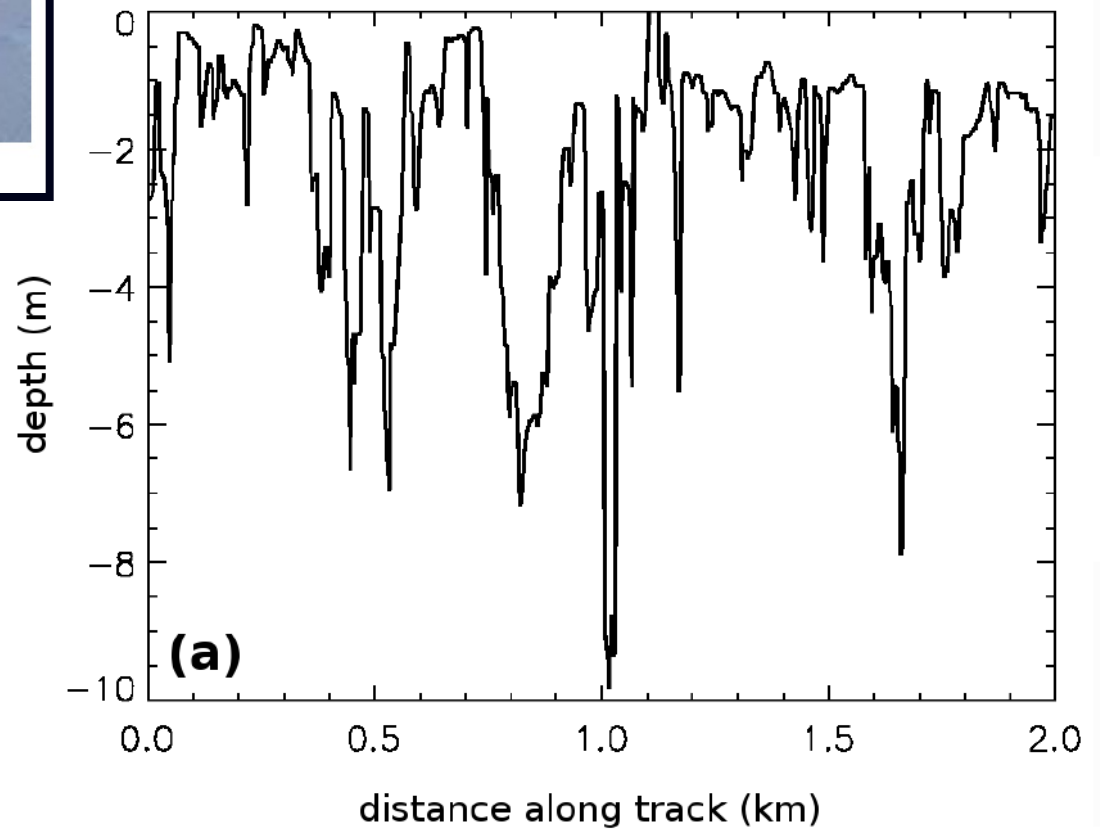
$$\begin{cases} H_S = AH_{\text{ice}} + (1 - A)H_{\text{ocn}} \\ Q_S = AQ_{\text{ice}} + (1 - A)Q_{\text{ocn}} \end{cases} \quad A = 95 - 99\%$$
$$|H_{\text{ocn}}| \gg |H_{\text{ice}}|, \quad |Q_{\text{ocn}}| \gg |Q_{\text{ice}}|.$$



Проблема описания пограничного слоя подо льдом

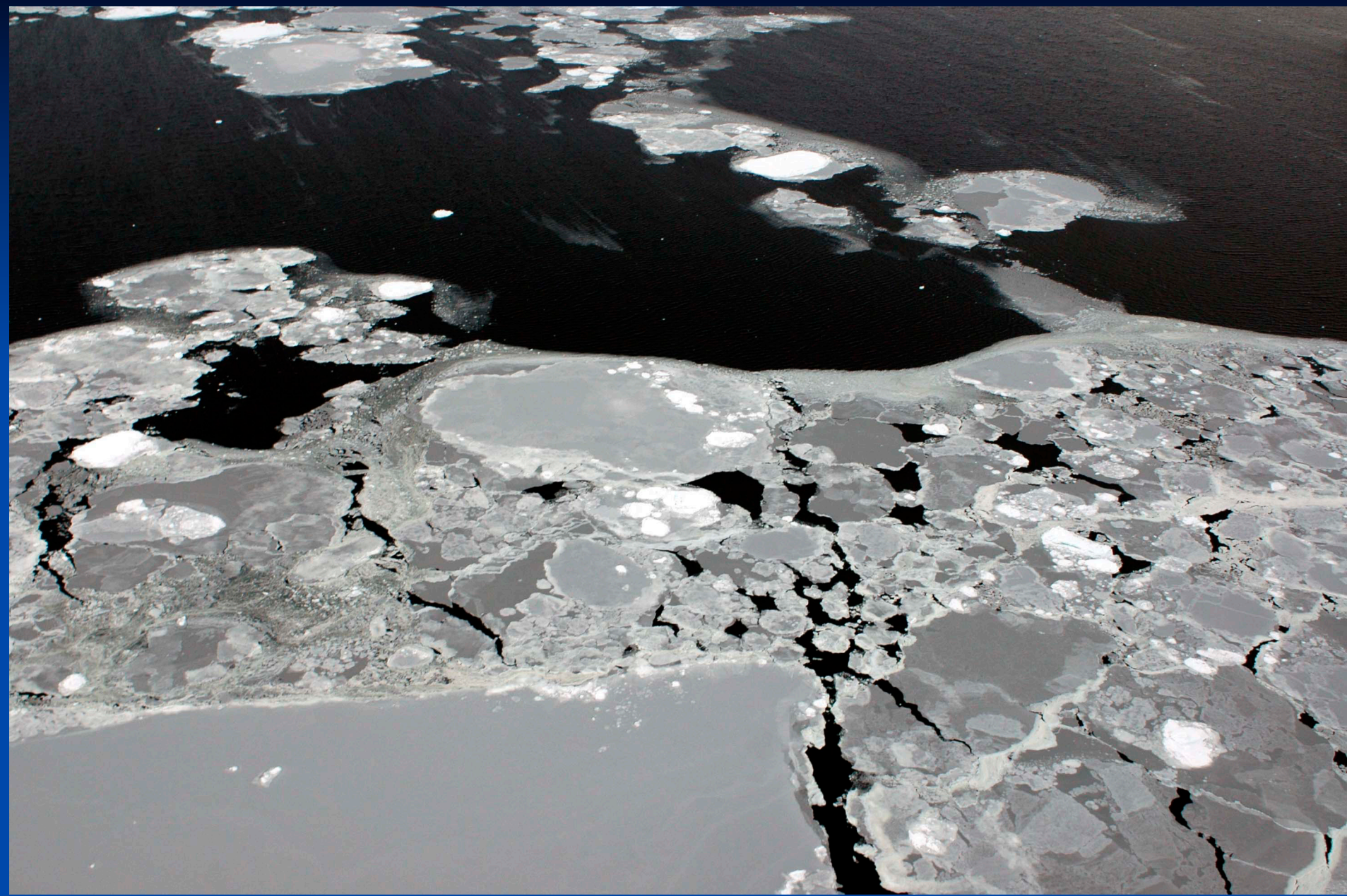


Figure 1. HMS Tireless at the North Pole, 19 April 2004.



Проблема описания динамики дрейфующего льда

- **Sea Ice rheology formulation is based on assumptions on the number of icefloes enough to use some ensemble averaging. If the mean icefloe diameter $\sim 300\text{m}$, the resolution should be as large as several kilometers.**
- **Nonlinear viscous-plastic and elastic-viscous-plastic rheologies are common for climate and large scale modeling.**
- **No reliable uniform formulation for both drifting ice and landfast ice.**
- **Modern satellite data reveal the linear fracture zones in the ice field – the necessity to revise the basic hypothesis for the rheology.**





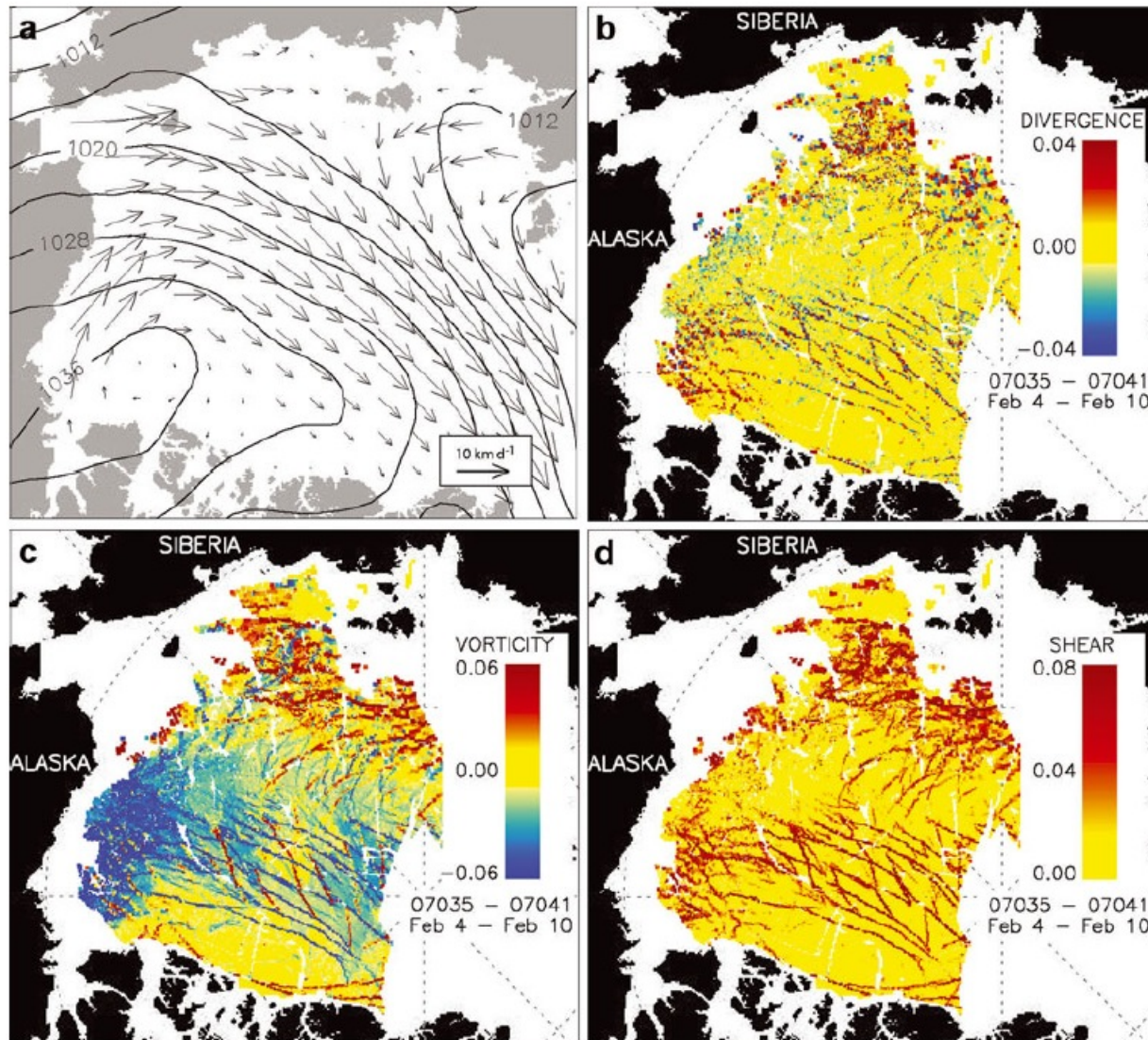


Fig. 6. Large-scale mean ice motion and deformation of the Arctic Ocean ice cover between 4 and 10 February 2007. The high-resolution ice deformation fields are derived from SAR imagery. (a) Mean vector field with superimposed sea-level pressure contours (interval 4 hPa); (b) divergence; (c) vorticity; (d) shear. Deformation computed at gridcell ~ 10 km on a side. Units: per day. After Kwok and Sulsky (2010).

Sea Ice Salinity

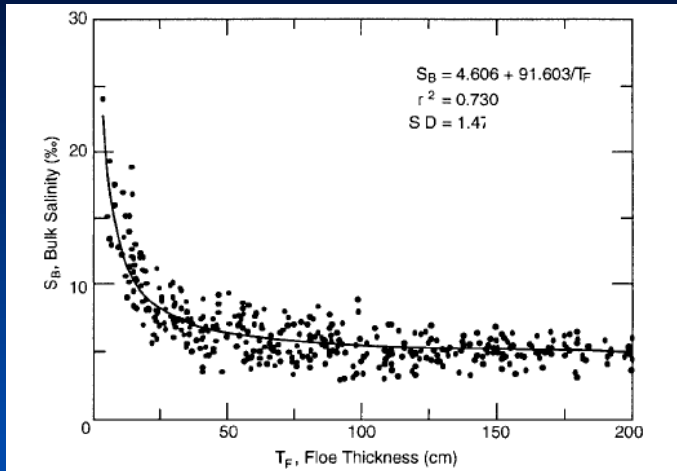


Figure 18. All Arctic and Antarctic first-year sea-ice bulk salinity vs. floe thickness data compiled from numerous sources.

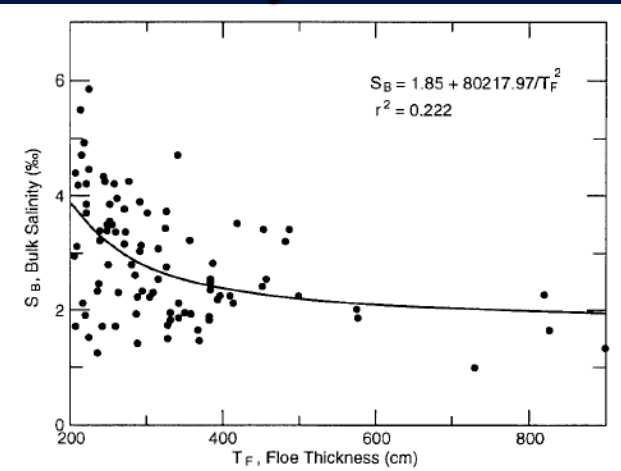
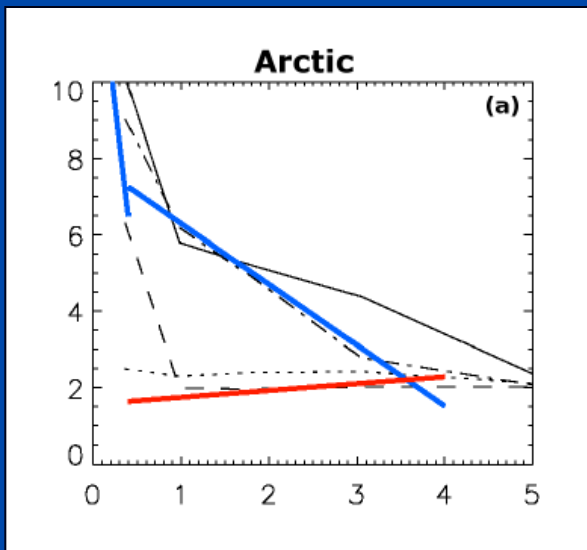


Figure 22. All Arctic and Antarctic multiyear sea-ice bulk salinity vs. floe thickness data.

Kovacs, A. 1996. Sea ice, Part I. Bulk salinity versus icefloe thickness. Technical Report 96-7, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire



Modelling the mass balance and salinity of Arctic and Antarctic sea ice

Doctoral dissertation presented by
Martin Vancoppenolle
in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science

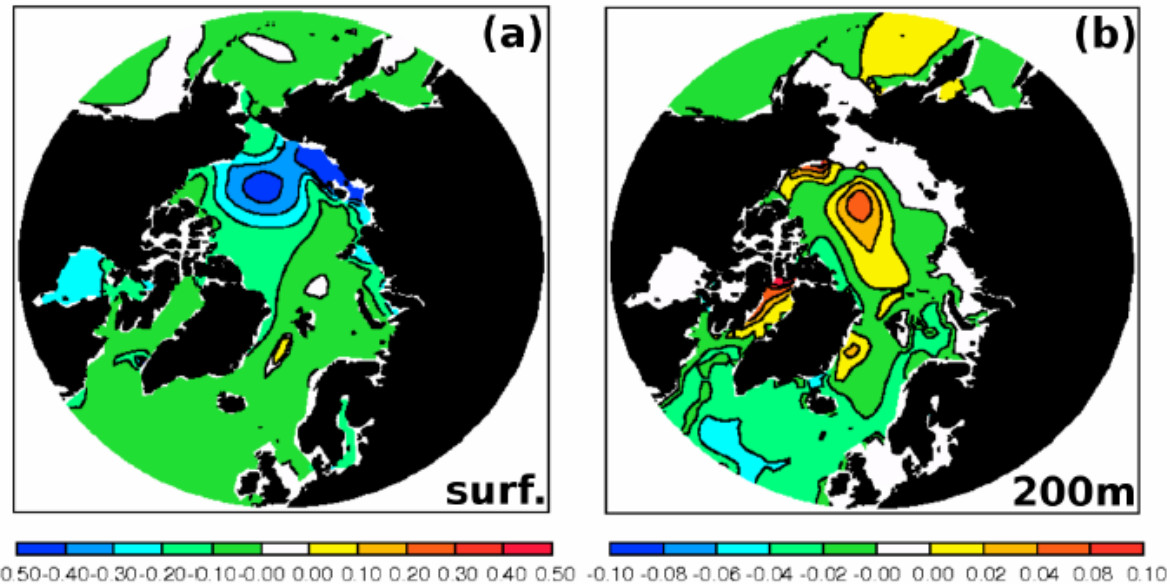


Figure 7.11: Differences in oceanic salinity (March) in the NH at the surface (a) and at 200 m depth (b), averaged over 1979-2006.

**This approach is based on the observational data for the ice salinity –
will not work in future climates**

WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION



FAMOS

Arctic Ocean Model Intercomparison Project

Forum for Arctic Modeling and Observational Synthesis

Расширение международного сотрудничества и координации усилий в области описания климатических процессов, протекающих в Арктике.

Разработка координированного подхода на основе объединения численного моделирования, теоретических исследований, анализа данных наблюдений.

Подготовка нового поколения ученых, занимающихся проблемами климатической изменчивости Арктики.

Основной задачей проекта является усовершенствование и разработка моделей СЛО с пониженным уровнем неопределенности в воспроизведении ледовых процессов и океанической динамики на основе

- использования данных наблюдений для оценки модельного форсинга, граничных и начальных данных
- калибровки и тестирования новых моделей с высоким пространственным разрешением на основе координированных экспериментов;
- использования параметризаций подсеточных процессов;
- использования современных численных схем;
- сравнения модельных результатов с данными натурных наблюдений с целью оценки уровня неопределенности модели по отношению к их способности воспроизведения реальных процессов.

A photograph of a sunset over the ocean. The sun is low on the horizon, partially obscured by a layer of clouds. The sky is filled with various cloud formations, some dark and some illuminated by the setting sun. The water in the foreground is dark and calm. A semi-transparent dark grey rectangular box is centered over the image, containing the text "Спасибо за внимание!" in white, bold, serif font.

Спасибо за внимание!