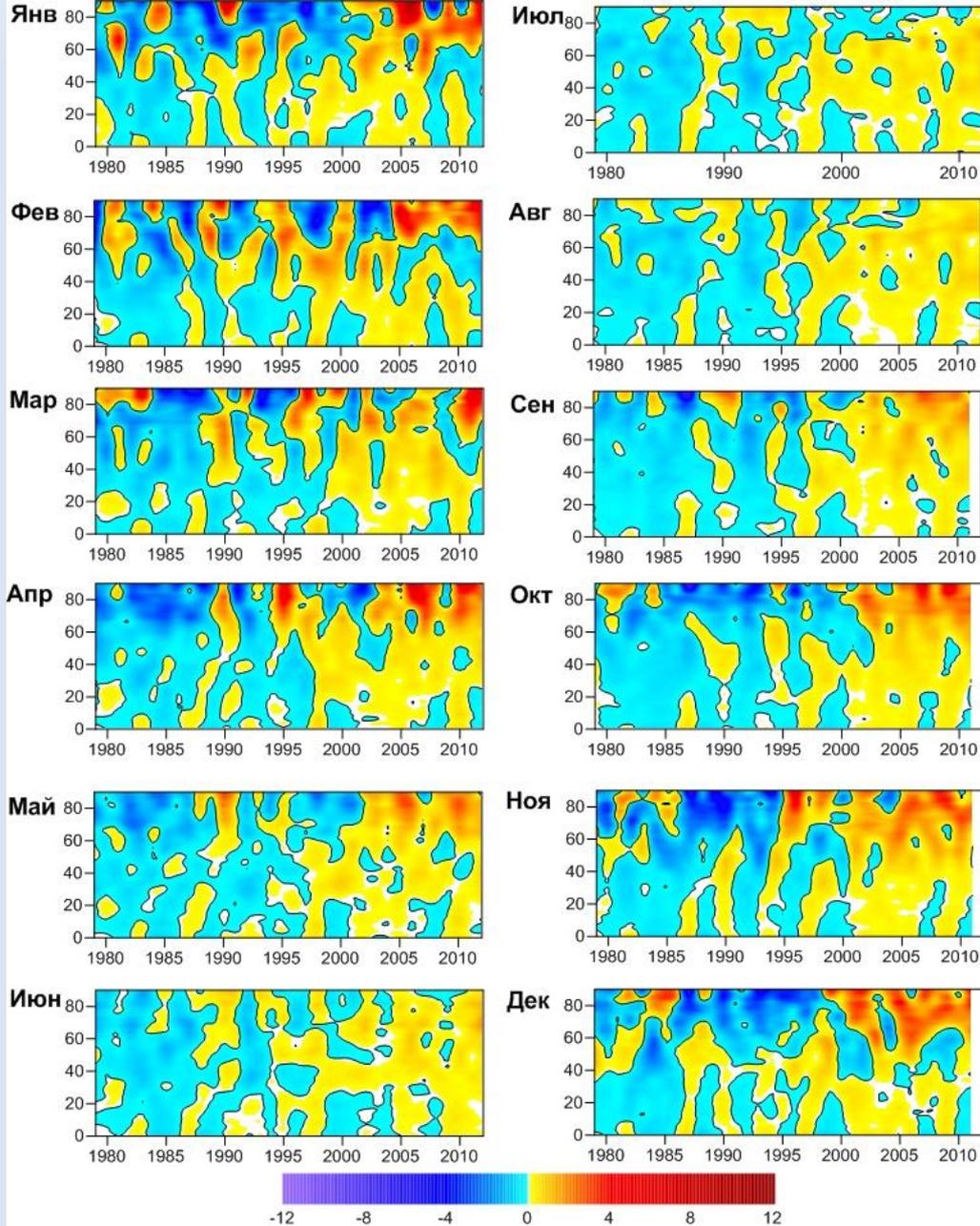


Атмосферные процессы в Арктике

Ирина Репина

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

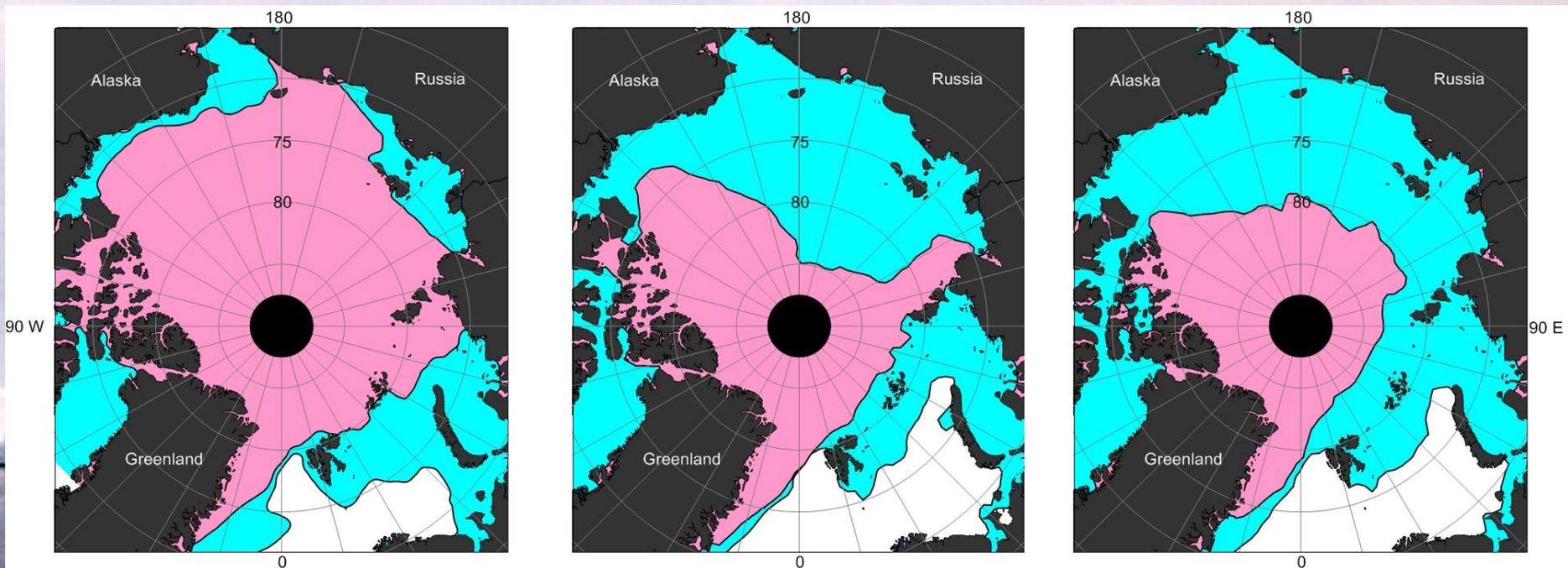
Современные климатические изменения в Арктике



Более интенсивное (по сравнению с умеренными широтами) повышение приземной температуры воздуха Арктике в 2000-е годы («полярное усиление»)

Временное распределение аномалий приземной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненных вдоль широтных кругов северного полушария

Сезонная изменчивость площади ледяного покрова

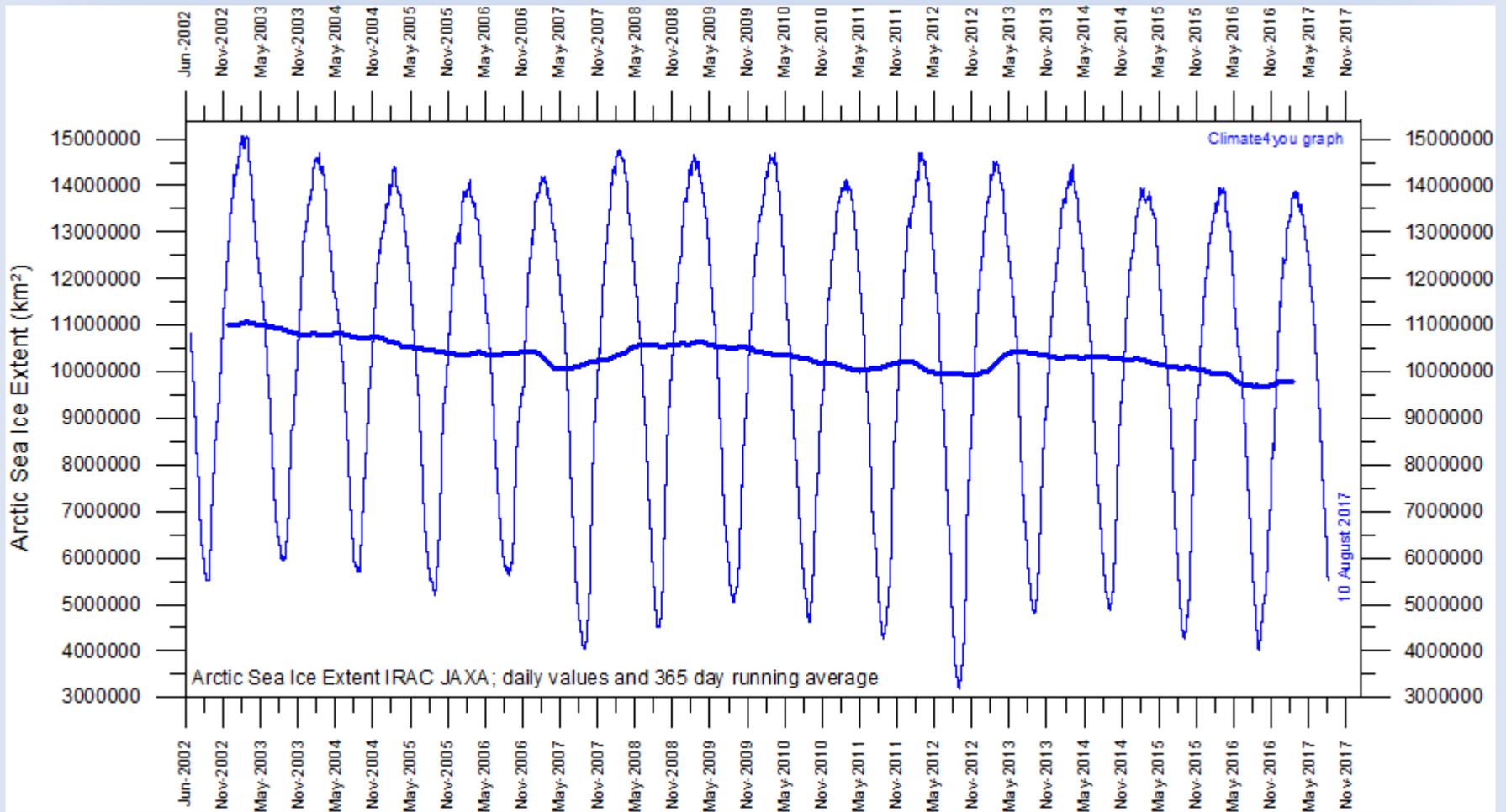


Среднее 1978-2000

2007

2012

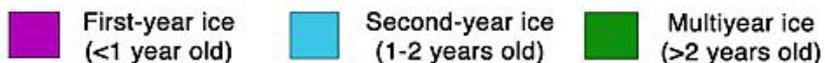
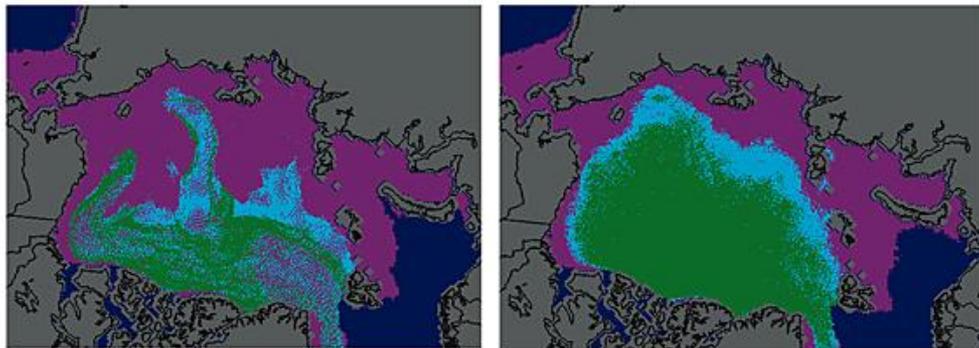
Площадь льда в *Марте* и в *Сентябре*



Arctic sea ice age at the end of winter

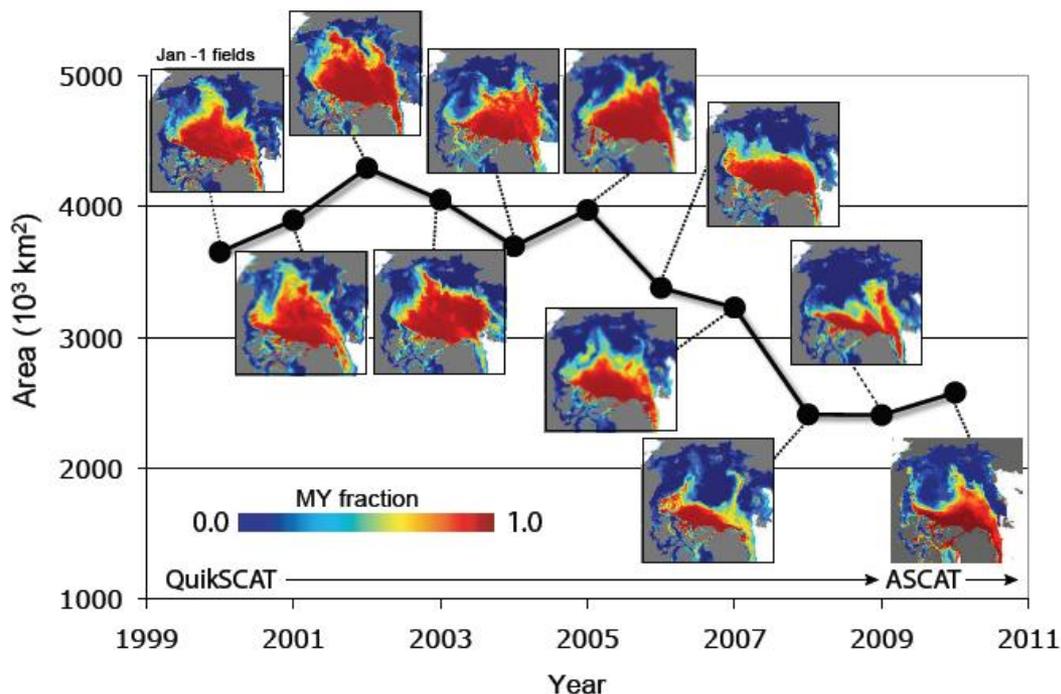
Ice age
March 2011

Median ice age
March 1979-2000

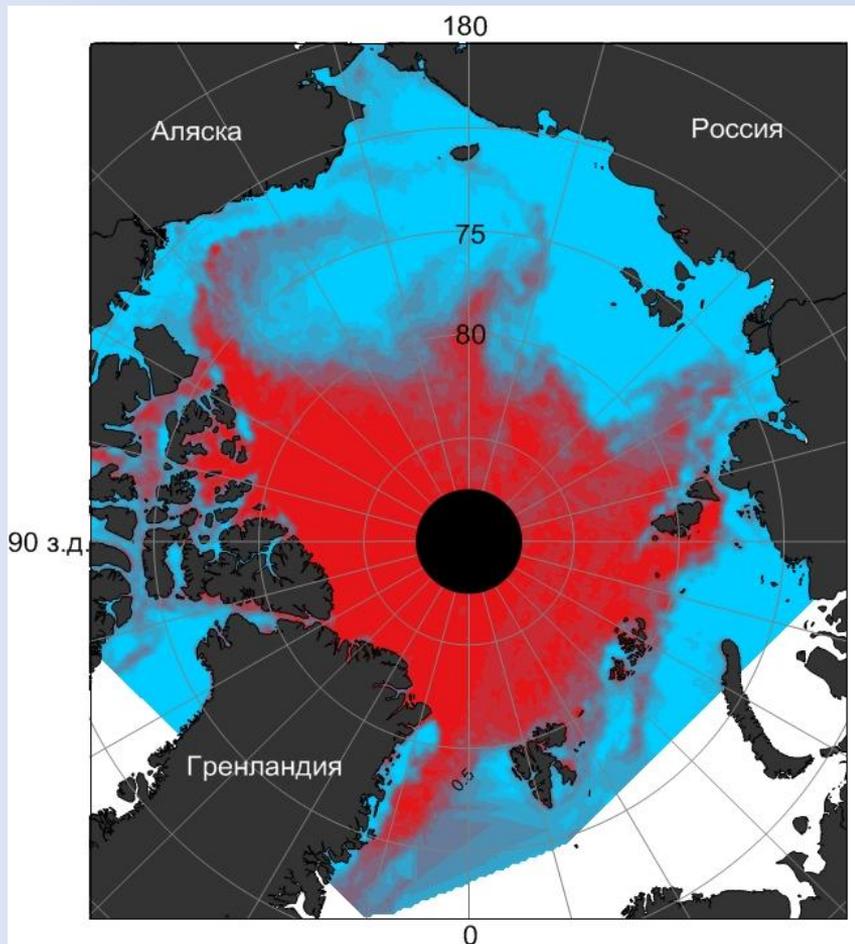


Изменение возраста морского льда

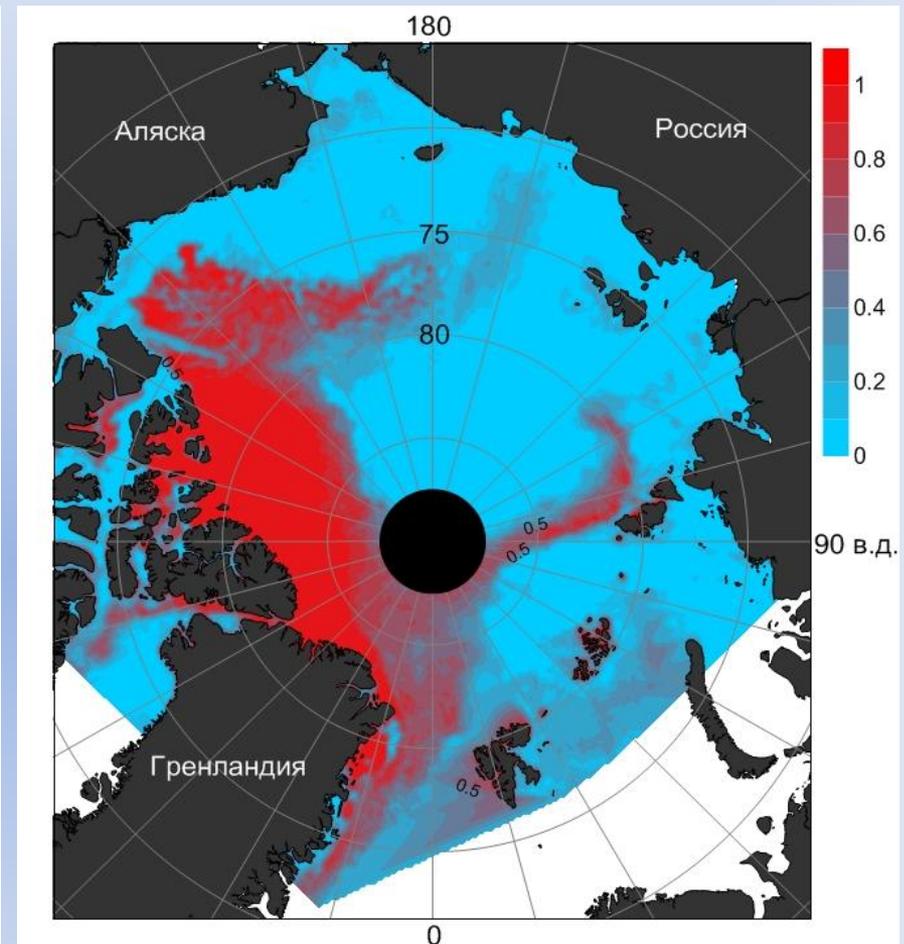
Резкое изменение баланса однолетнего и многолетнего льда произошло после 2007 года. Это в целом согласуется с существующими прогнозами возрастания сезонности ледового покрова в СЛО в текущем столетии



Доля многолетнего льда в СЛО в феврале-марте



2004

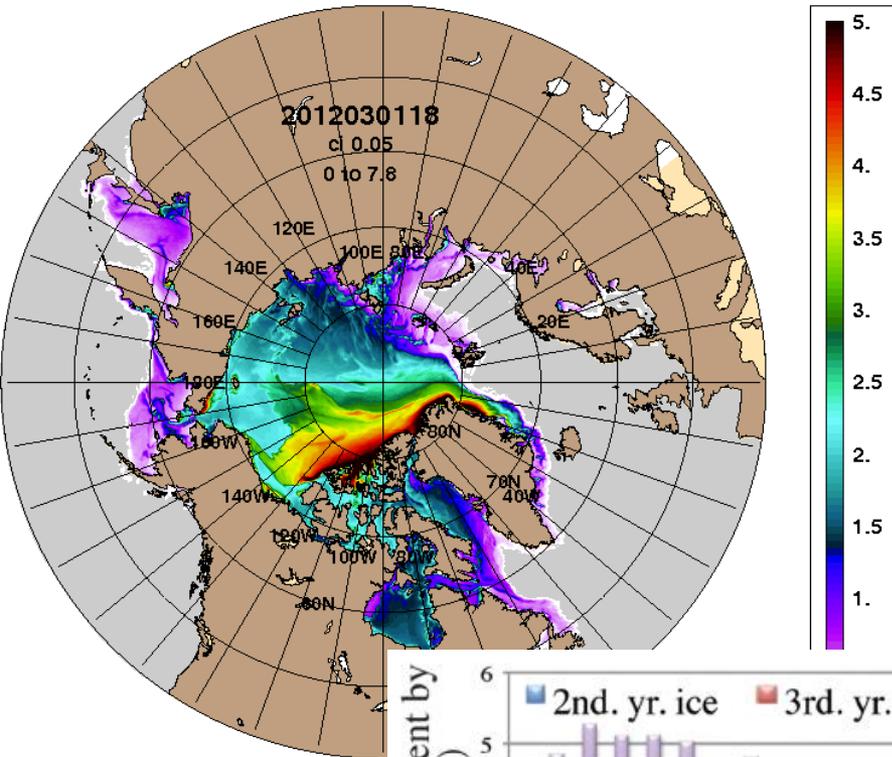


2008

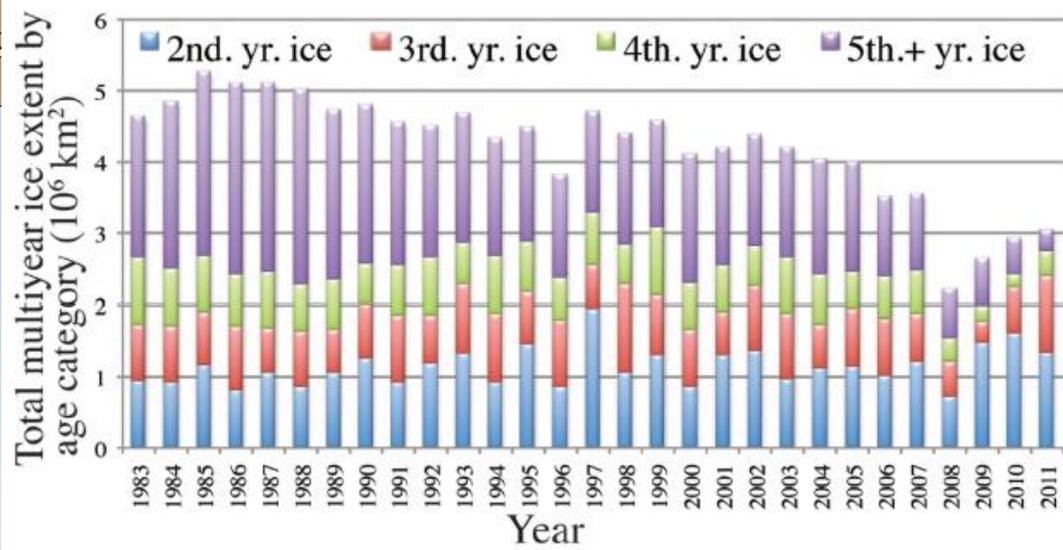
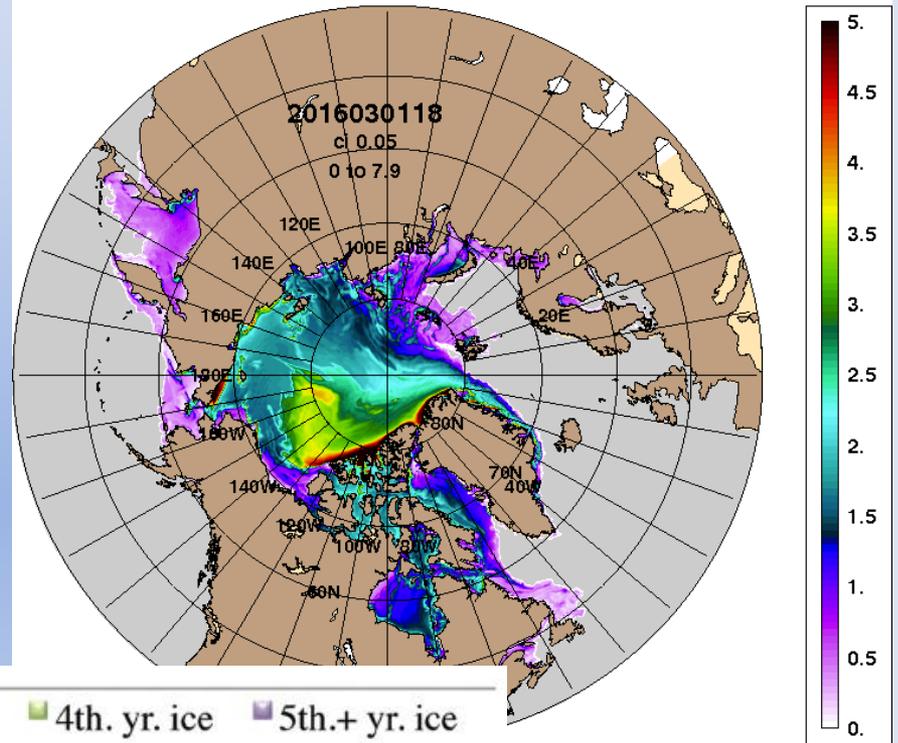
Доля однолетнего льда весной 2008 г. составила около 70%, против средних 40% в 1979-2000 гг.

Толщина морского льда в марте 2012 и 2014 года

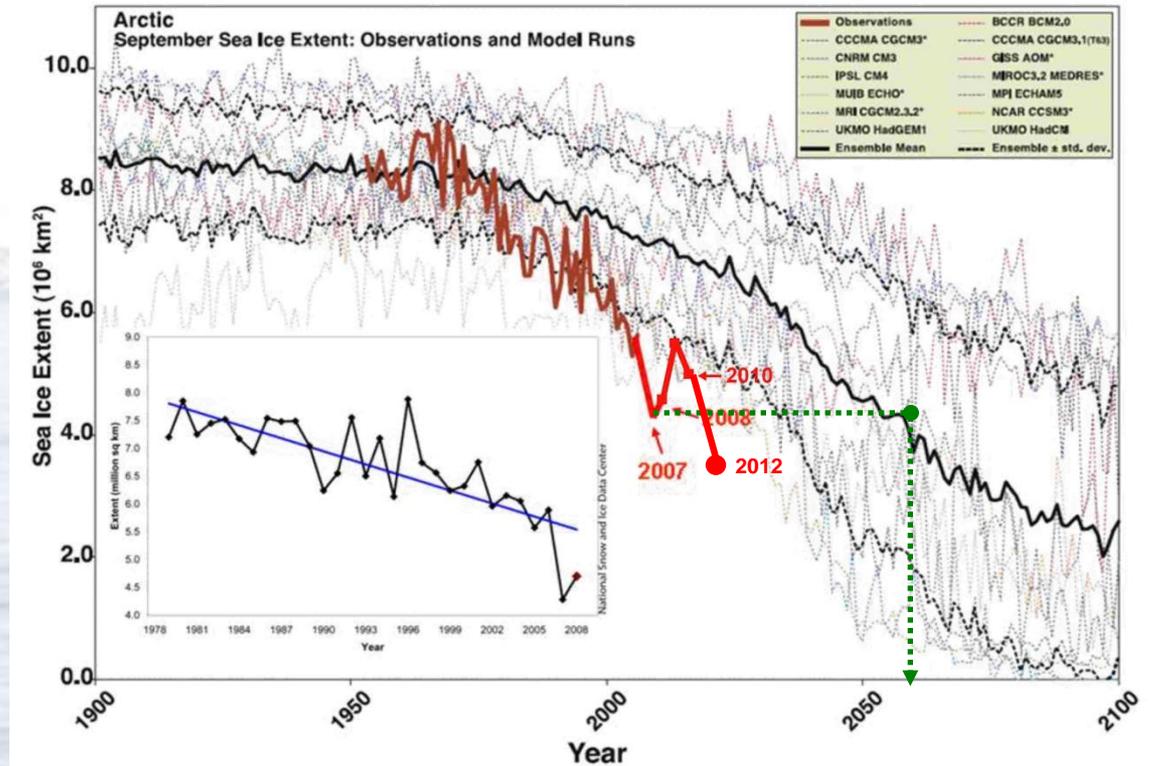
ARCc0.08-03.5 Ice Thickness: 20120302



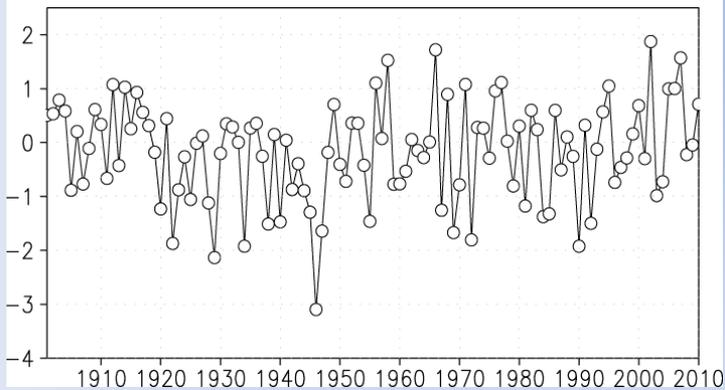
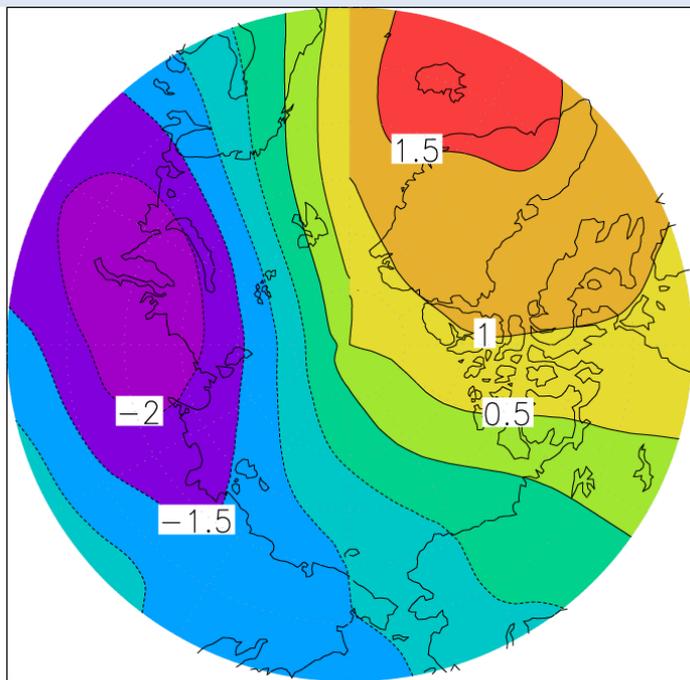
ARCc0.08-04.1 Ice Thickness (m): 20160302



**Фактическая площадь ледяного покрова в СЛО в 2007
соответствовала среднему по ансамблю прогнозу ГKM для ~2055 г.**



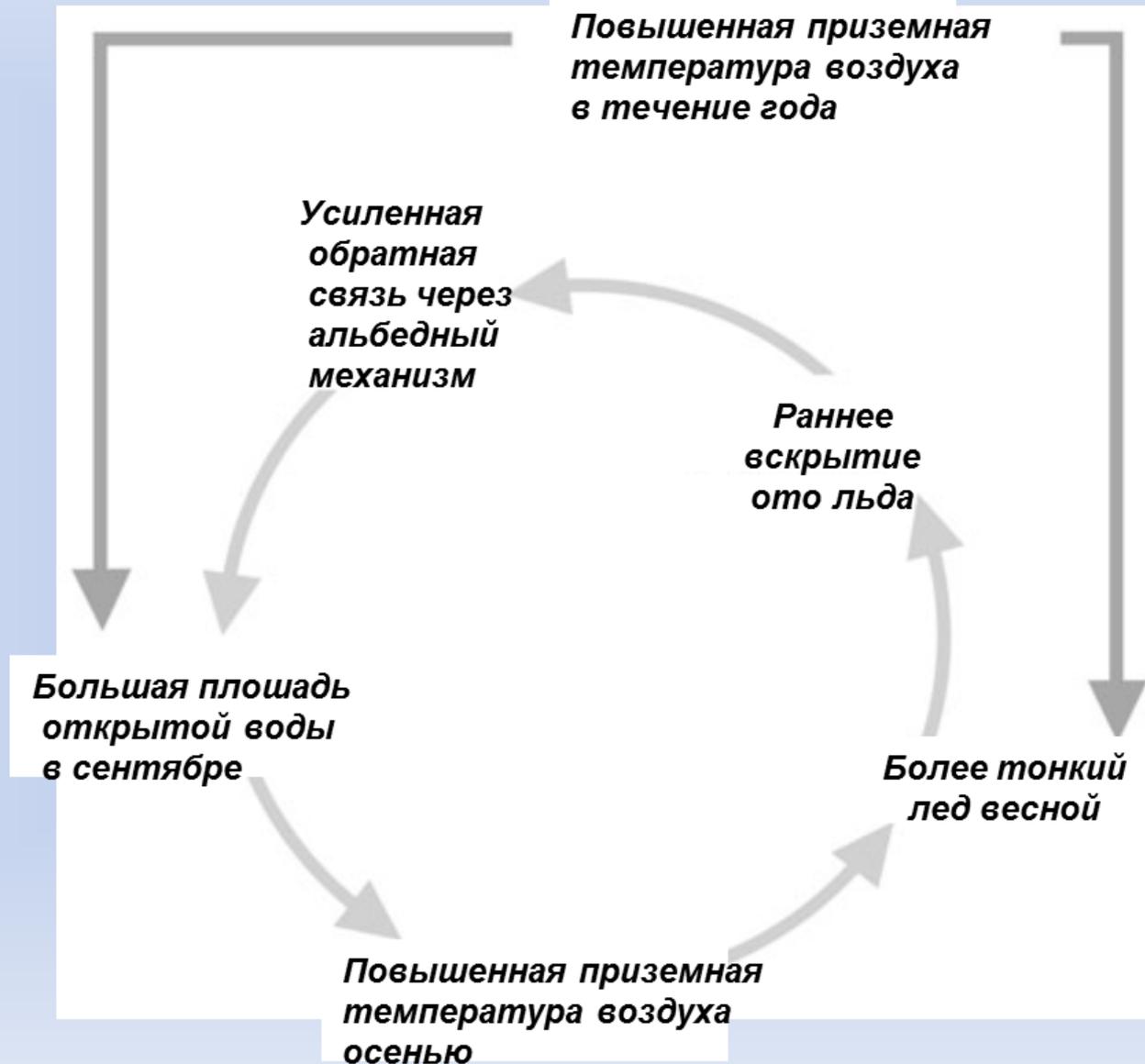
Adapted from Stroeve et al. 2007 GRL



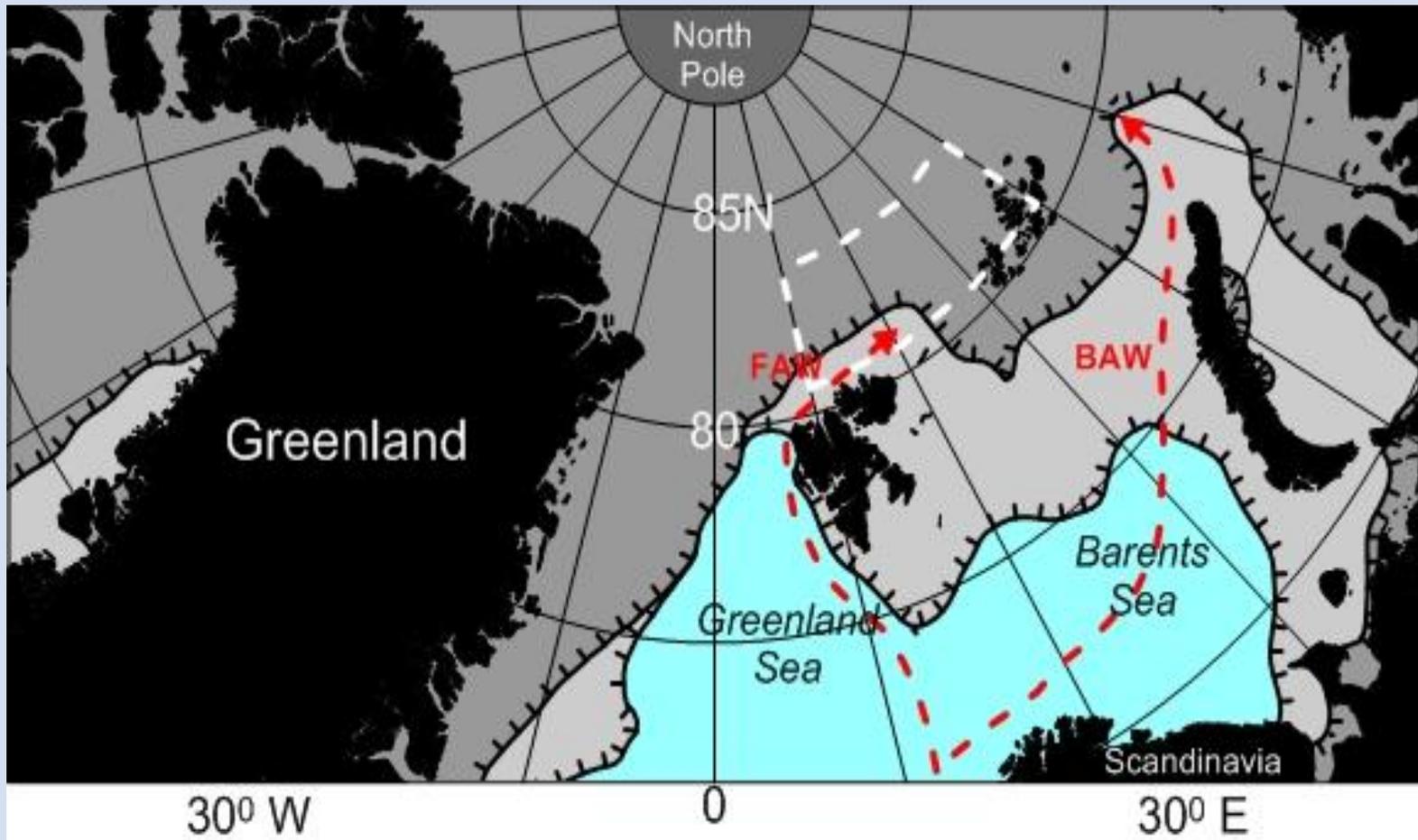
Существование над СЛО устойчивой структуры барического поля, обеспечивающей Трансдрифт - перенос льда в генеральном направлении к проливу Фрама. Эта структура характеризуется положительной аномалией давления над американской частью Арктики и отрицательной над Сибирью.

Распределение аномалий приземного давления, соответствующих моде, обеспечивающей усиление Трансдрифта (сверху), и временной ряд коэффициента Фурье этой моды с 1900 года (снизу).

Схема положительной обратной связи в системе «океан-лед-атмосфера»



Роль океана: **Атлантическая вода (АВ)**



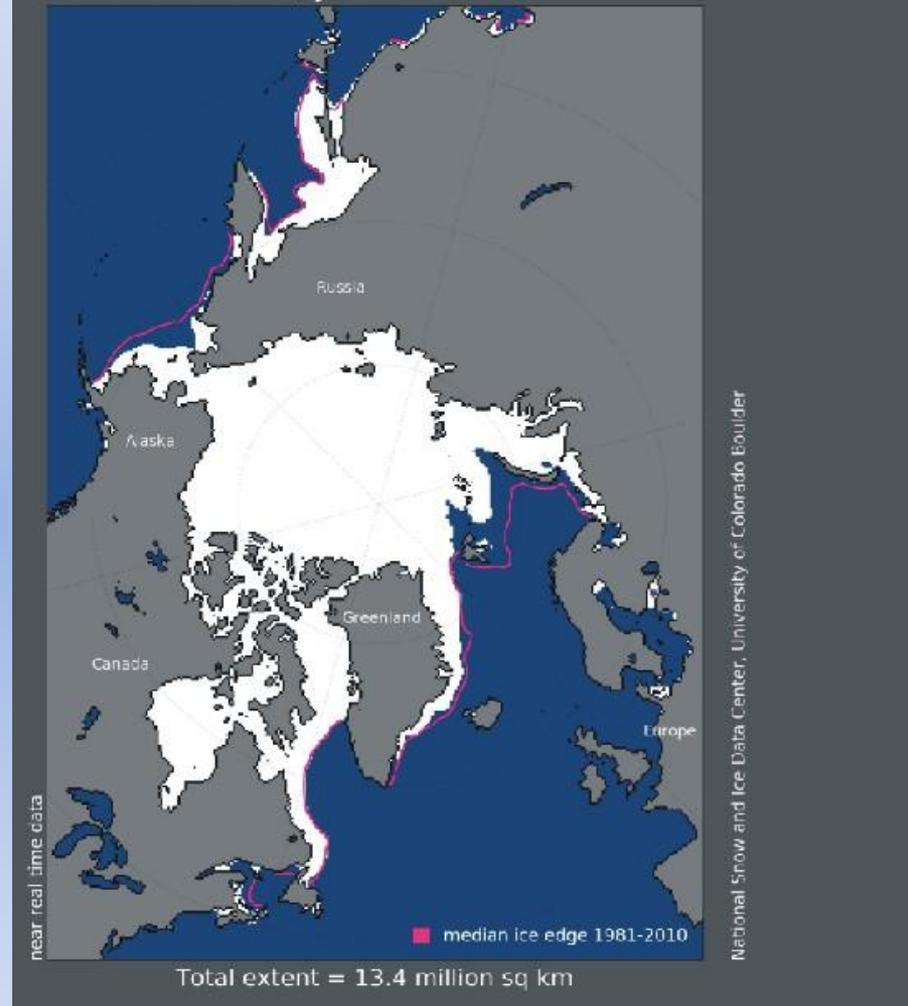
Траектории 2-х ветвей **АВ** показывают пути переноса океанского тепла в Арктический бассейн

Площадь льда в январе в 2015 г. и 2017

Sea Ice Extent
Jan 2015

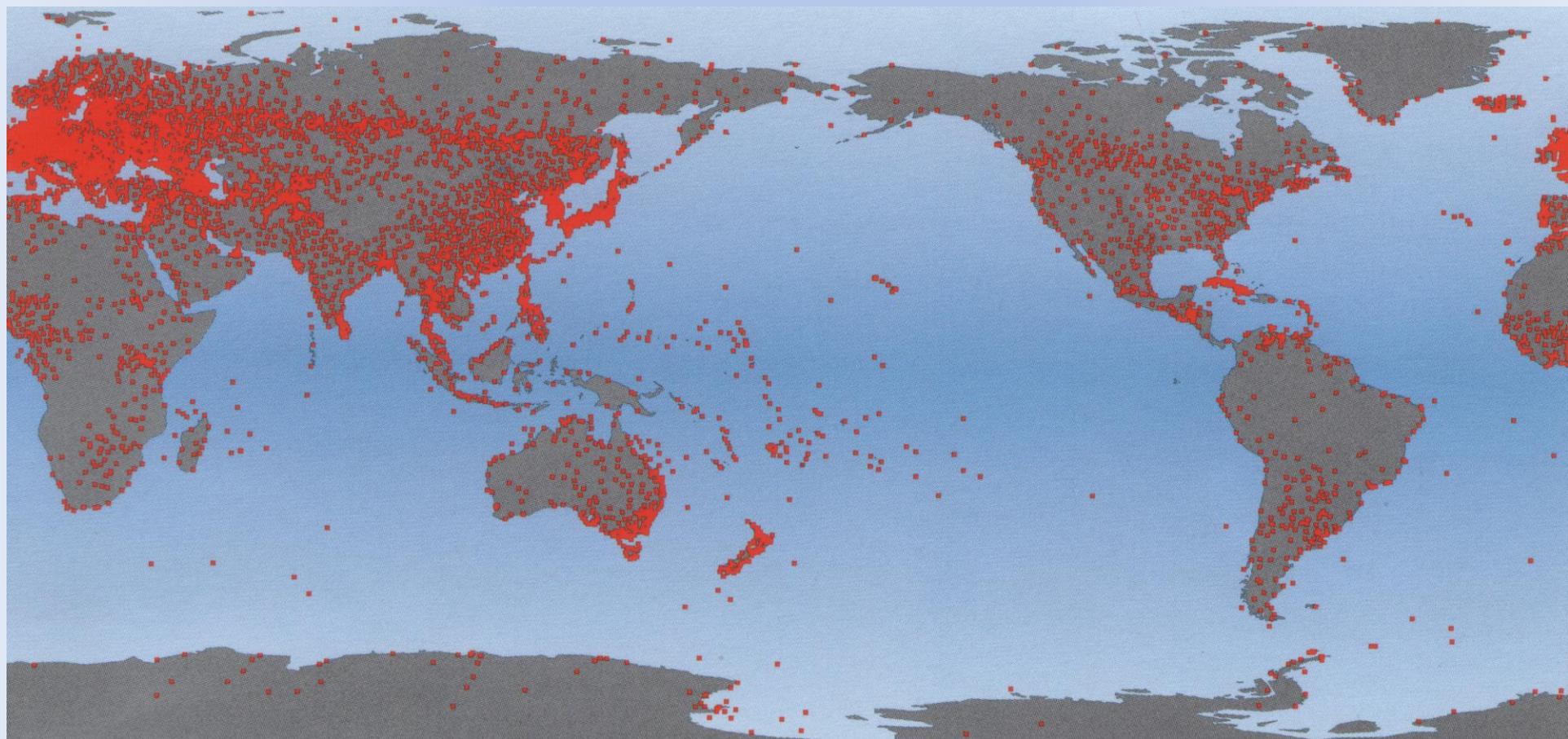


Sea Ice Extent, Jan 2017

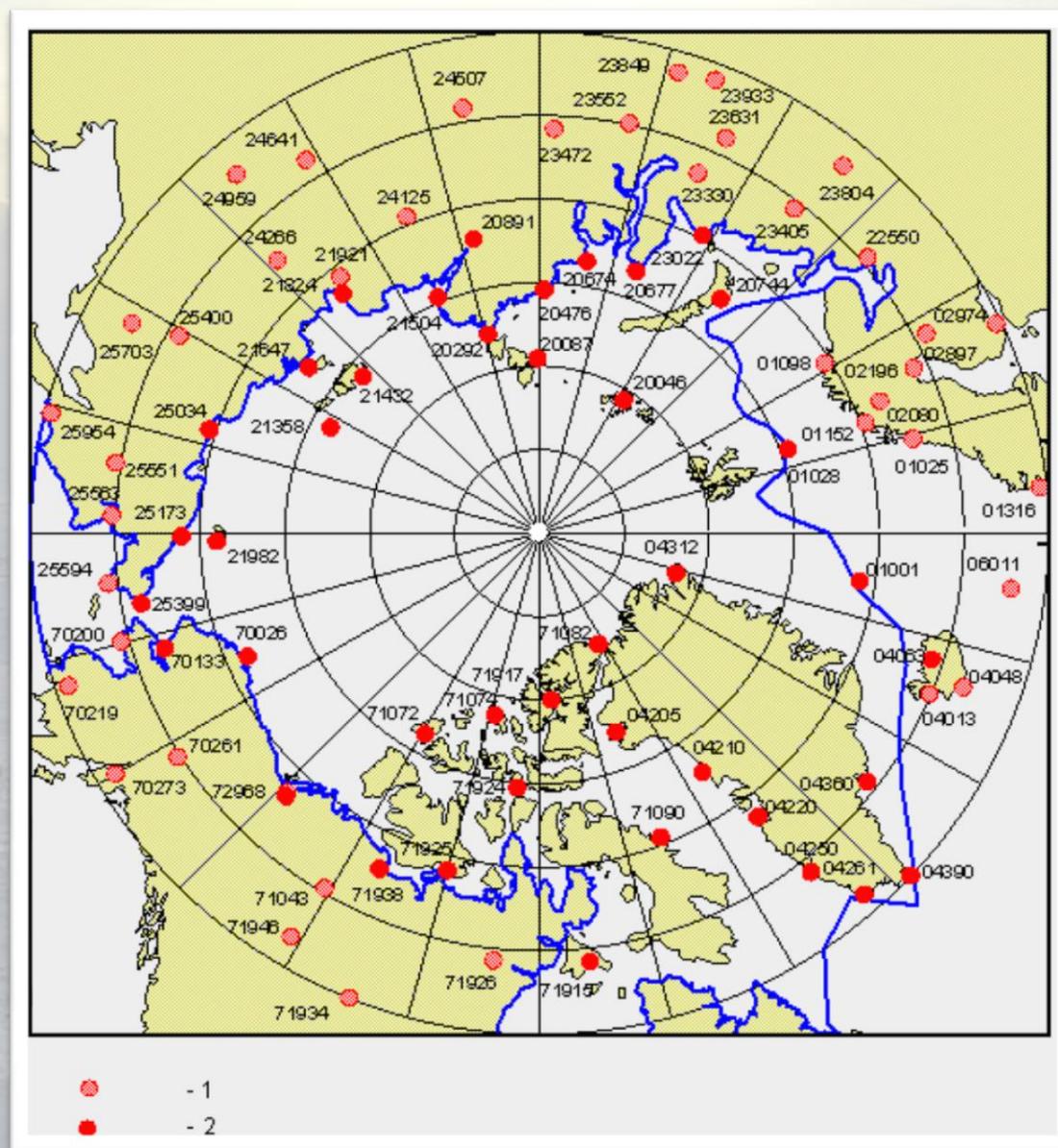


Системы наблюдений в Арктике

Всемирная метеорологическая организация



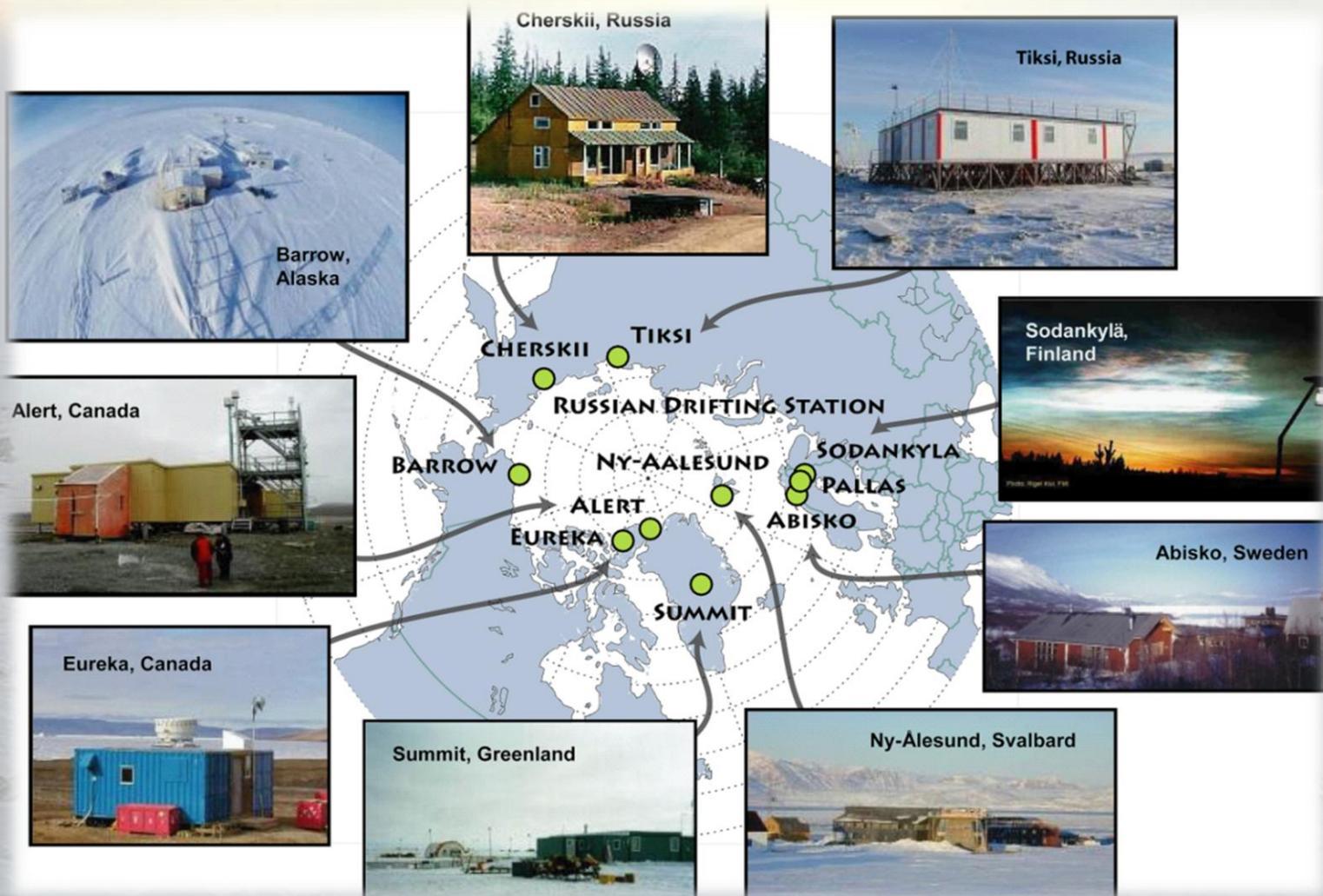
Гидрометеорологические станции, основанные ранее 1940 года



IASOA (International Arctic Systems for Observing the Atmosphere)

(www.iasoa.org)

Международная система атмосферных наблюдений в Арктике



Данные:

International Arctic Systems for Observing the Atmosphere (IASOA)

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/iasoa/dataataglance>

Tiksi 71.596 N 128.889 E

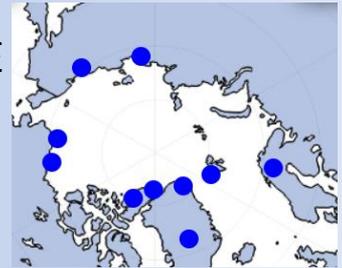
Barrow 71.325 N 156.625 W

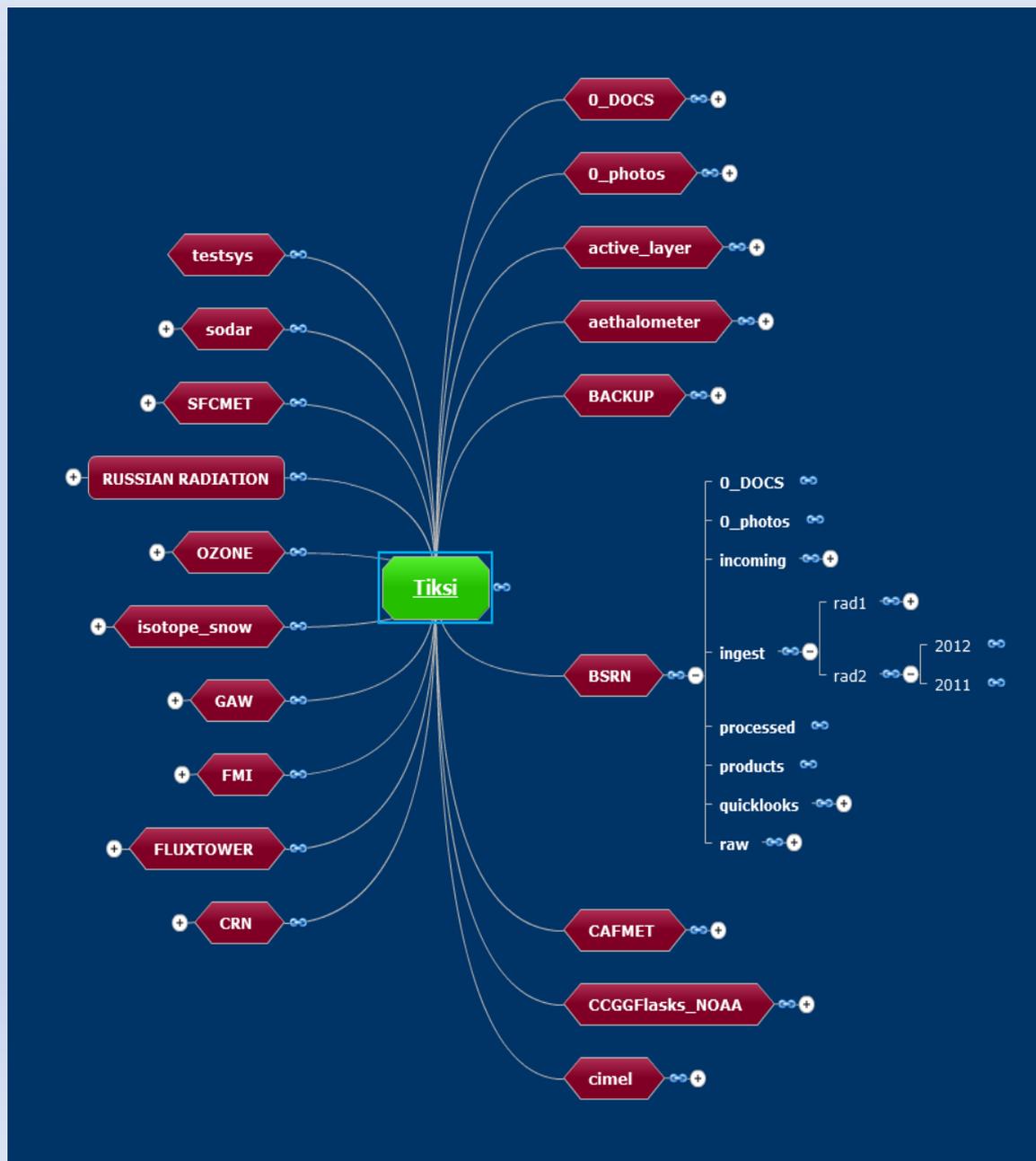
Eureka 80.083 N 86.417 W

Pallas-Sodankyla 67.967 N 24.117 E

Ny-Ålesund 78.923 N 11.53 E

Summit 72.58 N 38.48 W

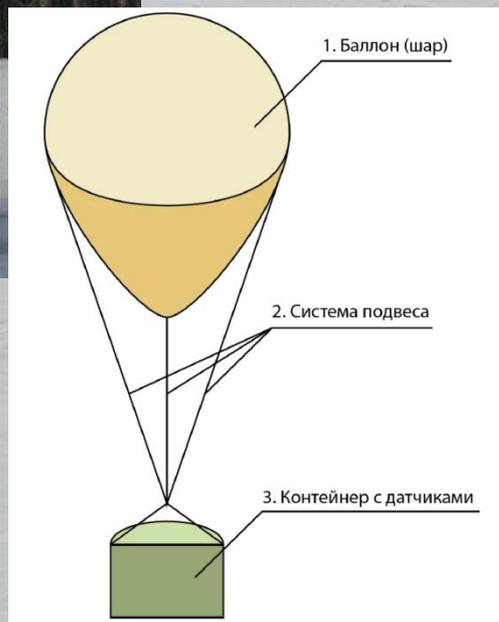




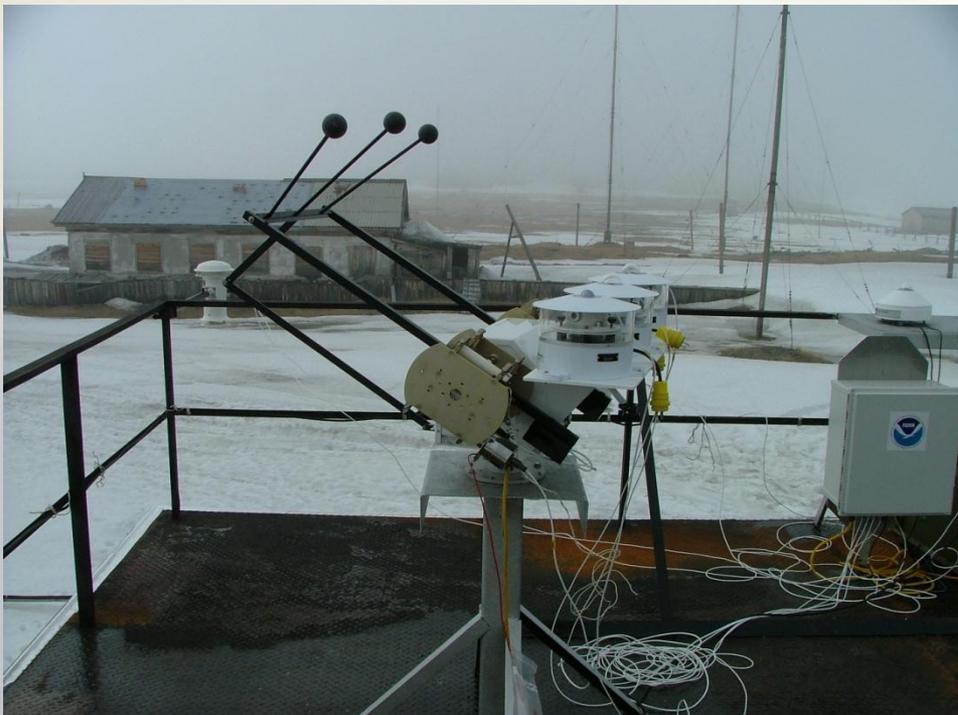
Стандартные метеорологические наблюдения



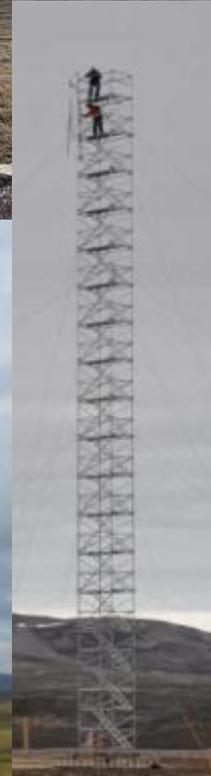
Аэрология



Измерения радиационного баланса



Метеорологические башни



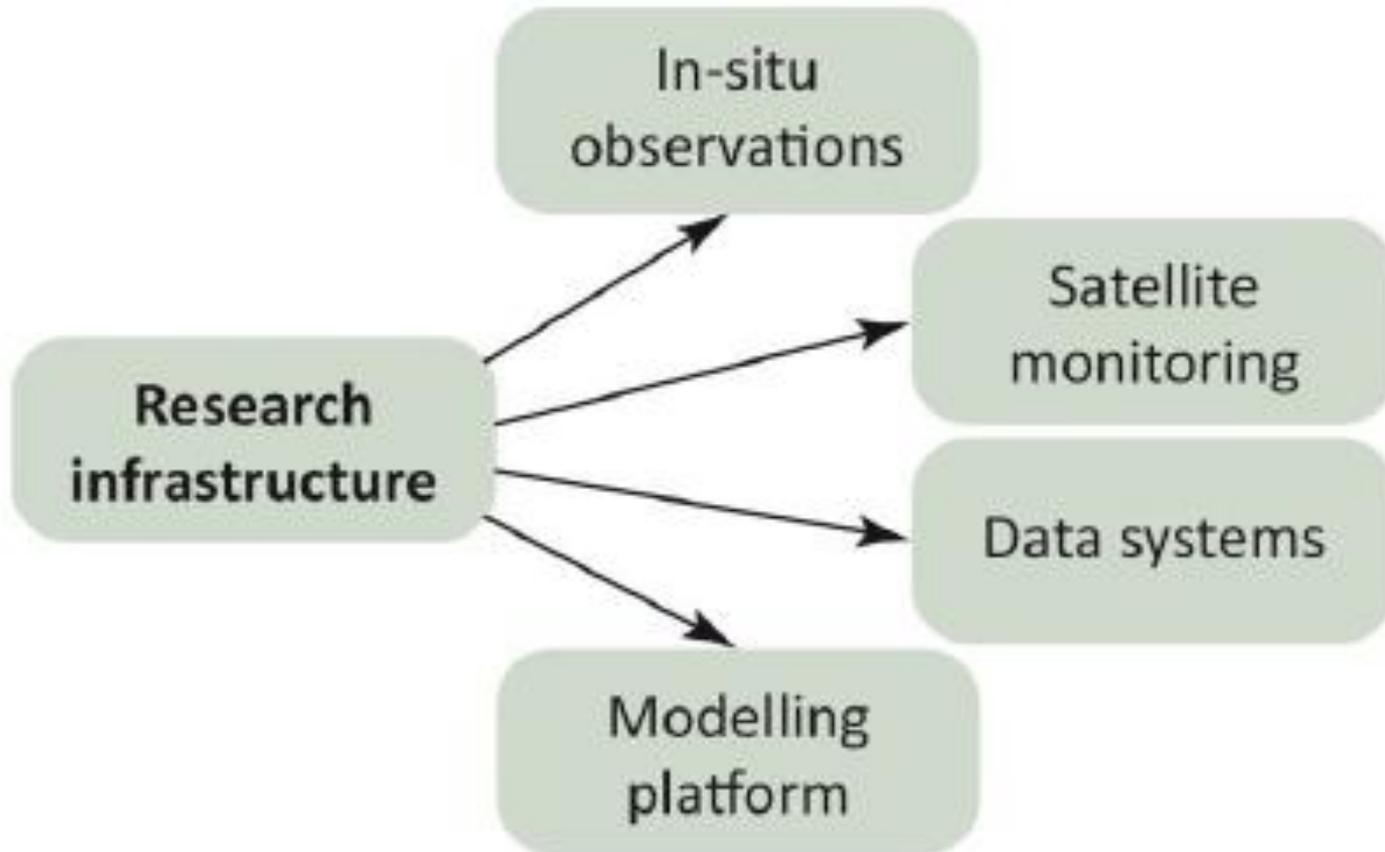
Измерение газового и аэрозольного состава атмосферы



(метан, углекислый газ, озон, малые газовые примеси, сажа, аэрозоли)

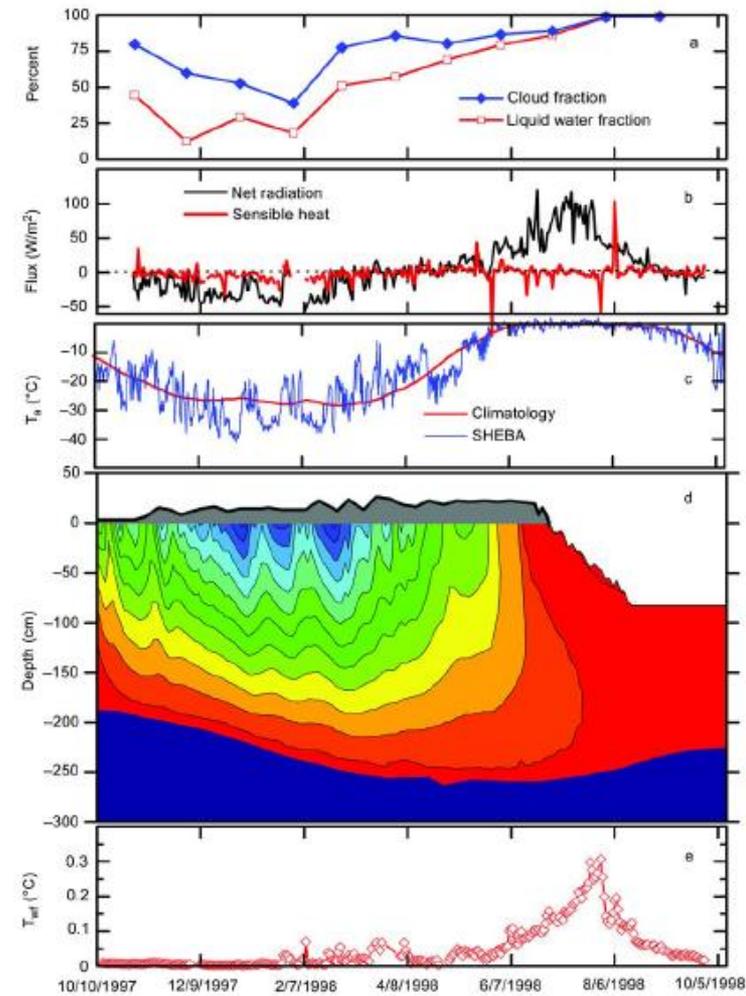


Pan-Eurasian Experiment (PEEX)



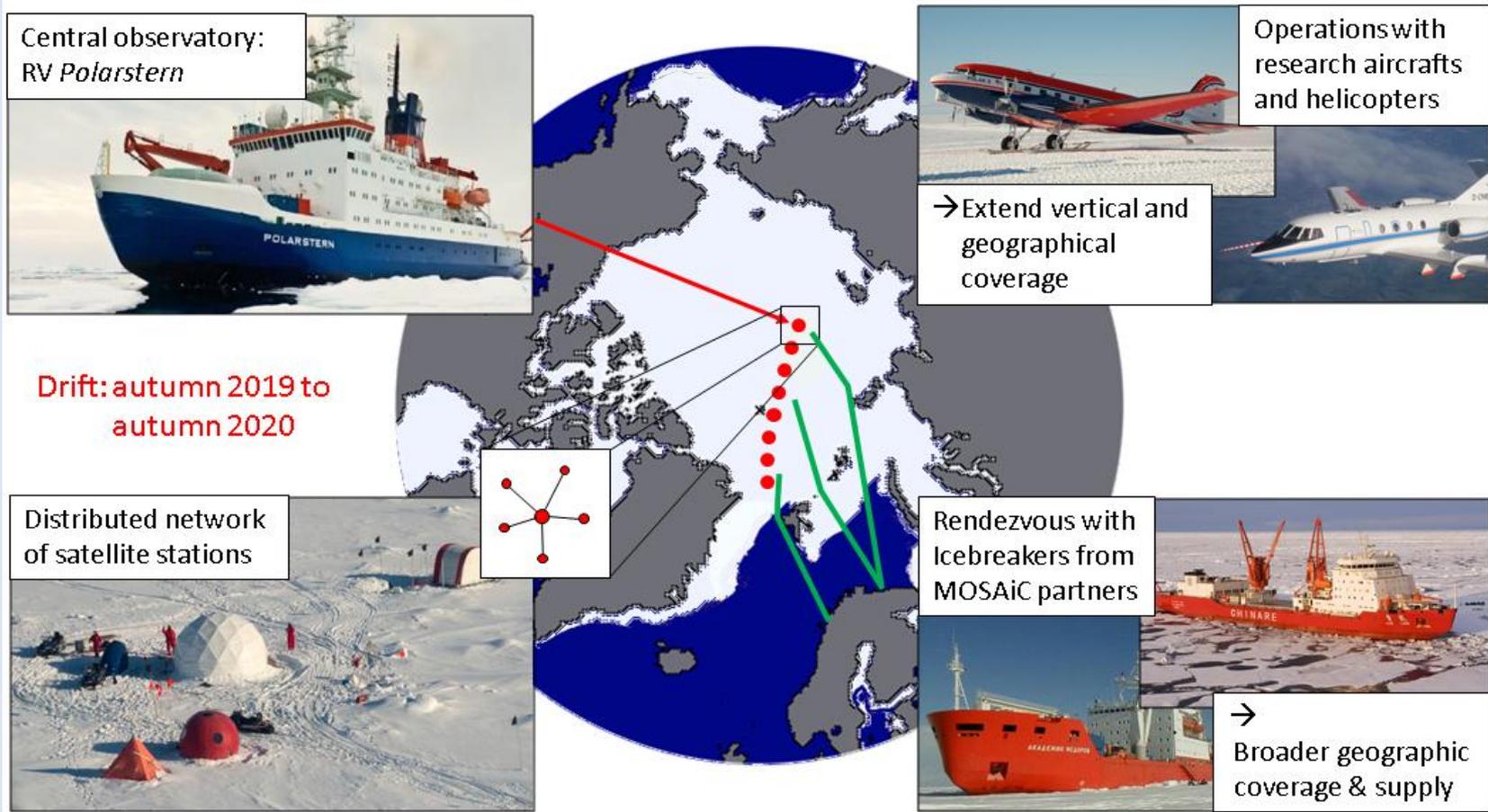
SHEBA: The Surface Heat Budget of the Arctic Ocean (1997-1998)

<http://www.eol.ucar.edu/projects/sheba>

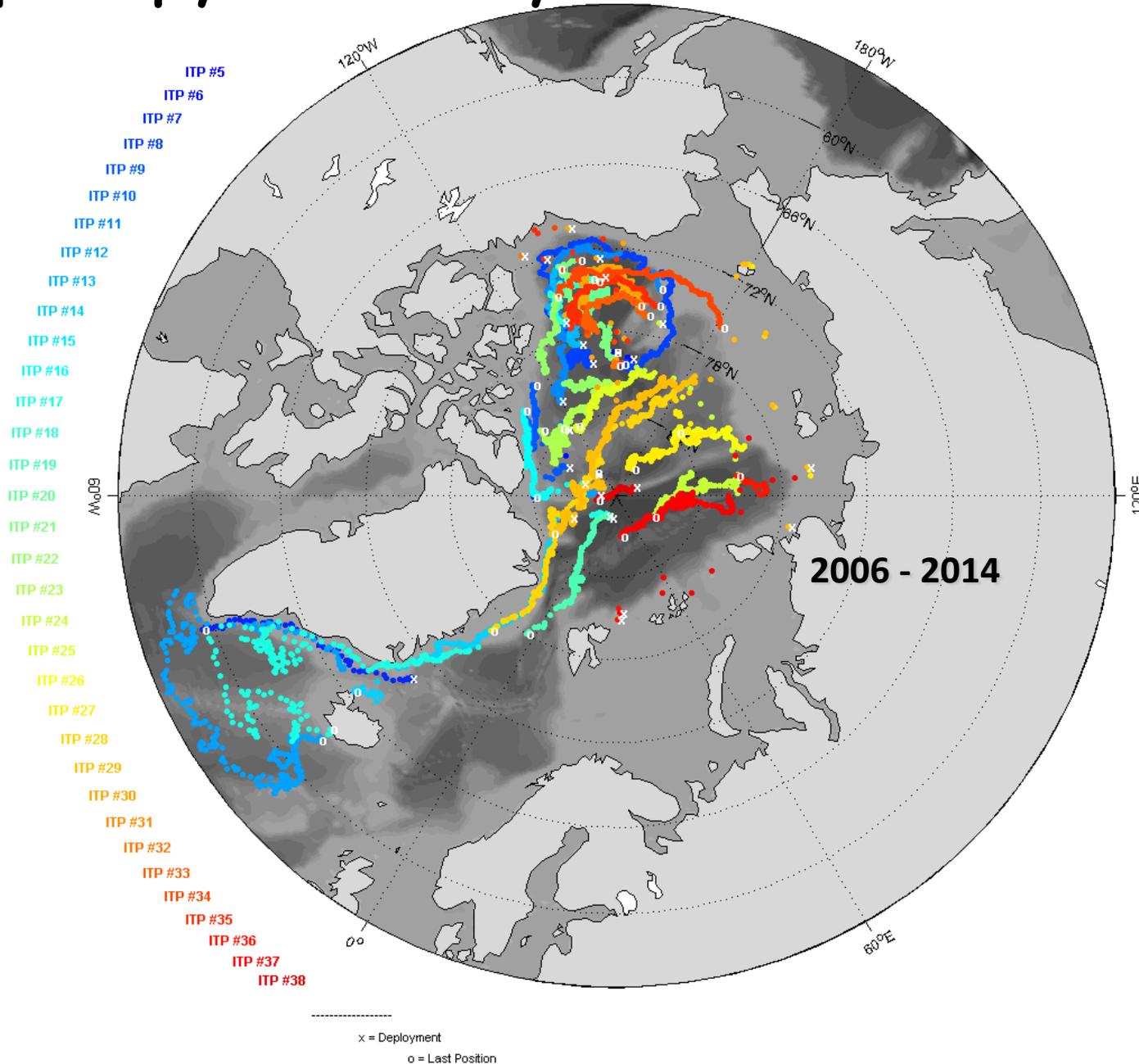


Эксперимент MOSAiC 2019-2020 гг

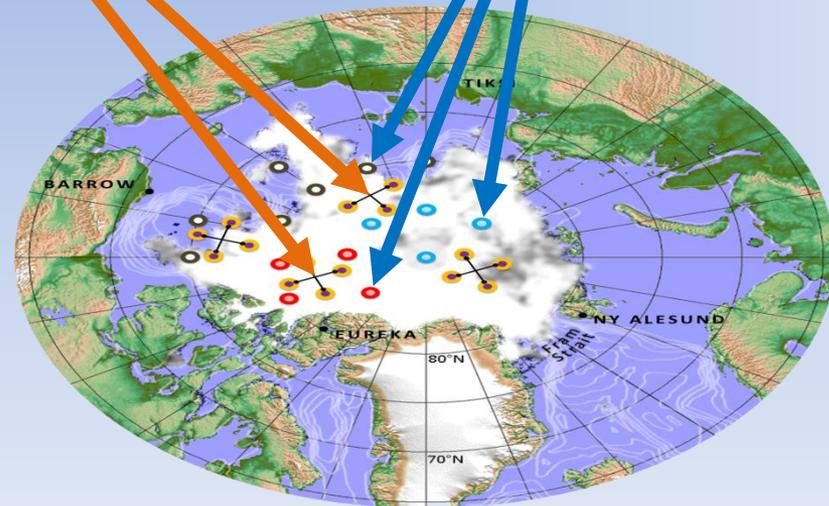
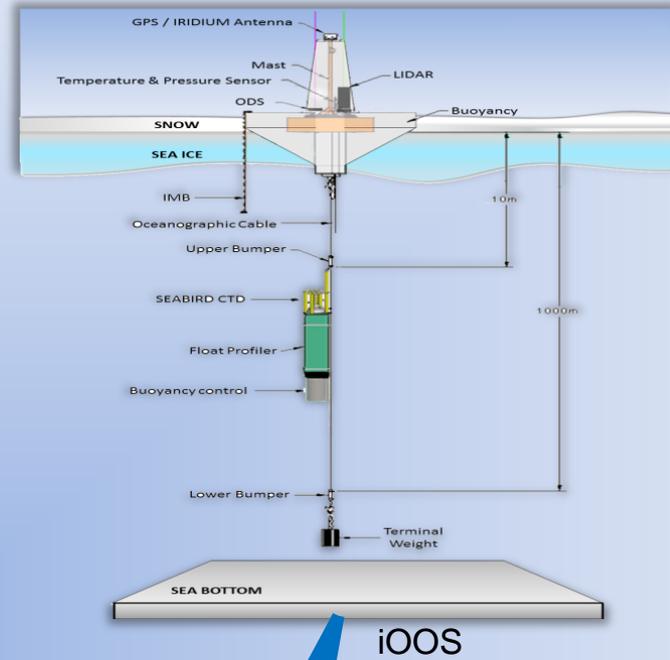
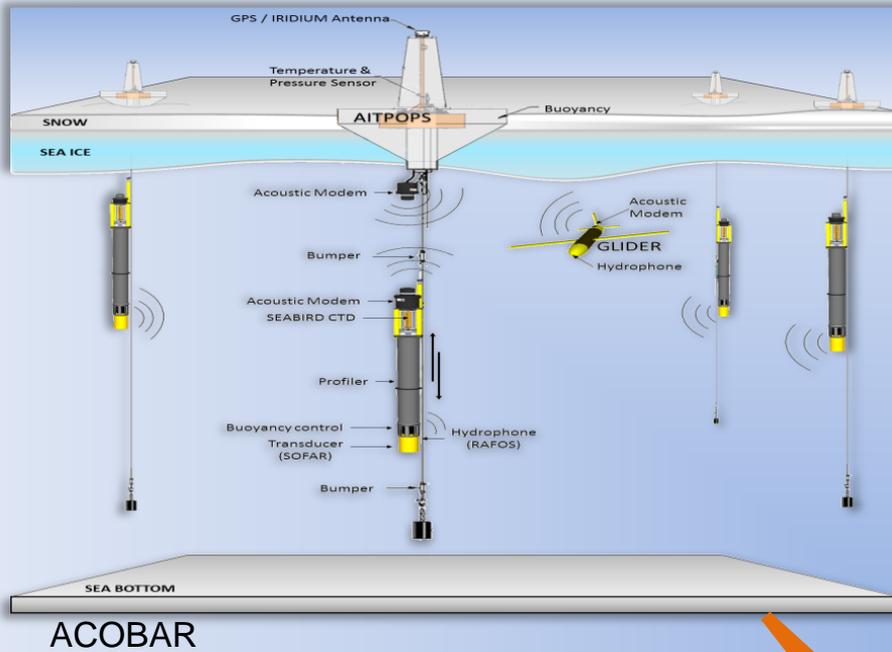
Суперобсерватория на дрейфующем льду



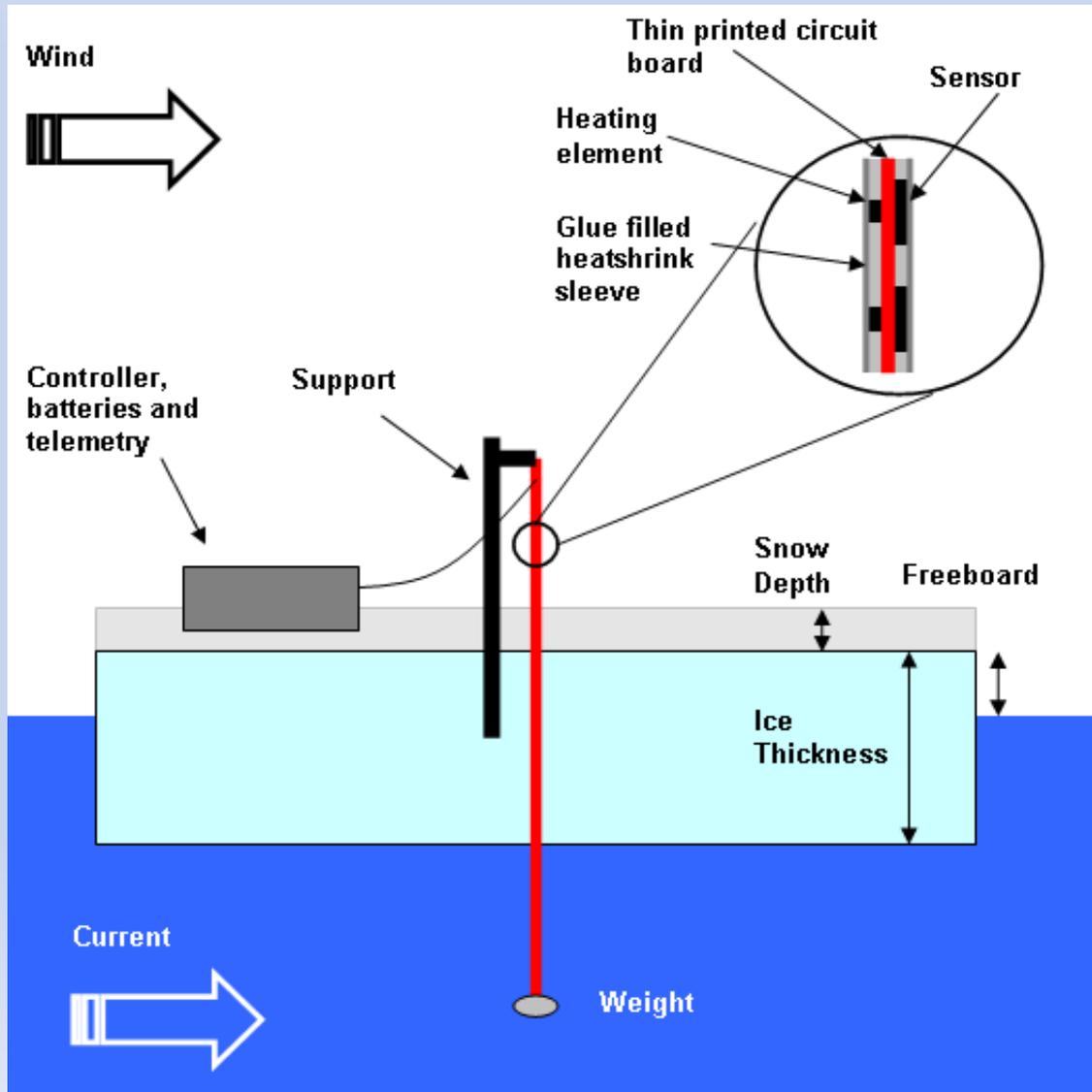
Дрейфующие буи



Комплексные автономные дрейфующие платформы

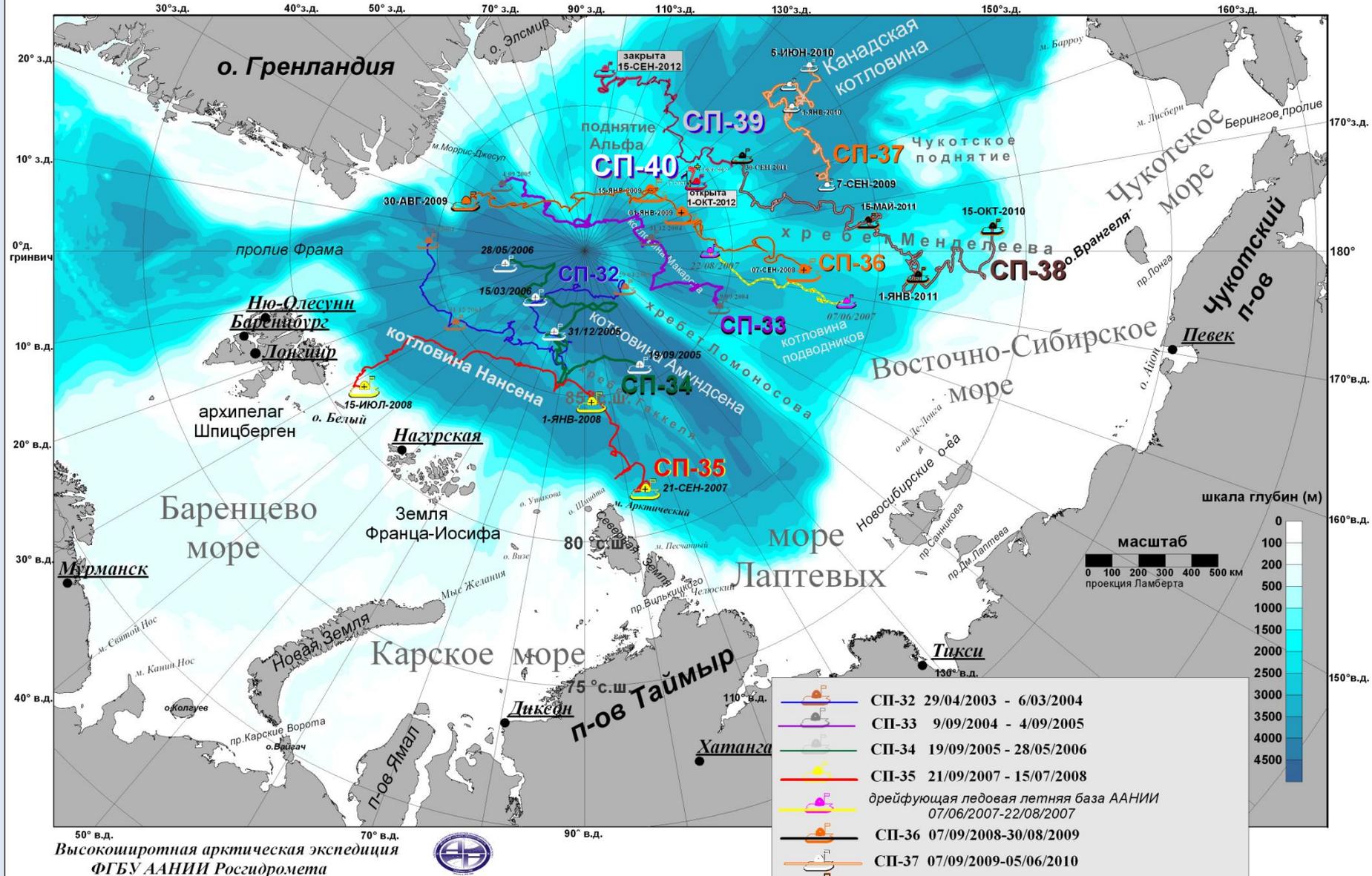


Балансовые буи



Российская дрейфующая станция «Северный полюс»

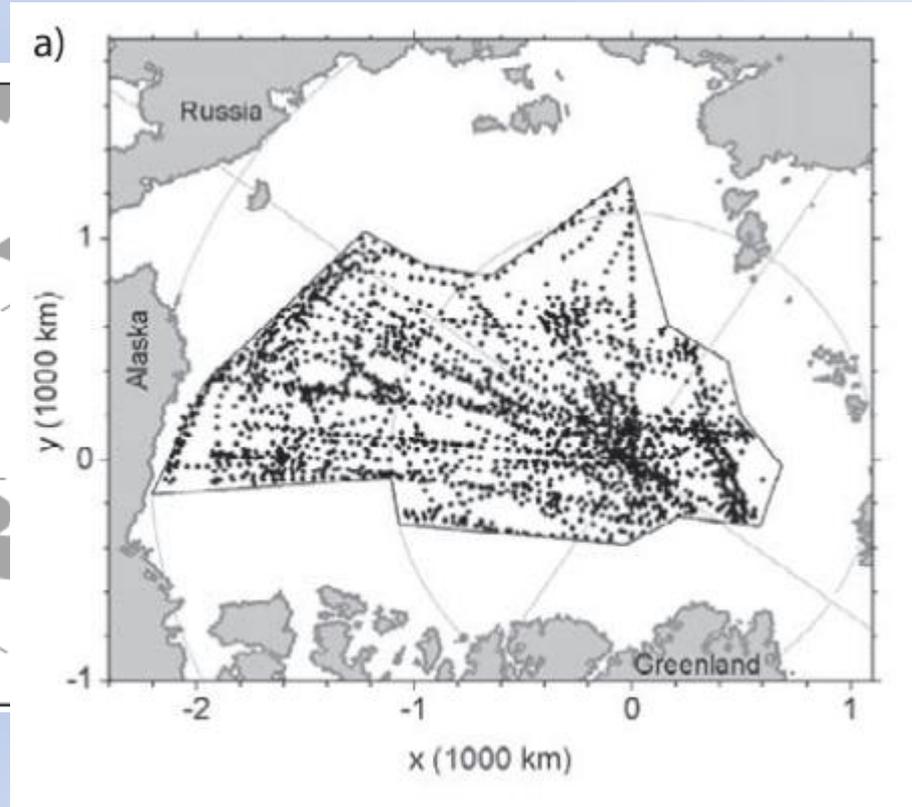
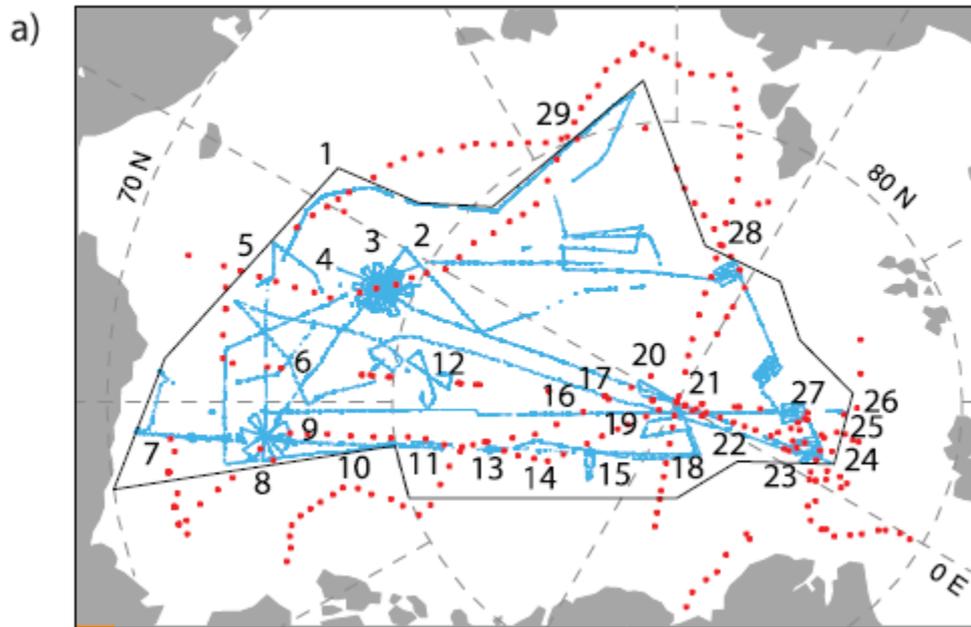
АРКТИКА



| | |
|--|---|
| | СП-32 29/04/2003 - 6/03/2004 |
| | СП-33 9/09/2004 - 4/09/2005 |
| | СП-34 19/09/2005 - 28/05/2006 |
| | СП-35 21/09/2007 - 15/07/2008 |
| | дрейфующая ледовая летняя база ААНИИ 07/06/2007-22/08/2007 |
| | СП-36 07/09/2008-30/08/2009 |
| | СП-37 07/09/2009-05/06/2010 |
| | СП-38 15/10/2010 - 29/09/2011 <i>стоящее время</i> |
| | СП-39 30/09/2011 - 15/09/2012 |
| | СП-40 01/10/2012 <i>по настоящее время</i> |

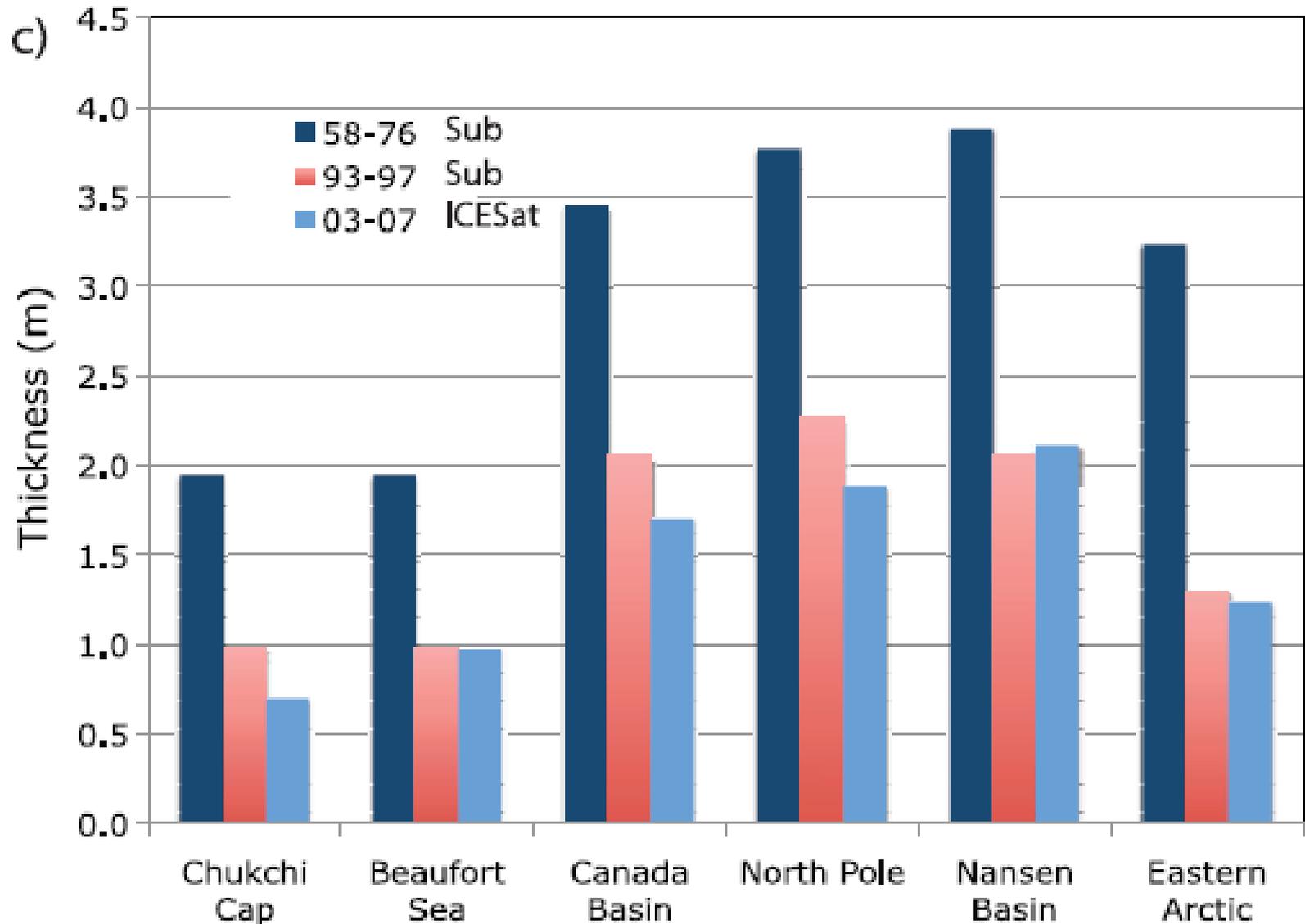
Измерение толщины льда с подводных лодок - США

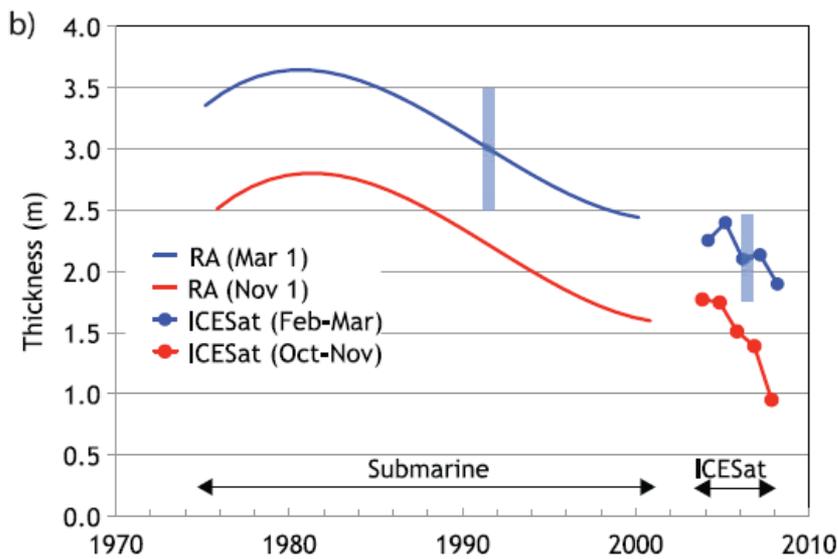
42 Лет 1958 с 2000 - 38% Северного ледовитого океана



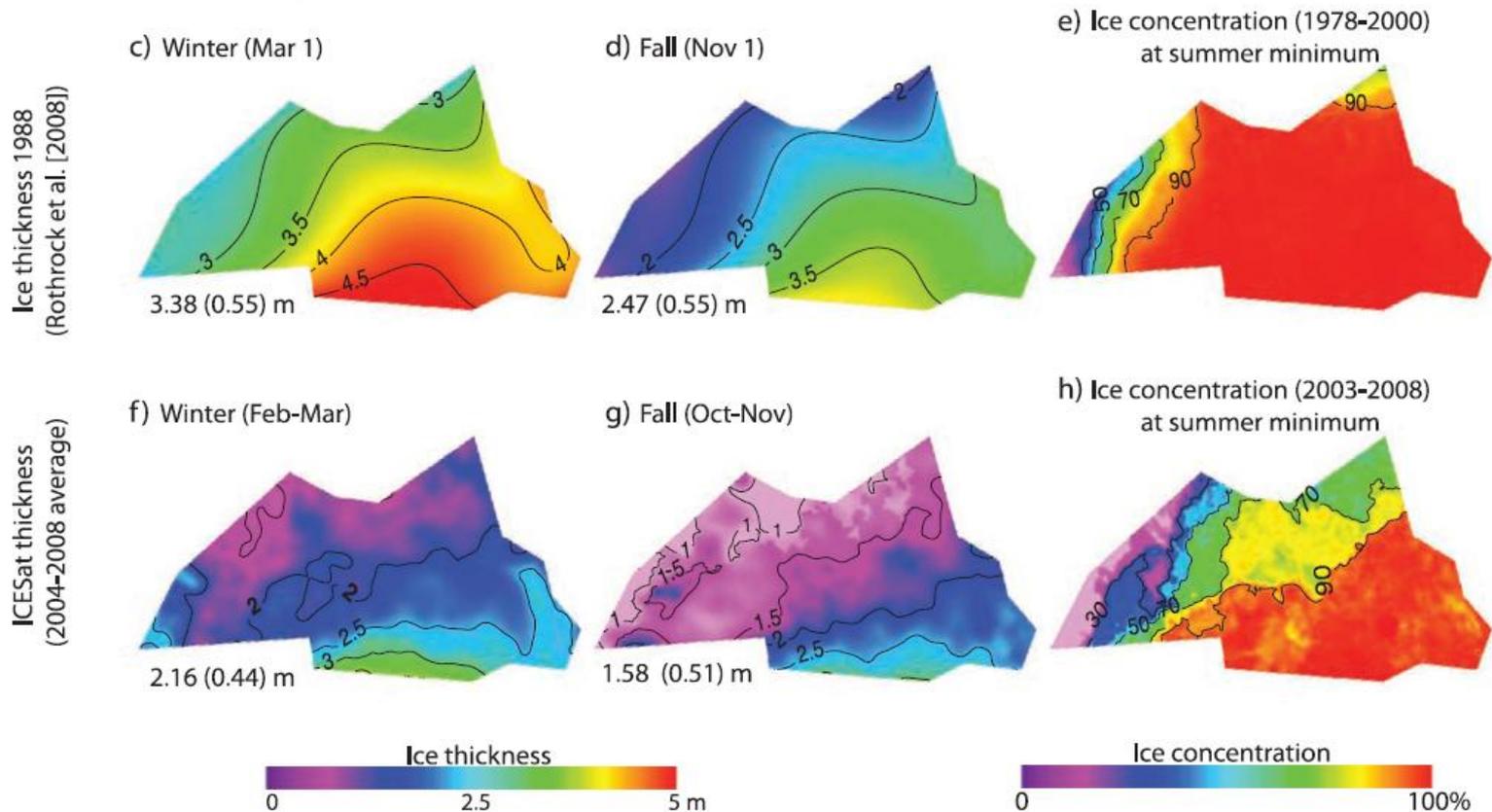
National Snow and Ice Data Center (2006), Submarine upward looking sonar ice draft profile data and statistics, <http://nsidc.org/data/g01360.html>, Boulder, Colorado

Средняя толщина льда шести регионов за три периода (1958–1976, 1993–1997, 2003–2007).





Interannual changes in winter and summer ice thickness. (c, d) Spatial patterns of ice thickness in winter (Feb–Mar) and fall (Oct–Dec) of 1988. (e) Mean sea ice concentration at summer minimum (1978–2000). (f, g) Spatial patterns of mean winter (Feb–Mar) and fall (Oct–Dec) ice thickness from ICESat (2003–2008). (h) Mean sea ice concentration at summer minimum (2003–2008).





Спутниковые методы



Снег

Площадь покрова

Увлажненность снега

Высота снежного покрова

Лед

Площадь и сплоченность

Возраст и тип

Толщина

Движение

Температура поверхности

Толщина снежного покрова

Полыньи и разводья

Суша, мерзлота

Температура поверхности

Увлажненность почвы

Индекс вегетации

Атмосфера

Профили температуры и влажности

Приповерхностный ветер

Геострофический ветер

Температура приземного воздуха

Температурные инверсии

Приходящая радиация

Покрытие облаков

Микрофизика и высота облачности

Оптическая толщина облаков

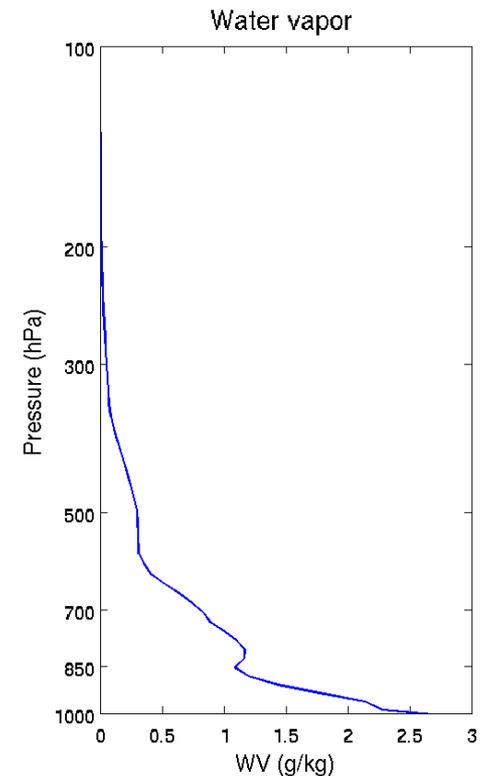
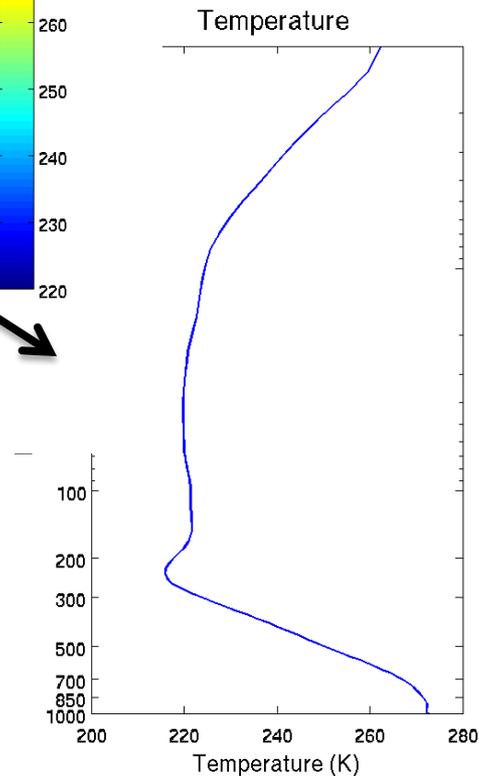
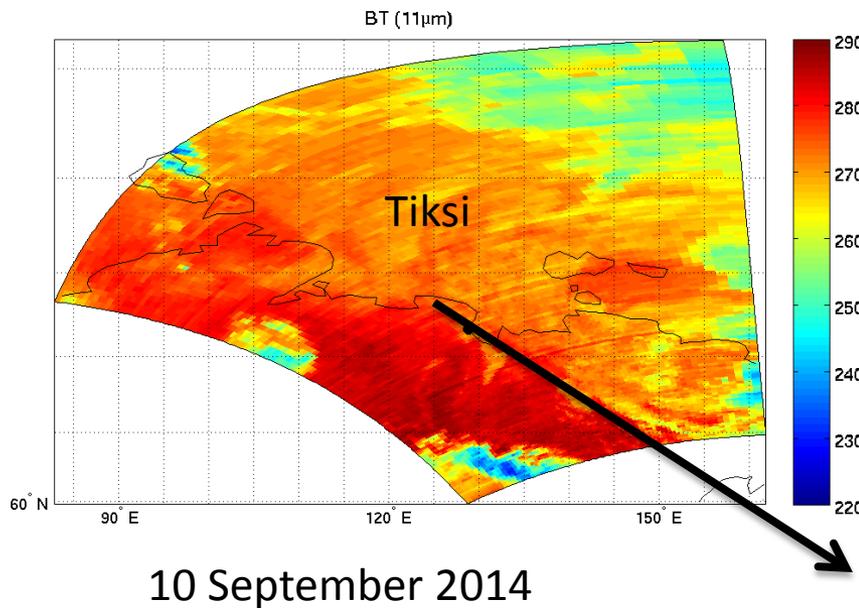
Оптическая толщина аэрозоля

Твердые осадки

(определимы; методы определения разрабатываются; плохо определимы)

Профили температуры и влажности по данным спектометра AIRS

Профили, полученные с помощью гиперспектральных инструментов имеют хорошее вертикальное разрешение, что важно для фиксации температурных инверсий

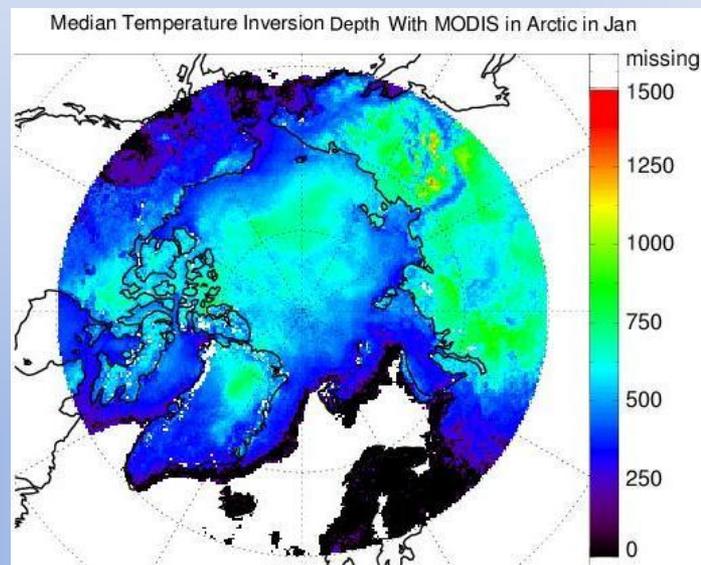
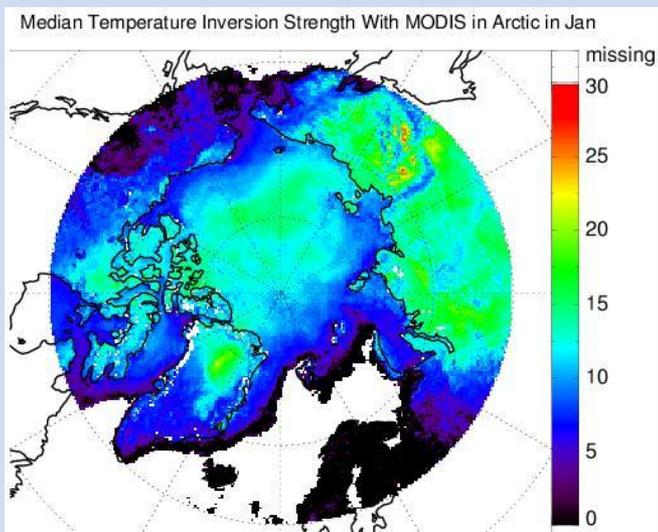


Температурные инверсии: точность оценки 2-3 °C по мощности и 150-200 м. по высоте

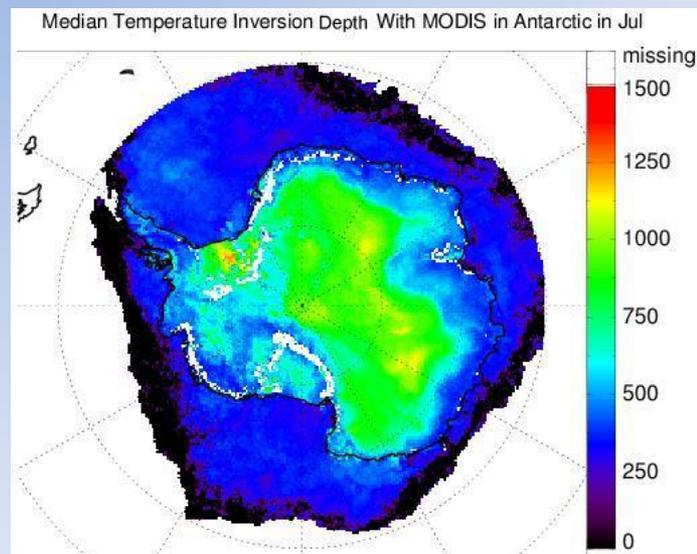
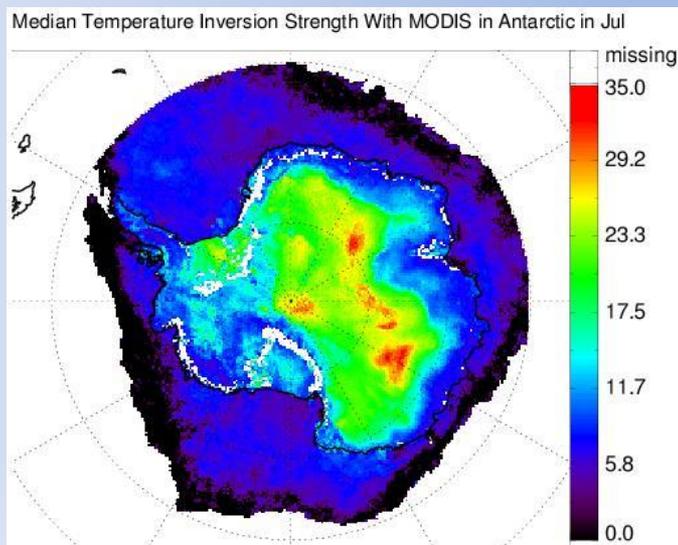
Мощность (C)

Высота (m)

Январь



Июль



Исследование льда со спутников:

Отраженное солнечное излучение (0,4-3 мкм):

Видимый диапазон (0,4-1,1 мкм)

Ближняя ИК область (1,1-2,5 мкм)

AVHRR, SeaWiFS, MODIS, GOES Imager, Landsat, ASTER, MERIS

Площадь покрытия
снега, льда,
структура льда

Отраженное тепловое излучение (3-14 мкм):

ИК диапазон (3-5 мкм и 8-14 мкм)

СВЧ (микроволновое) излучение (1-20 мм)

– AVHRR, MODIS, SSM/I, TMI, AMSR-E,2

Площадь покрытия
снега, льда, структура
льда, возраст и толщина
льда

Активное микроволновое зондирование:
(Радиолокаторы синтезированной апертуры)

7-20 см

Структура, площадь,
движение льда

Non-Imaging
Альтиметры и лидары

Толщина льда

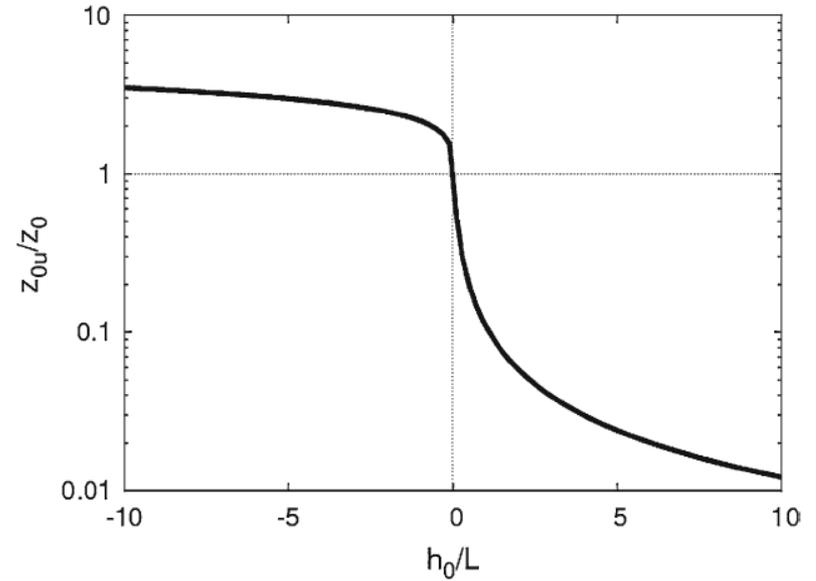
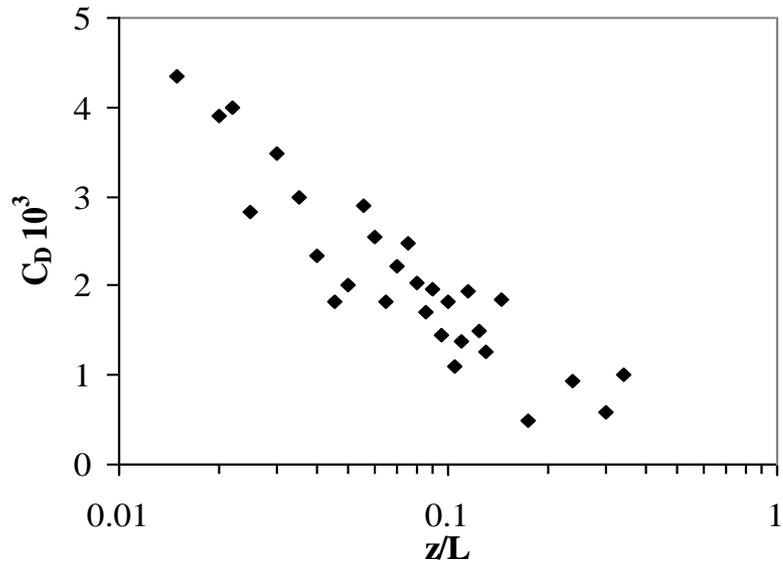
Проблемы моделирования атмосферных процессов в Арктике

Основные проблемы параметризаций и воспроизведения физических процессов в численных моделях прогноза погоды в Арктике

- 1. Слоисто-кучевые облака со смешанной фазой**
- 2. Устойчивый пограничный слой**
- 3. Неоднородная подстилающая поверхность: торосы, разводья и полыньи, снежницы**
- 4. Мезомасштабные процессы): кatabатические ветры, полярные мезоциклоны**

Dependence of drag coefficient on stability parameter over the hummocked surface.

(S.S. Zilitinkevich et al. 2008)

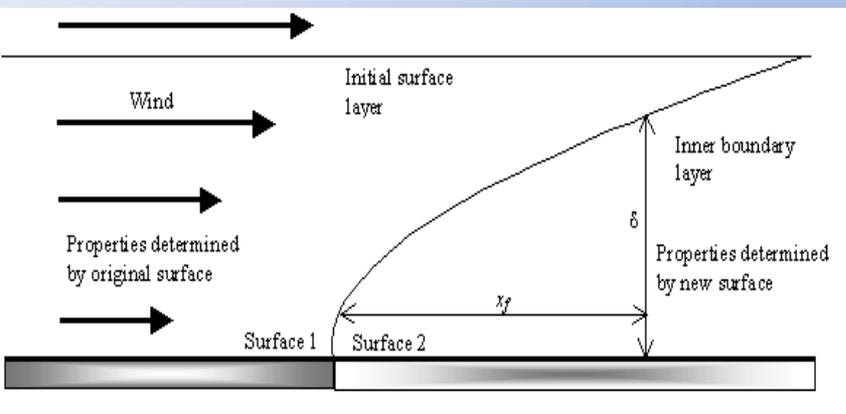


Характерные черты ледяного покрова

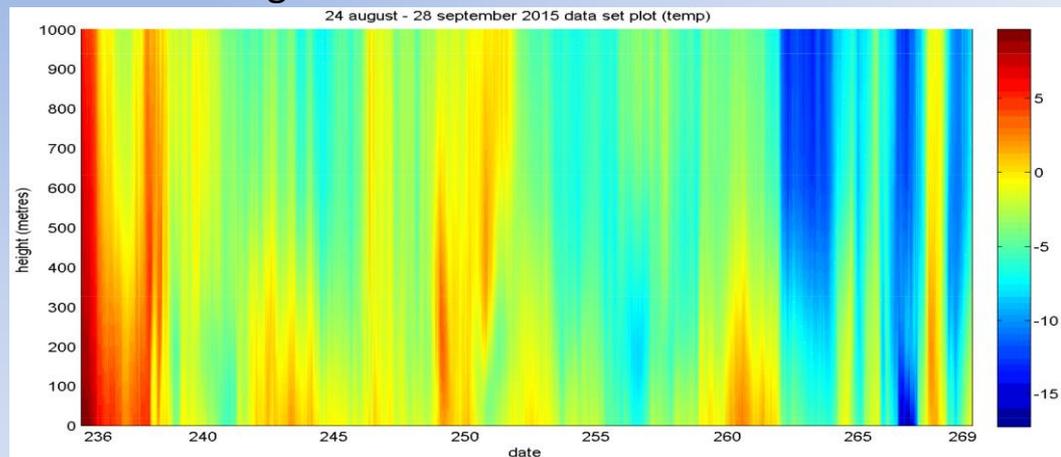
- Горизонтальная изменчивость
 - мелкомасштабная (м, км)
 - крупномасштабная (регионы)
- Вертикальная изменчивость
- Временная изменчивость
- Пространственная неоднородность



Inner boundary layer formation



Arctic atmospheric boundary layer temperature time-height section



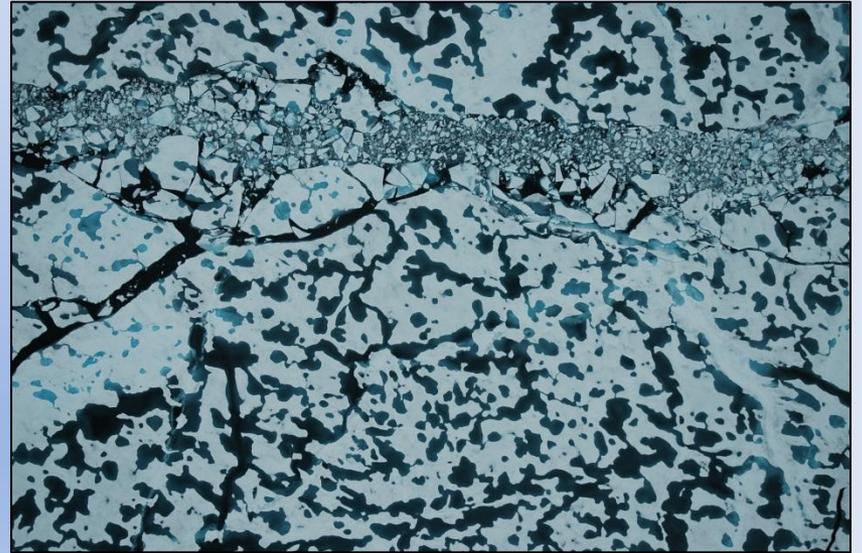
Торосы



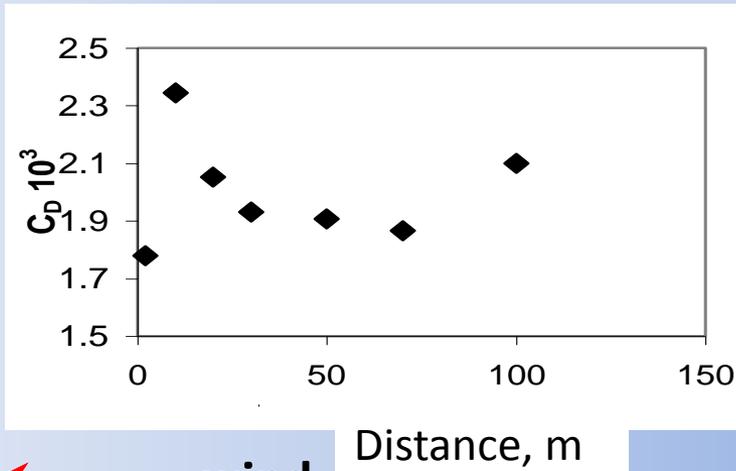
Трещины



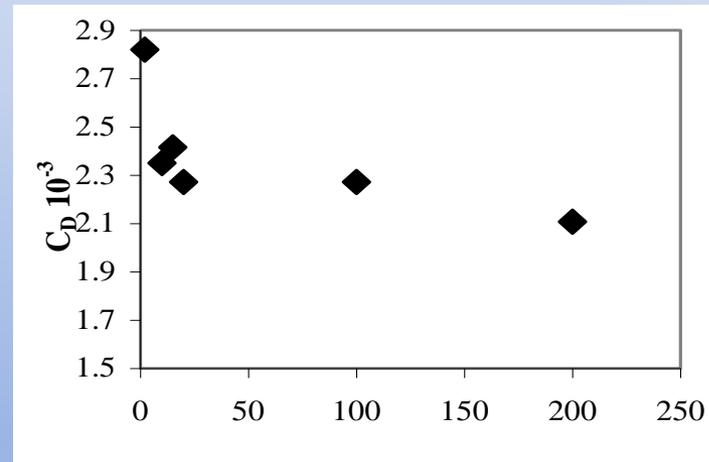
Снежницы



The dependence of the drag coefficient, obtained from direct measurements of the distance from the ridges.



← wind

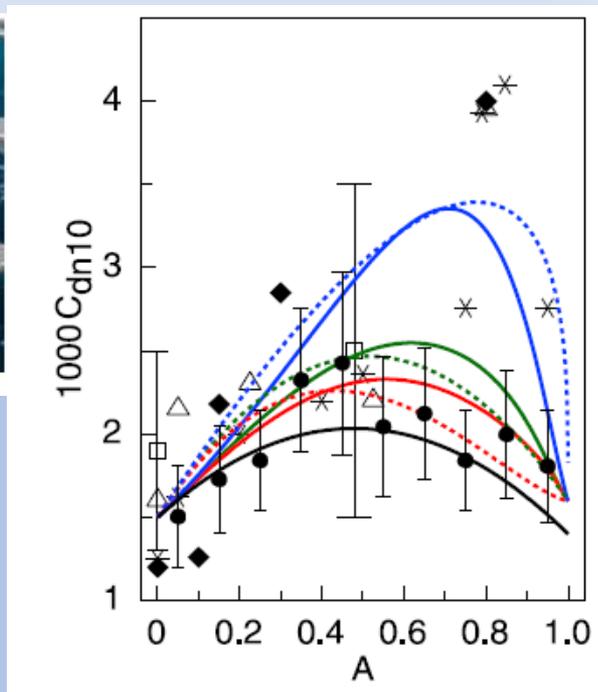


→ wind

The dependence of the drag coefficient of the average height of the hummocks

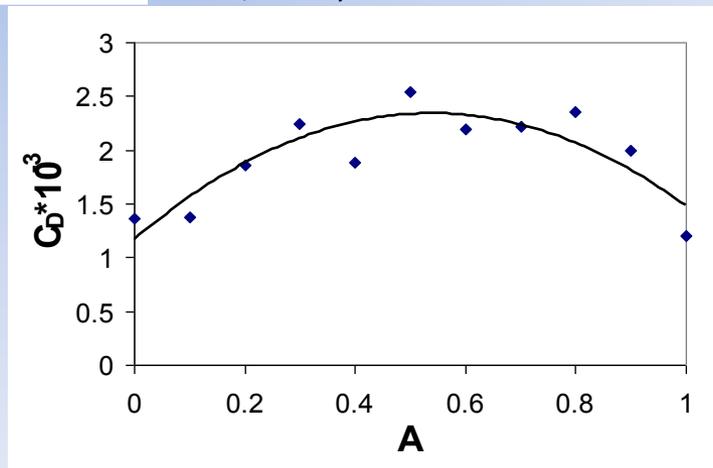
$$C_D \cdot 10^3 = 1.4 + 0.2 \ln E$$

Sea ice morphological structure: marginal sea ice zone, melt pond and leads



Drag coefficients as a function of the sea ice concentration (A) (Lüpkes et al, 2012)

$$10^3 C_{D10} = 1.17 + 4.34A(1 - A^2)$$



Мезомасштабные процессы в высоких широтах

- Фены (бора), барьерные эффекты, «мысовые» струи (tip jets), щелевые ветры, полярные мезоциклоны

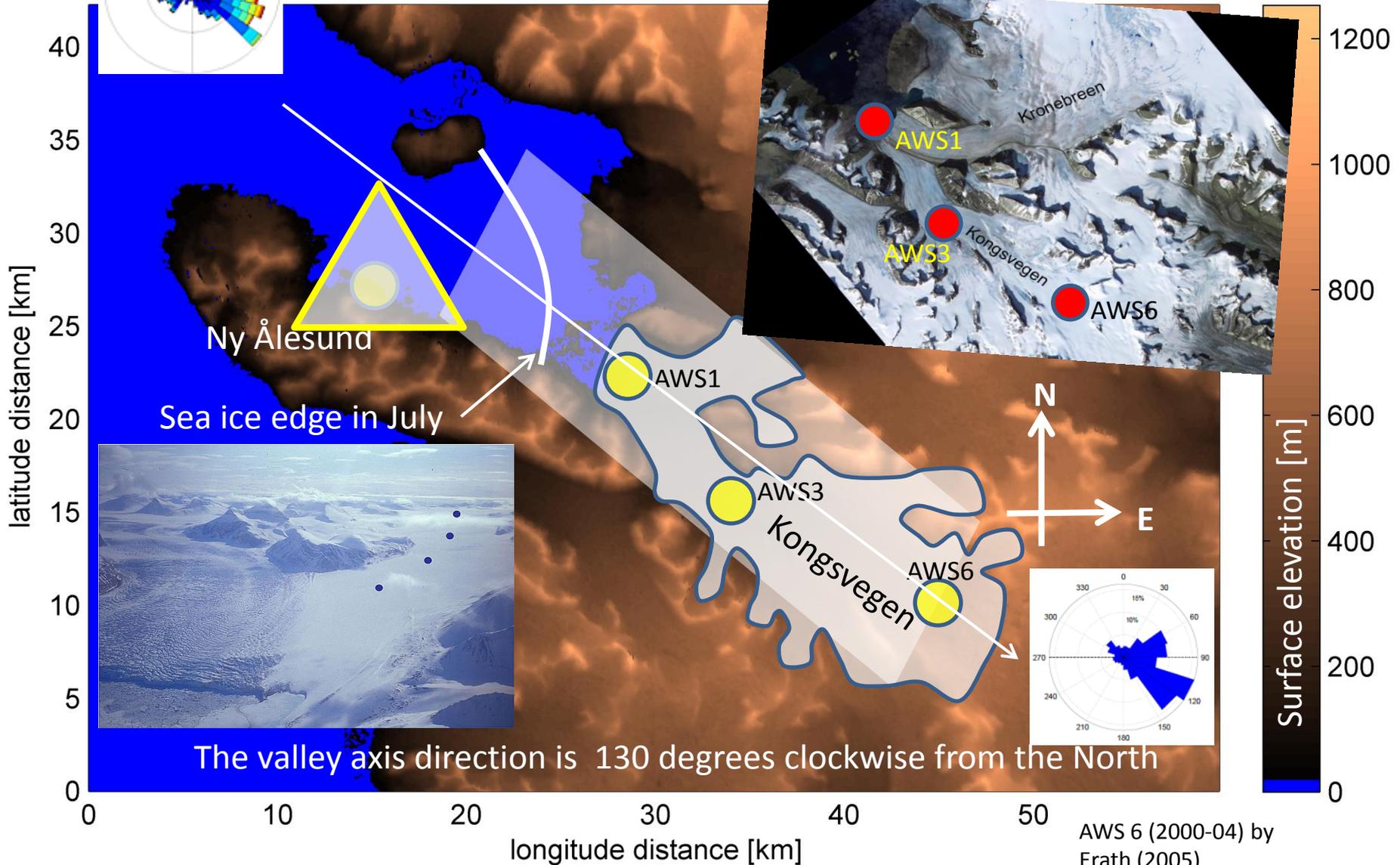
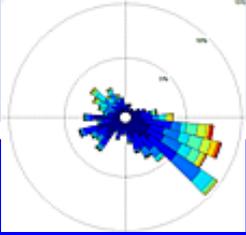
- с ними связаны наиболее экстремальные погодные условия

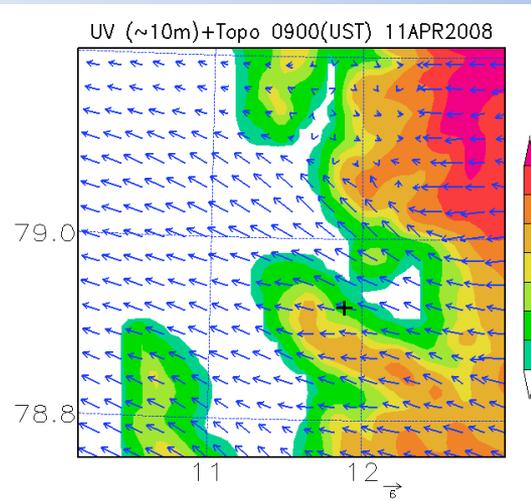
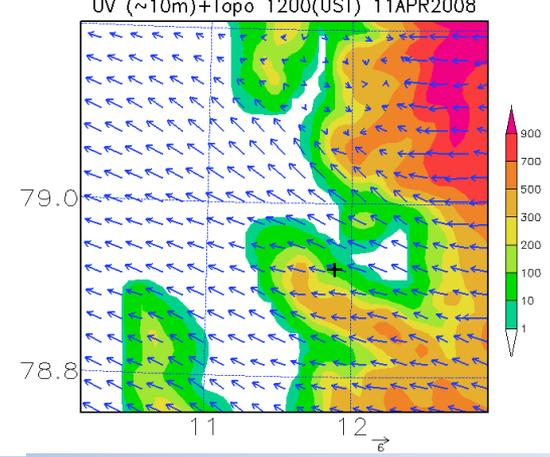
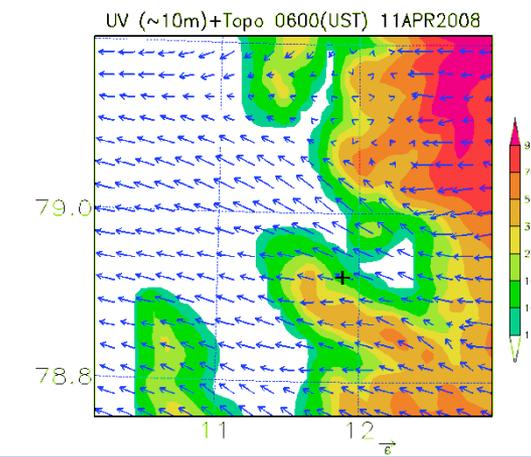
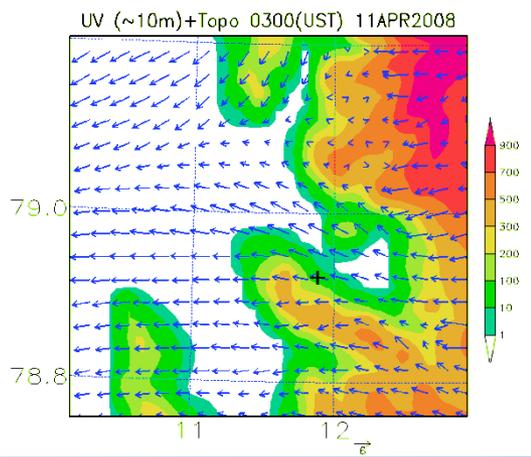
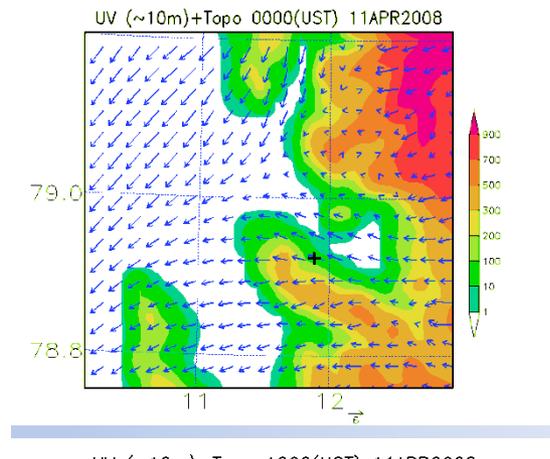
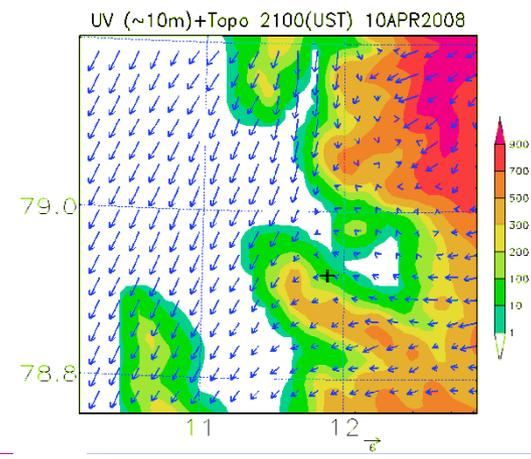
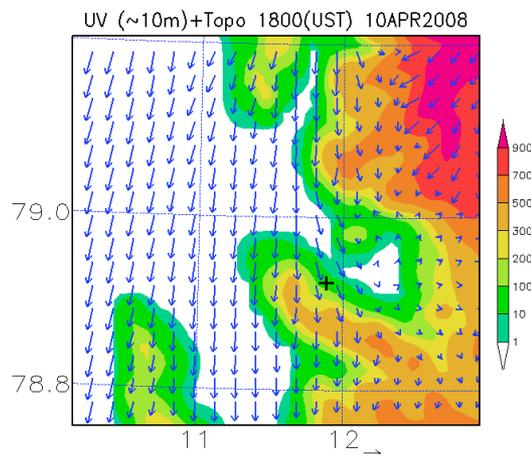
- чувствительность модельных циркуляций к разрешению

- роль параметризации обмена с поверхностью

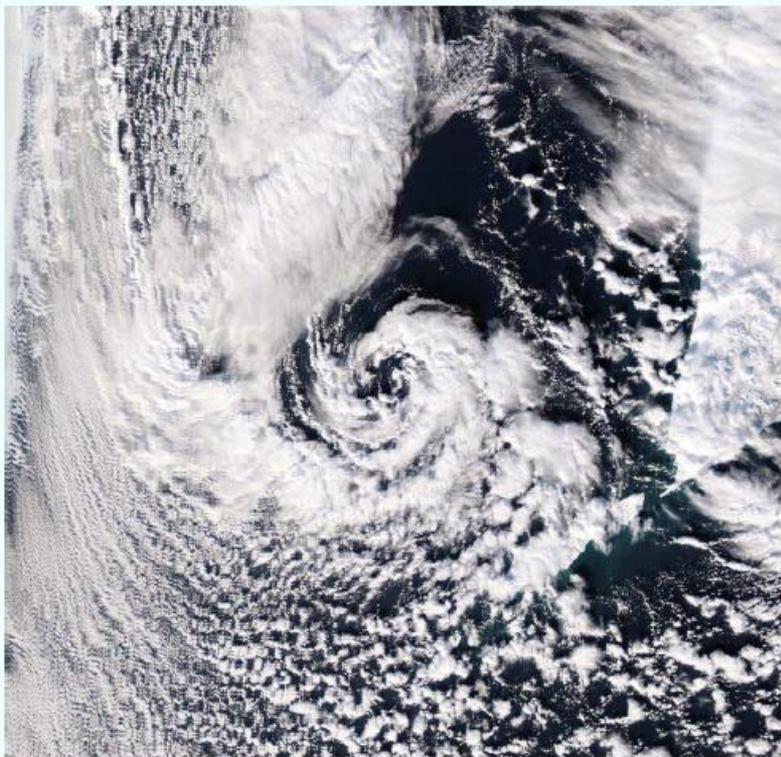
Наблюдения

Ny Alesund (1992-08)





Результат моделирования кататического потока с помощью мезомасштабной модели в районе зарива Кингсфьорден (Шпицберген)

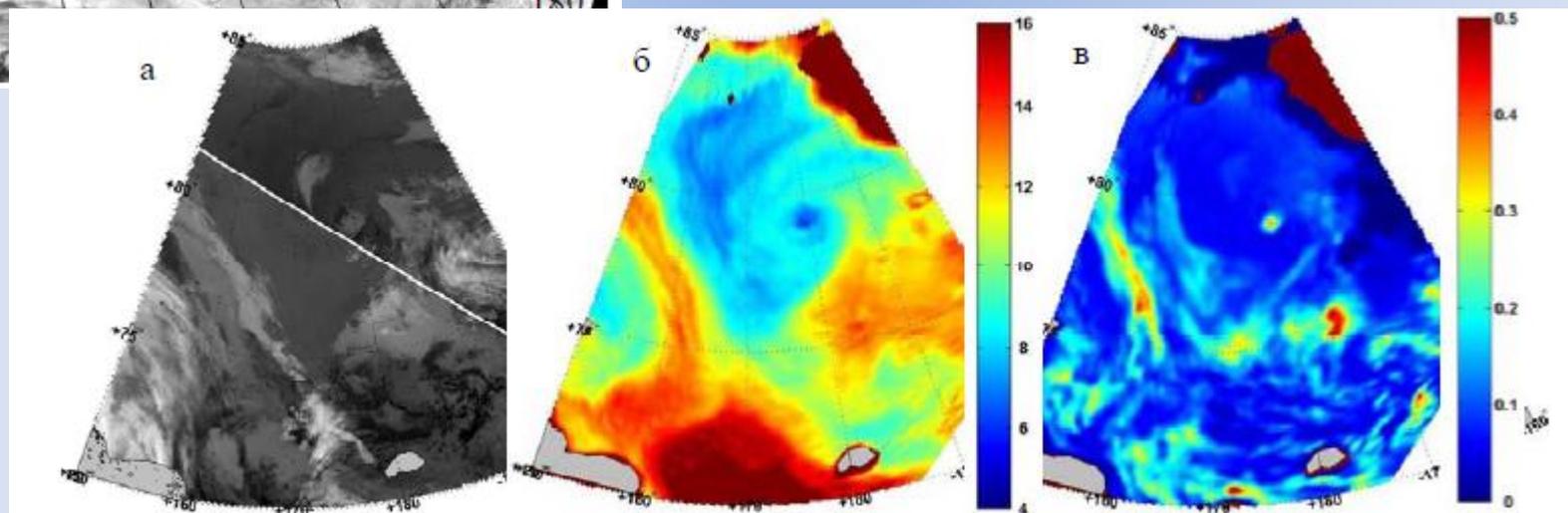
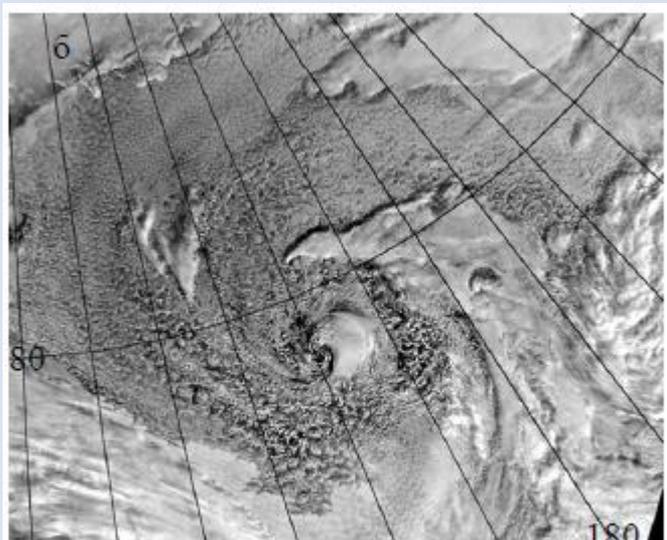


Aqua MODIS 02:15 Гр. 13 января 2007 г.

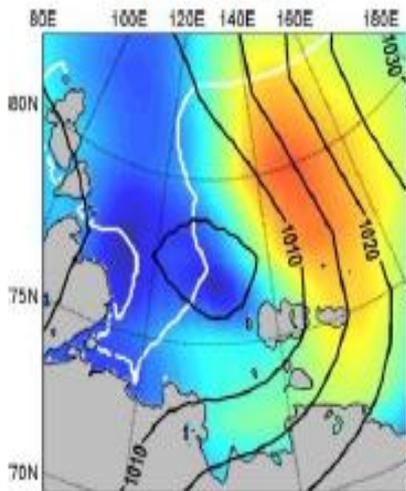
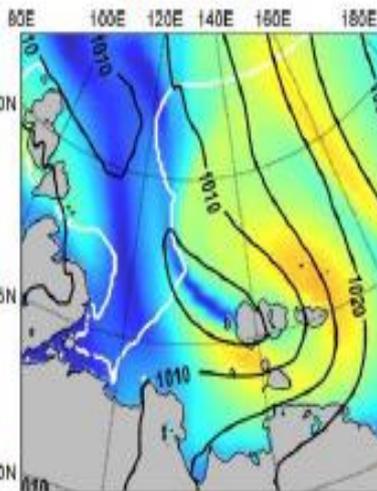
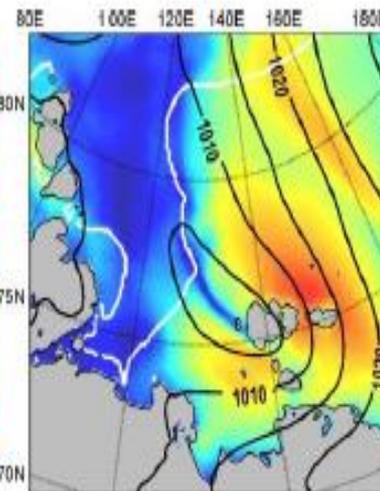
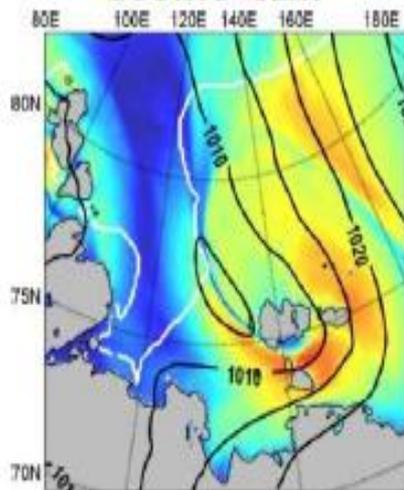
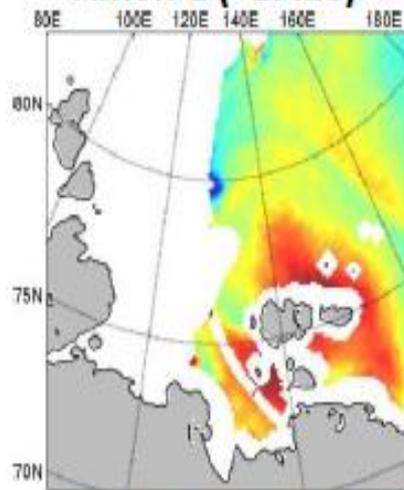
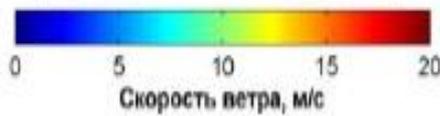
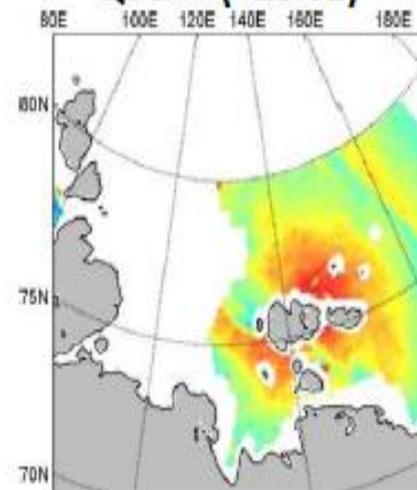
- В холодное полугодие над морями высоких широт на спутниковых изображениях часто фиксируются интенсивные мезомасштабные конвективные циклоны (МЦ) размером от 100 до 1000 км с облачной системой в форме запятой или спирали. Жизненный цикл МЦ обычно от 0.5 до 3 суток. Наиболее интенсивные МЦ называют полярными циклонами или полярными ураганами, а из-за взрывного характера формирования – полярными бомбами.
- МЦ зарождаются преимущественно над морской поверхностью в пограничном слое атмосферы на фоне холодного вторжения к северу, северо-западу от основного тропосферного фронта.
- Безоблачный «глаз» в центре, окружающая его облачная стена и теплое ядро придают им сходство с тропическими циклонами. Общим между МЦ и ТЦ является и то, что те и другие обычно формируются из слияния конвективных облаков в течение начальной стадии развития (S. Businger, B. Walter. Comma cloud development and associated rapid cyclogenesis over the Gulf of Alaska: A case study using aircraft and operational data. *Monthly Weather Review*, V. 116, p. 1103-1123, 1988).

Мезоциклон 4 октября 2007 года в Восточно-Сибирском море (Заболотских и др., 2014)

фрагмент видимого изображения MODIS
(спутник Aqua)



(а) ИК-изображение спектро радиометра MODIS, влагозапас атмосферы (б) и водозапас облаков (в) по данным радиометра AMSRE (спутник Aqua) за 16:20 Гр. 4 сентября 2007 г. Шкалы в кг/м²

NCEP-NCAR**ERA-Interim****MERRA****ASR****COSMO-CLM****AMSR-E (≈17:20)****QSCAT (≈18:31)**

Спасибо за внимание!

