

Изменение арктического ледяного покрова по данным спутникового пассивного микроволнового зондирования

Шалина Е.В., Йоханнессен О.М., Бобылев Л.П.



Содержание доклада

- Данные
- Алгоритм
- Результаты
- Проблемы

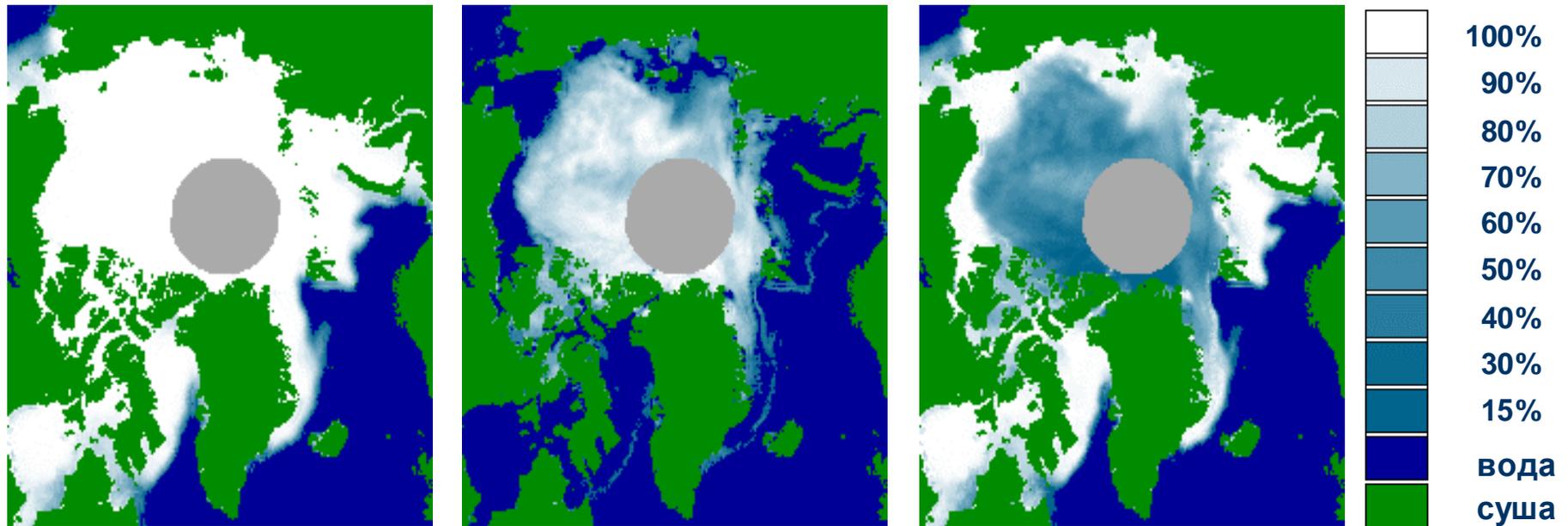


Спутниковые микроволновые радиометры для определения характеристик морского льда

Спутник	Радиометр	Период функционирования	Каналы	Разрешение
Nimbus-5	Electrically Scanning Microwave Radiometer (ESMR)	1972-1977	<u>1 канал:</u> 19 ГГц (H)	25 км
Nimbus-7	Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR)	1978-1987	<u>10 каналов:</u> 6, 10, 18, 21, 37 ГГц (H, V)	18 - 150 км
Defense Meteorological Satellite Programme (DMSP)	Special Sensor Microwave Imager (SSM/I)	1987- настоящее время	<u>7 каналов :</u> 19, 37, 85 ГГц (H, V) 22 ГГц (V)	15 – 70 км
Aqua	Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System (AMSR-E)	2002 - настоящее время	<u>12 каналов:</u> 6, 10, 18, 23, 36, 89 ГГц (H, V)	5 - 56 км



Мониторинг арктического морского ледяного покрова с помощью спутникового пассивного микроволнового зондирования



Общий ледяной покров = Многолетний лёд + Однолетний лёд

Алгоритм

NORSEX (Svendsen et al., 1983)

Внутри-пиксельная классификация

$$C_{MY} + C_{FY} + C_{OW} = 1$$

$$T_b = C_{MY}e_{MY}T_{MY} + C_{FY}e_{FY}T_{FY} + C_{OW}e_{OW}T_{OW},$$

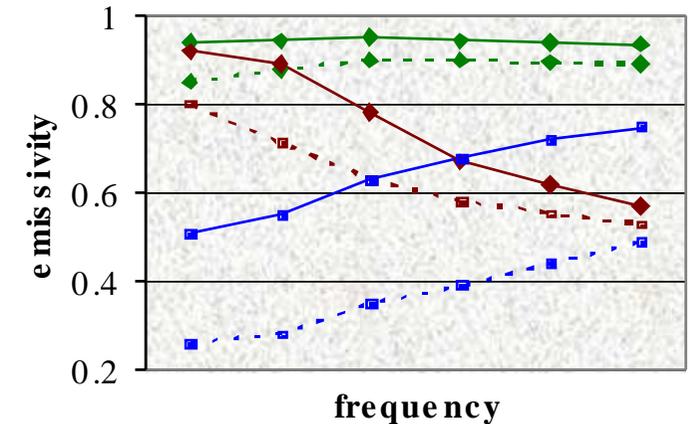
где T_b – яркостная температура,

C_{MY} , C_{FY} , C_{OW} процентное содержание в пикселе многолетнего льда, однолетнего льда и открытой воды

e_{MY} , e_{FY} , e_{OW} – излучательные способности ,

T_{MY} и T_{FY} -температуры многолетнего и однолетнего льда ,

$T_{OW} = 272K$, T_{MY} и T_{FY} рассчитываются с использованием температуры воздуха



Данные

Источник:

National Snow and Ice Data Center (NSIDC), Boulder, Colorado, USA

SMMR:

Радиояркостные температуры в полярной стереографической проекции, 25 km x 25 km

Каналы –18 и 37 ГГц вертикальной поляризации

SSM/I:

Радиояркостные температуры в полярной стереографической проекции, 25 km x 25 km

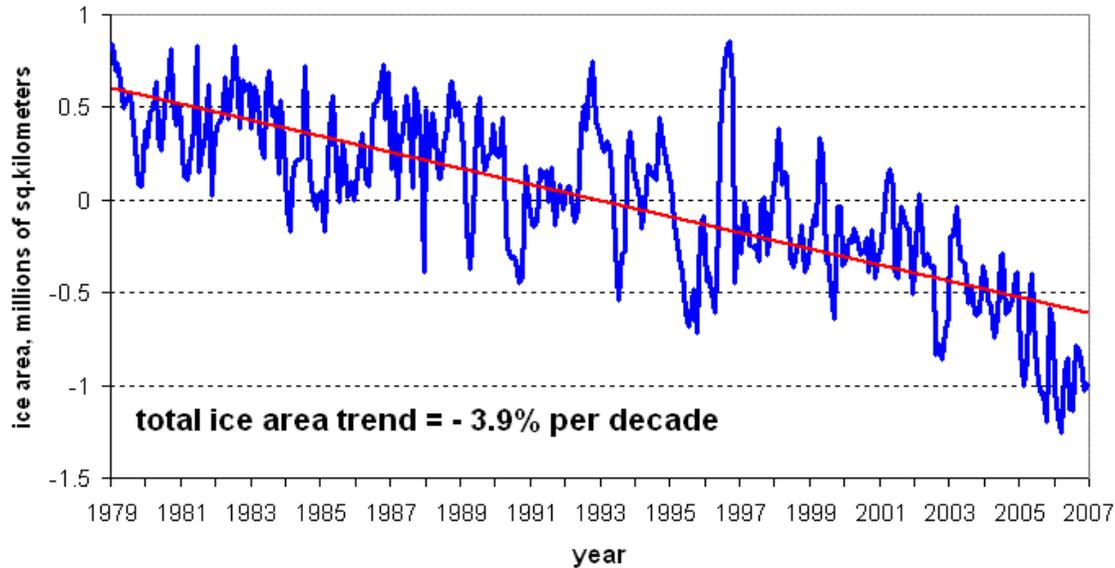
Каналы – 19 и 37 ГГц вертикальной поляризации

Результат

Наиболее длинный из возможных ряд данных о состоянии полного ледяного покрова Арктики

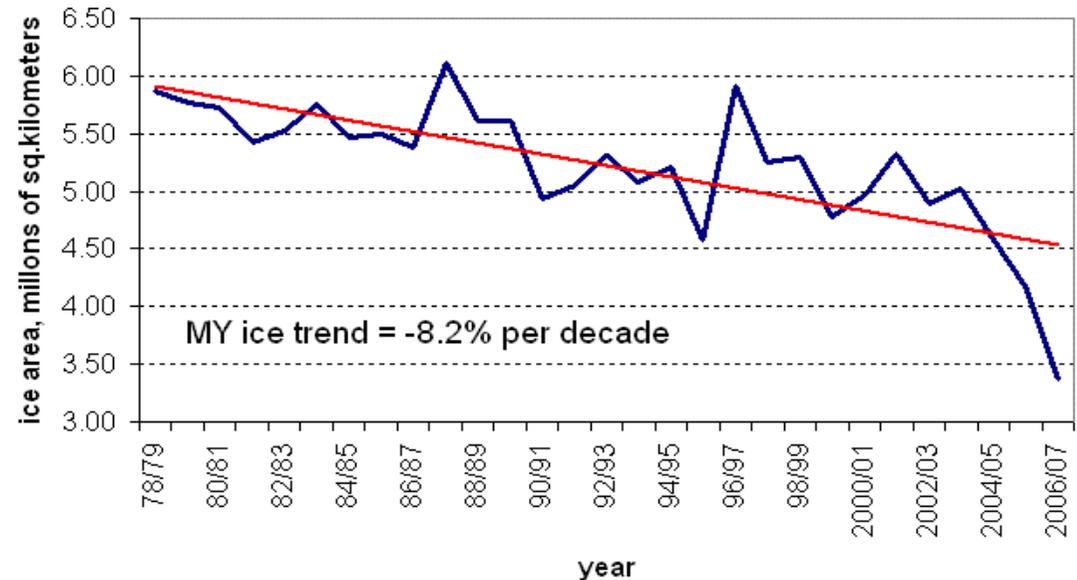


Наблюдённые изменения арктического морского льда



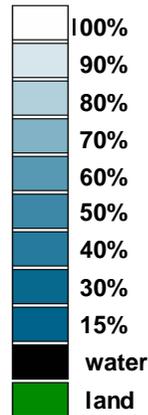
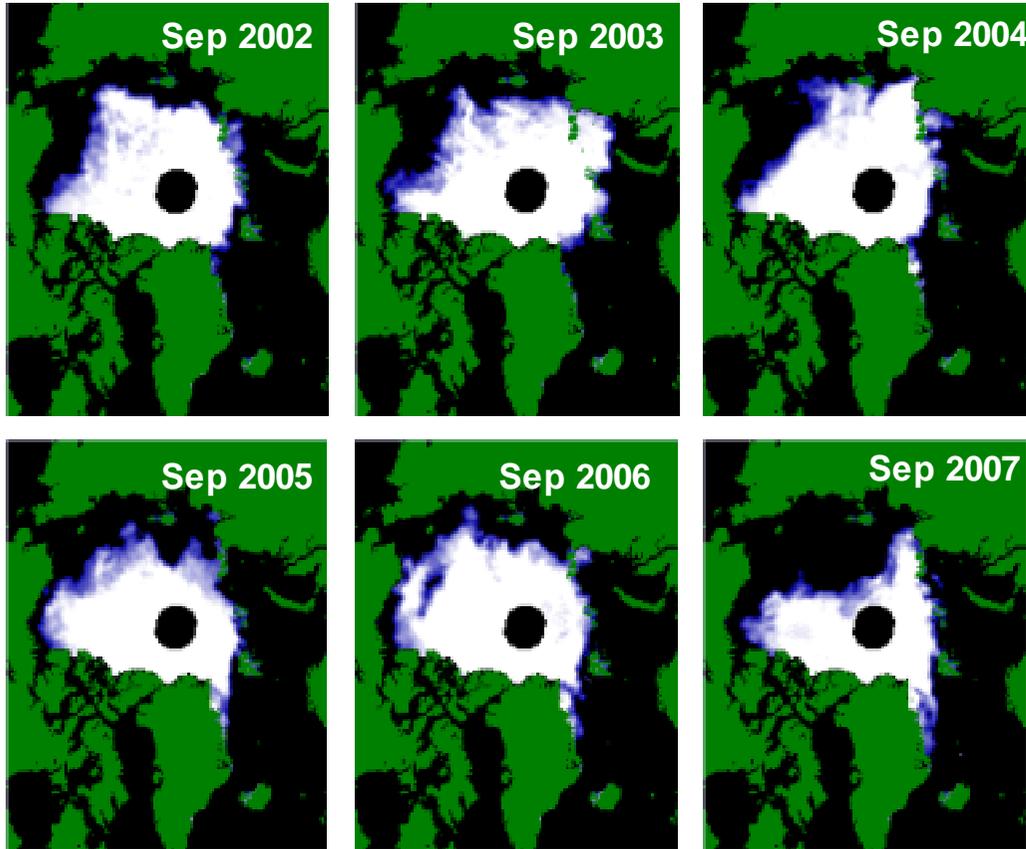
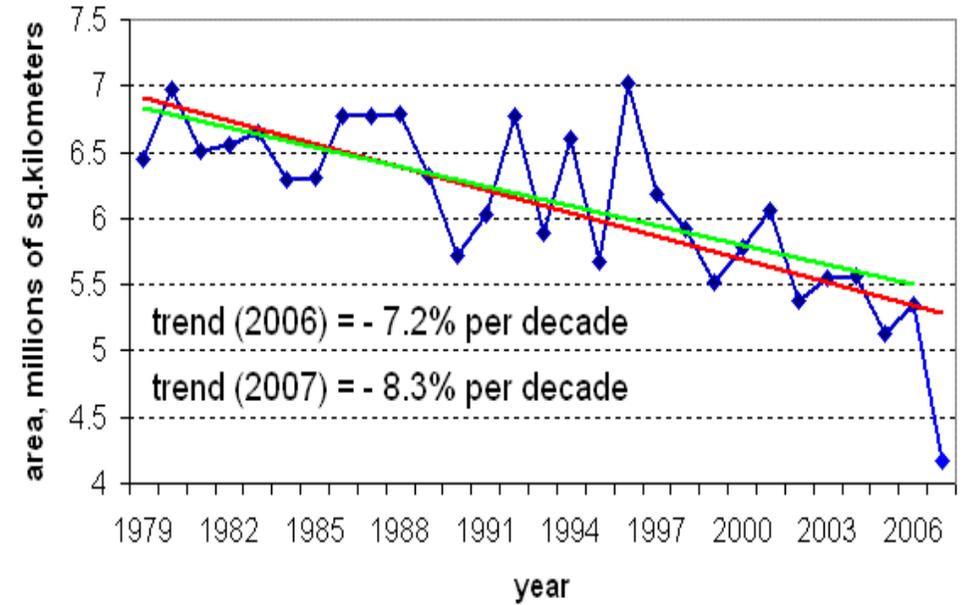
**Общая площадь морского льда:
уменьшение 10.9 %**

**Площадь многолетнего льда:
уменьшение ~ 24 %**



September ice

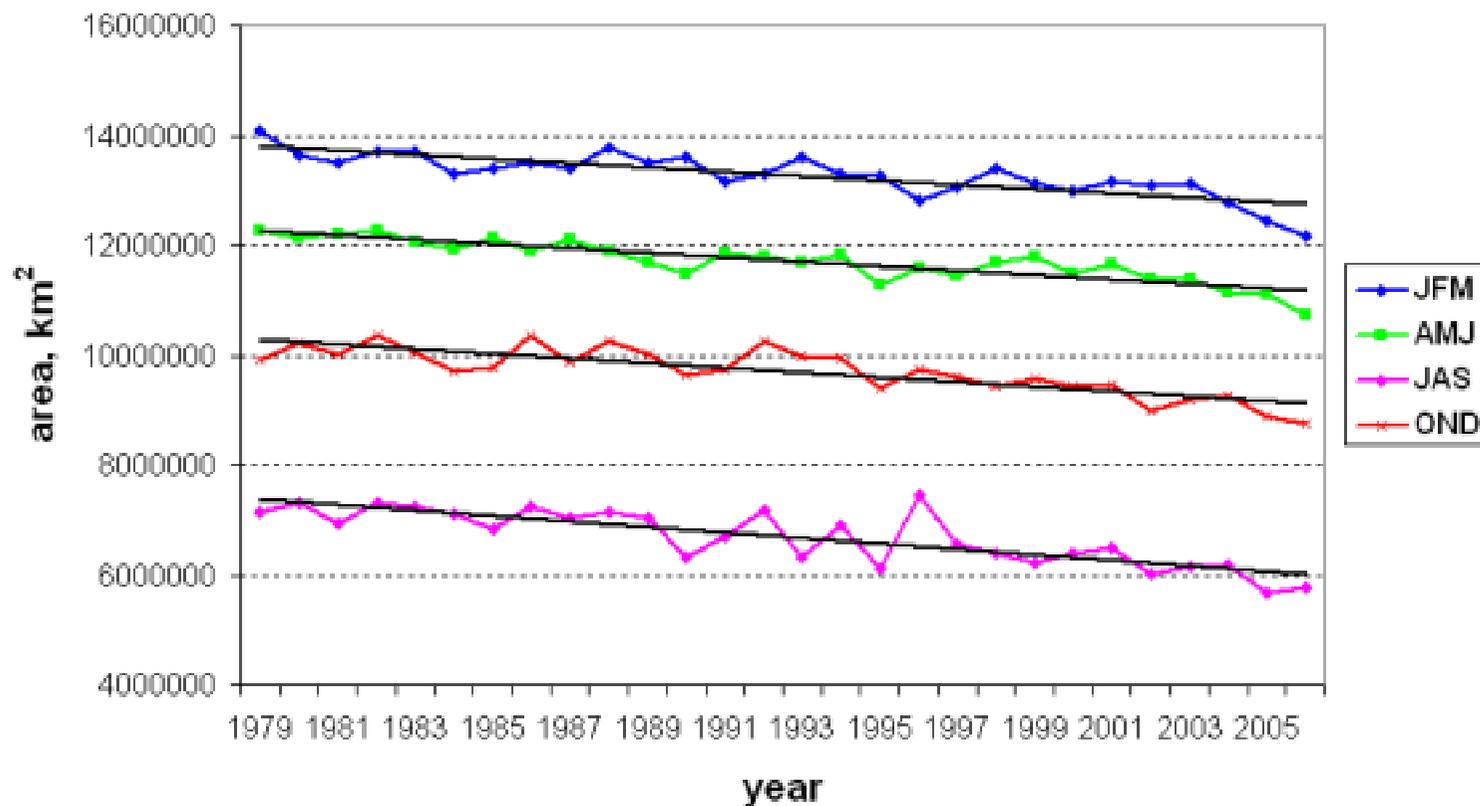
Сентябрьский минимум морского льда, 2002-2007



- Площадь морского льда в сентябре 2002 была меньше, чем в сентябре 1979, на 1.07 миллионов км²
- С сентября 2002 по начало сентября 2007 Арктика потеряла уже более 1.2 миллионов км² морского льда



Изменения и тренды общей площади морского льда для различных сезонов



Тренды площади морского льда по сезонам:

уменьшение на

JFM 2.9 %

AMJ 3.3 %

JAS 6.8 %

OND 4.2 %

за декаду

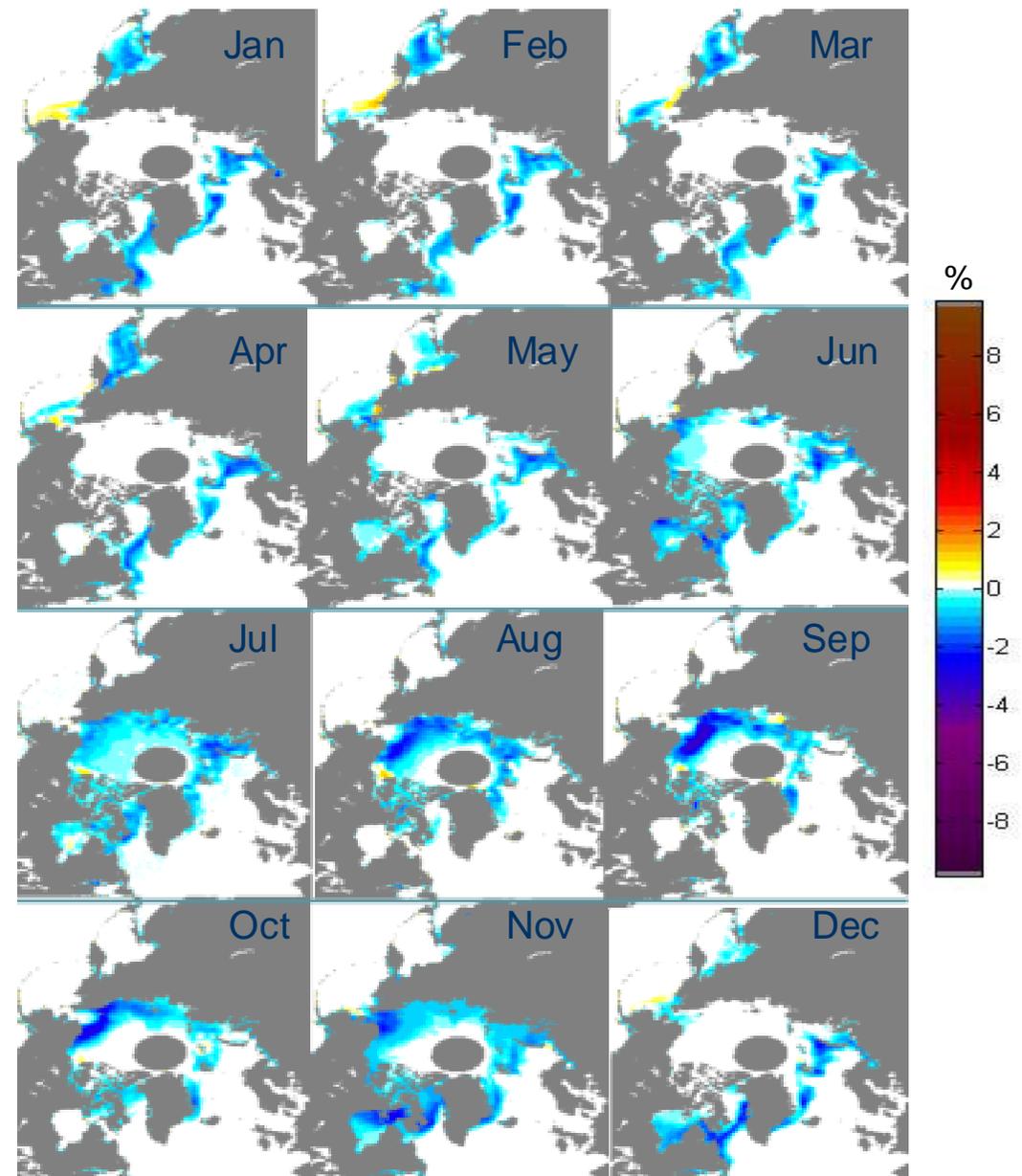


Региональные изменения морского льда в Арктике в 1979 – 2006 годах (1)

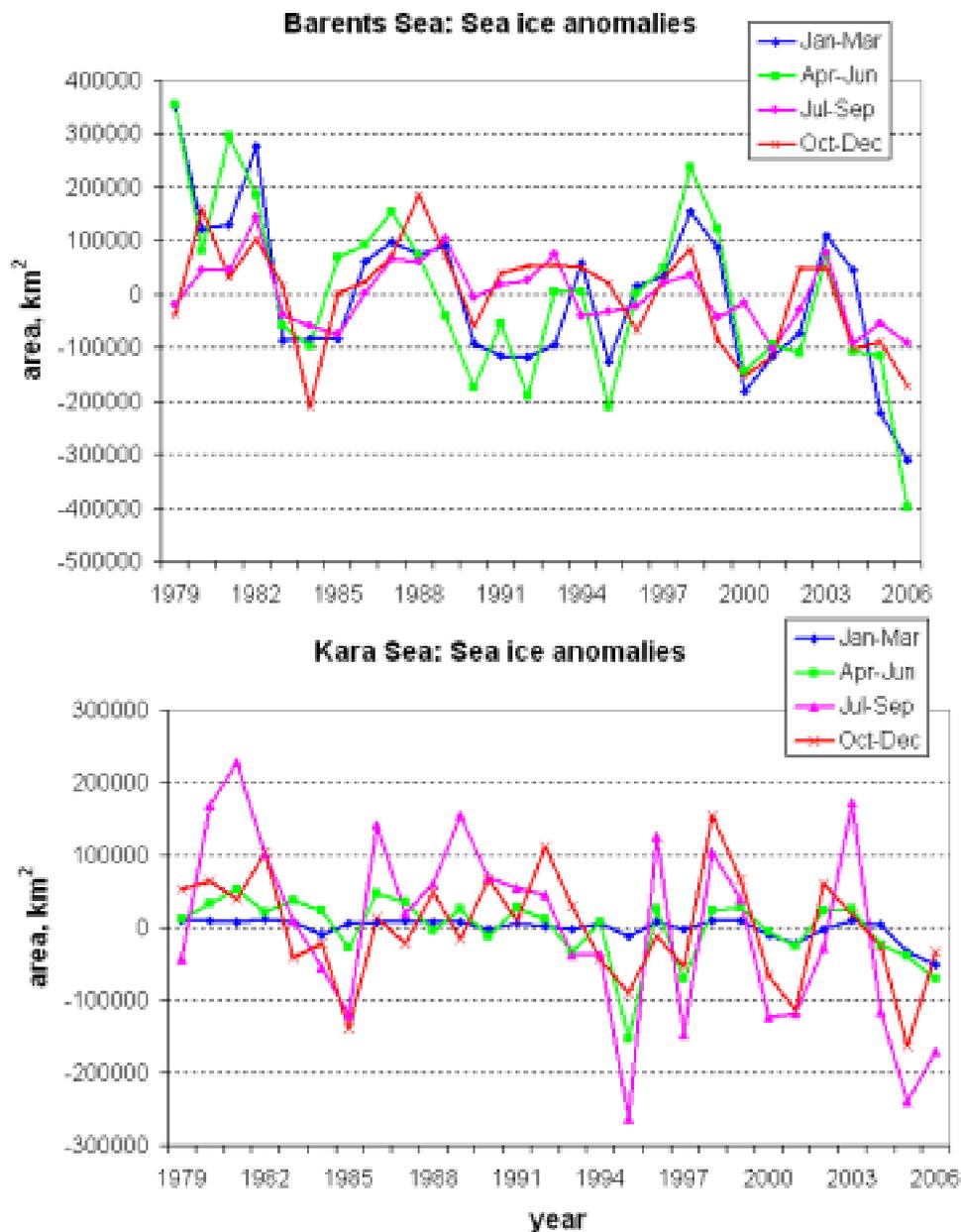
Линейные тренды среднемесячных значений сплочённости льда (% в год)

➤ **Зимой и весной (с декабря по июнь)** наибольшее уменьшение льда наблюдается в Баренцевом и Гренландском морях. Для Баренцева моря зимний тренд составляет **~ -10% за десятилетие**

➤ **Летом и осенью (с июня по ноябрь)** наибольшее уменьшение наблюдается в Восточно-сибирском море, море Бофорта, Чукотском море (июнь-июль, ноябрь), море Лаптевых (июнь-ноябрь) и Карском море (май-июль, ноябрь). Сентябрьский тренд для моря Бофорта **~ -14.5% за десятилетие**



Региональные изменения морского льда в Арктике в 1979 – 2006 годах (2)

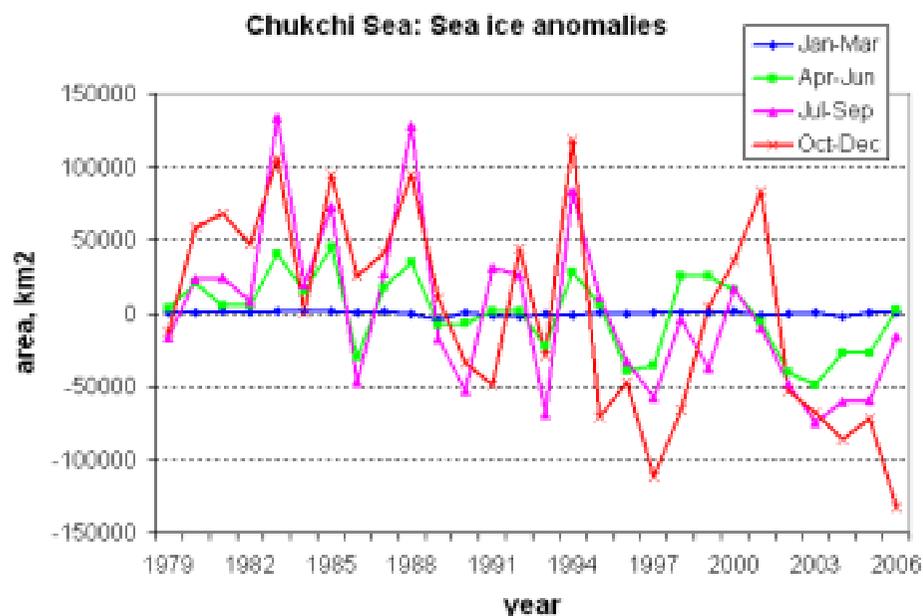
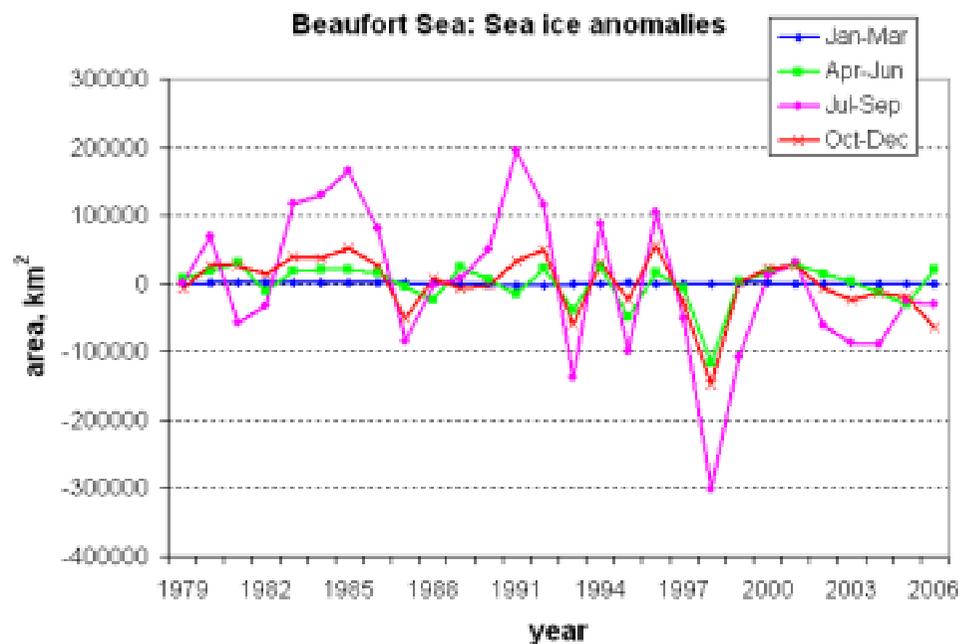
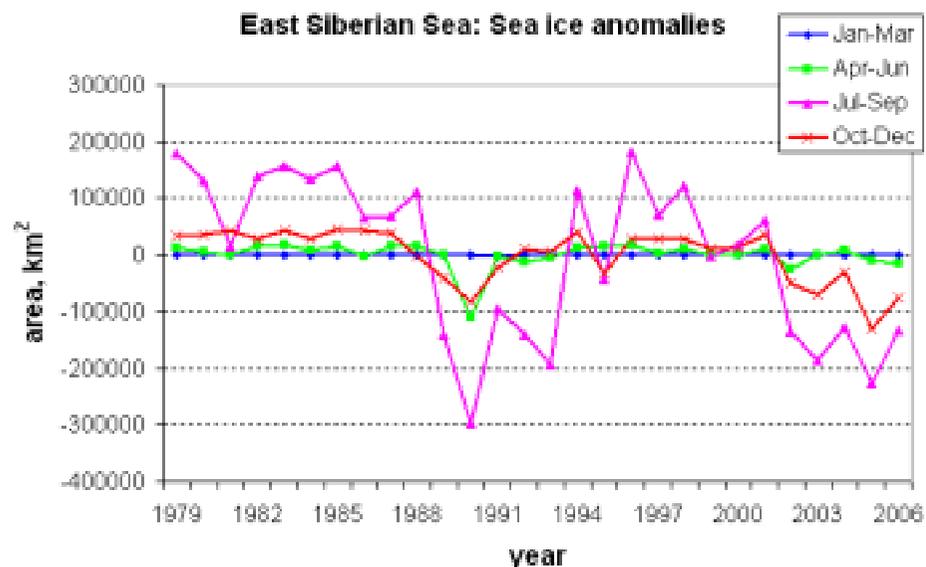


Тренд изменения площади льда статистически значим с вероятностью 95% :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
bar												
kara												
lapt												
east												
chuk												
beauf												



Региональные изменения морского льда в Арктике в 1979 – 2006 годах (3)



Тренд изменения площади льда статистически значим с вероятностью 95% :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
bar	█	█	█	█	█	█	█					█
kara	█	█	█		█	█	█	█				█
lapt		█					█	█	█	█	█	
east						█	█	█	█	█	█	
chuk					█	█	█	█	█	█	█	█
beauf									█	█	█	



Региональные изменения морского льда в Арктике в 1979 – 2006 годах (4)

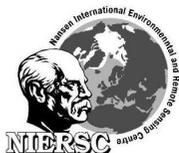
Статистическая значимость отрицательного тренда (с вероятностью 95%)

для данных наблюдений
до 2005 года

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
bar	■	■	■	■	■	■	■					■
kara	■	■	■			■	■	■				■
lapt		■					■				■	
east						■	■	■	■	■	■	
chuk					■	■	■	■	■	■	■	■
beauf									■			

для данных наблюдений
до 2006 года

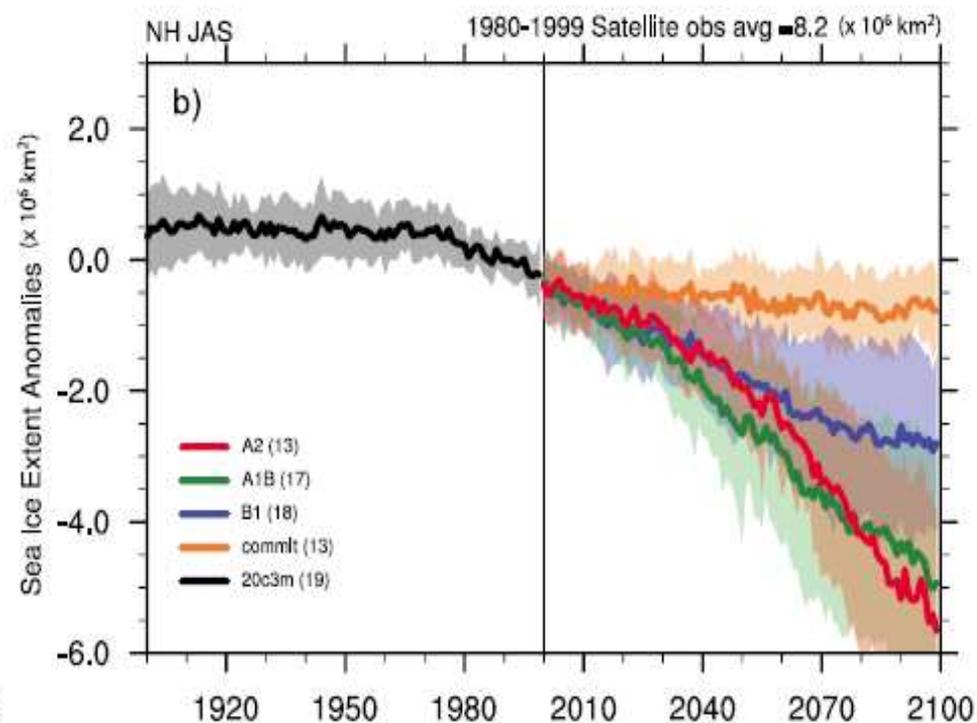
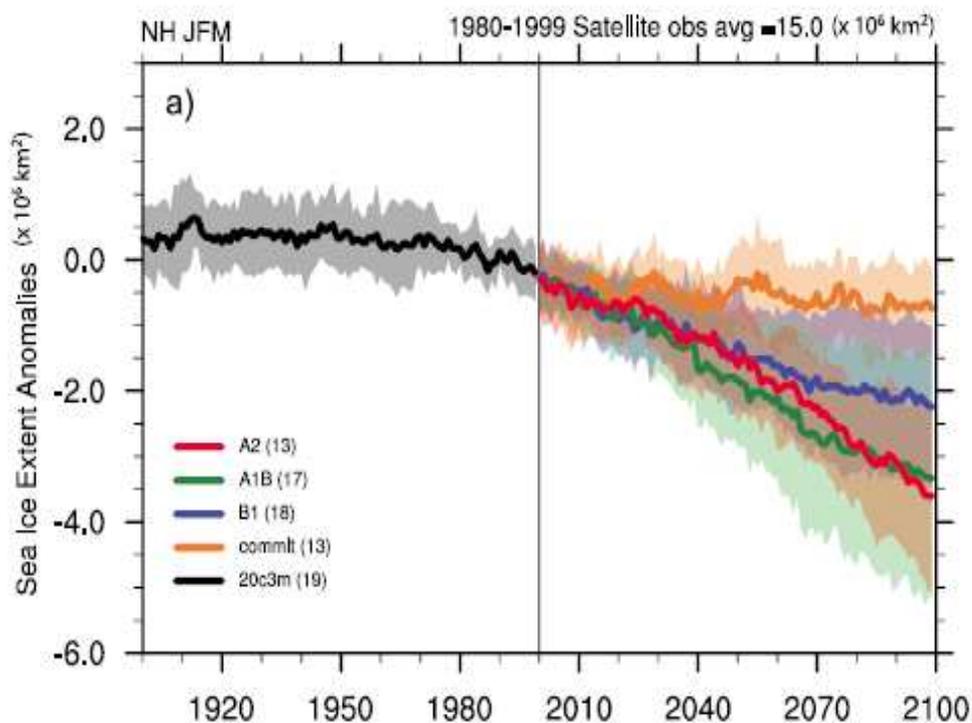
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
bar	■	■	■	■	■	■	■					■
kara	■	■	■		■	■	■	■				■
lapt		■					■	■		■	■	
east						■	■	■	■	■	■	
chuk					■	■	■	■	■	■	■	■
beauf									■	■		



Много-модельные отклонения от среднего протяжённости ледяного покрова в XX-XXI веках для северного полушария

Январь - март

Июль - сентябрь



Сплошные линии – много-модельные средние

Затенённые области – плюс-минус стандартное отклонение

© IPCC 2007: WG1-AR4



Свободная ото льда Арктика летом в XXI-м веке?

Моделирование
изменения
сплочённости льда
при удвоении CO₂

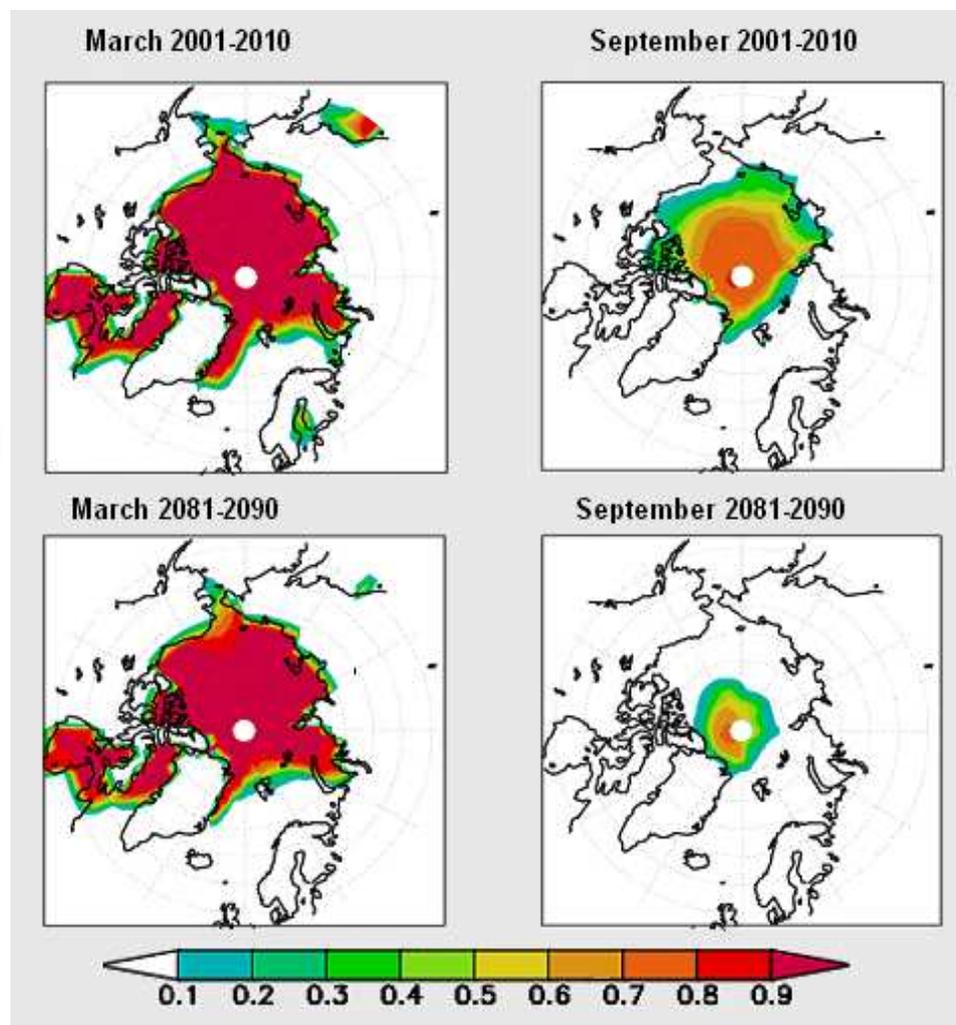
Модель (ЕСНАМ 4)

Зима

Лето

20%
уменьше-
ние

80%
уменьше-
ние



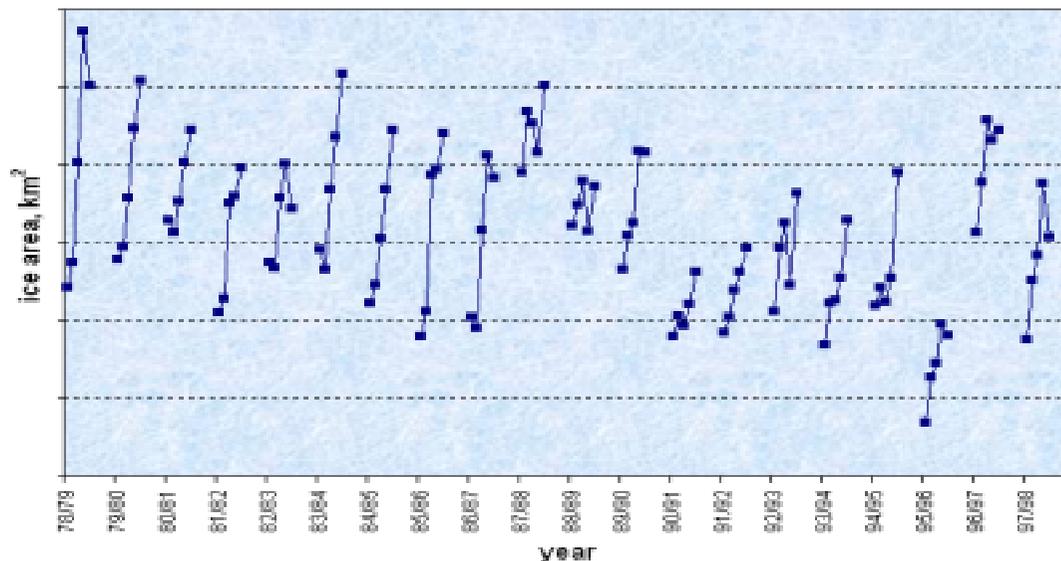
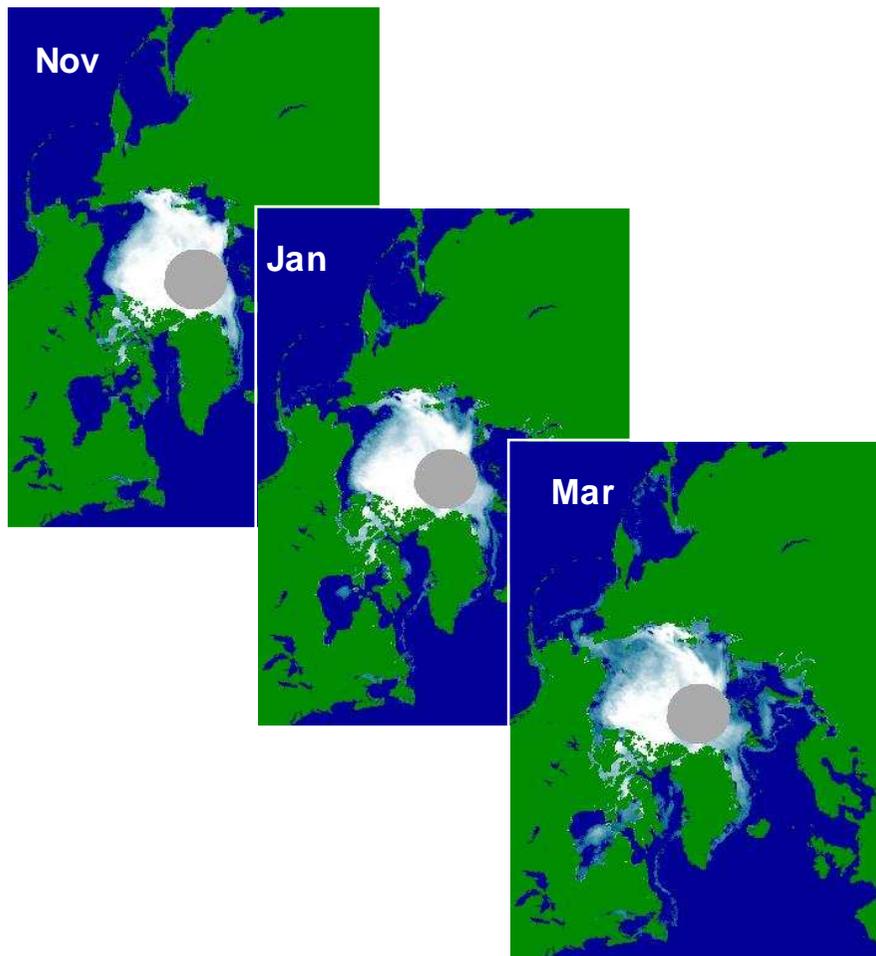
Сплочённость льда

Johannessen et al, 2004



Расчет многолетнего льда по алгоритму NORSEX

Площадь многолетнего льда



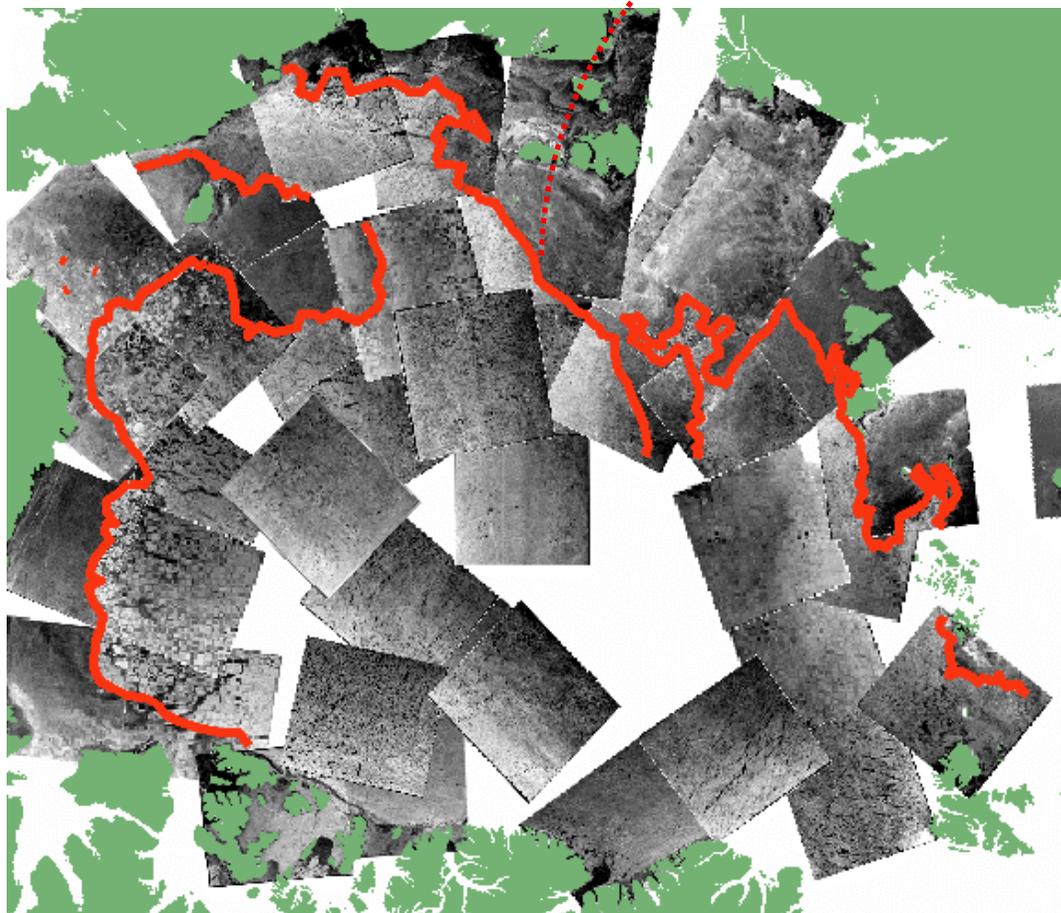
Несовершенство расчетов
многолетнего льда по алгоритму
NORSEX:

*сплочённость
растёт в течении зимы*

Валидация алгоритма NORSEX для многолетнего льда по снимкам RADARSAT SAR

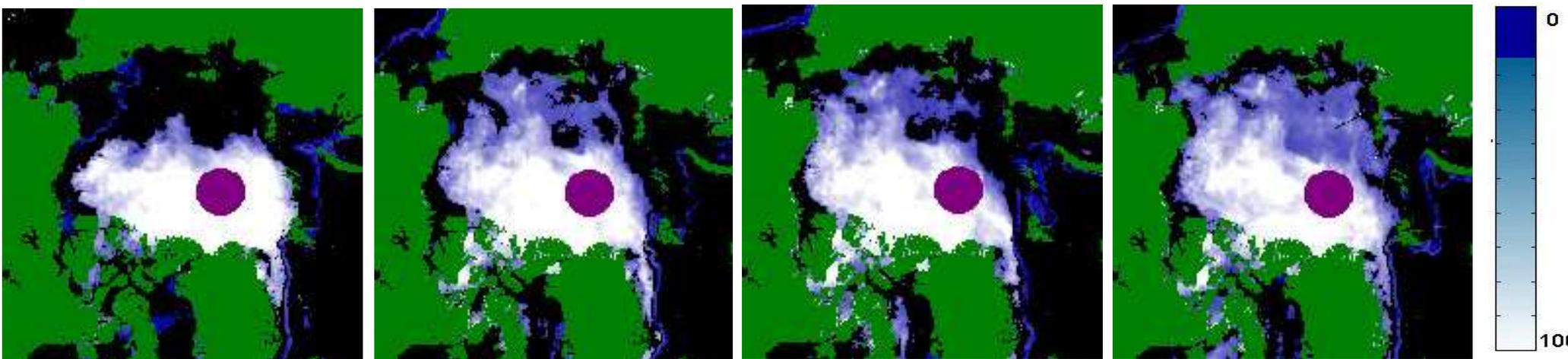
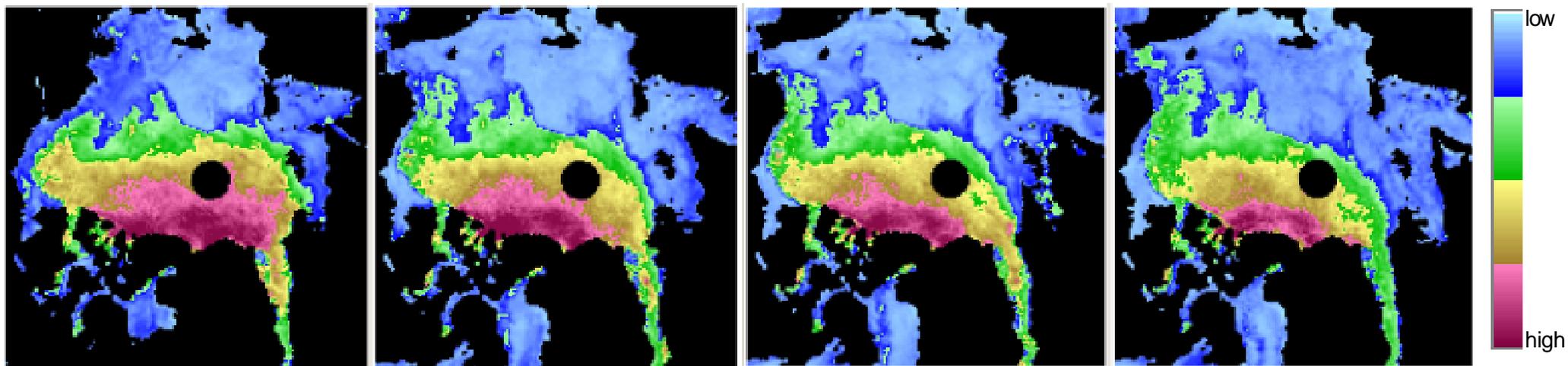
RADARSAT SAR мозаика

Граница многолетнего льда
(визуальная классификация)



Многолетний лёд по данным пассивного микроволнового зондирования (NORSEX)

Данные скаттерометра и карты многолетнего льда, полученные по алгоритму NORSEX



1 ноября 2005

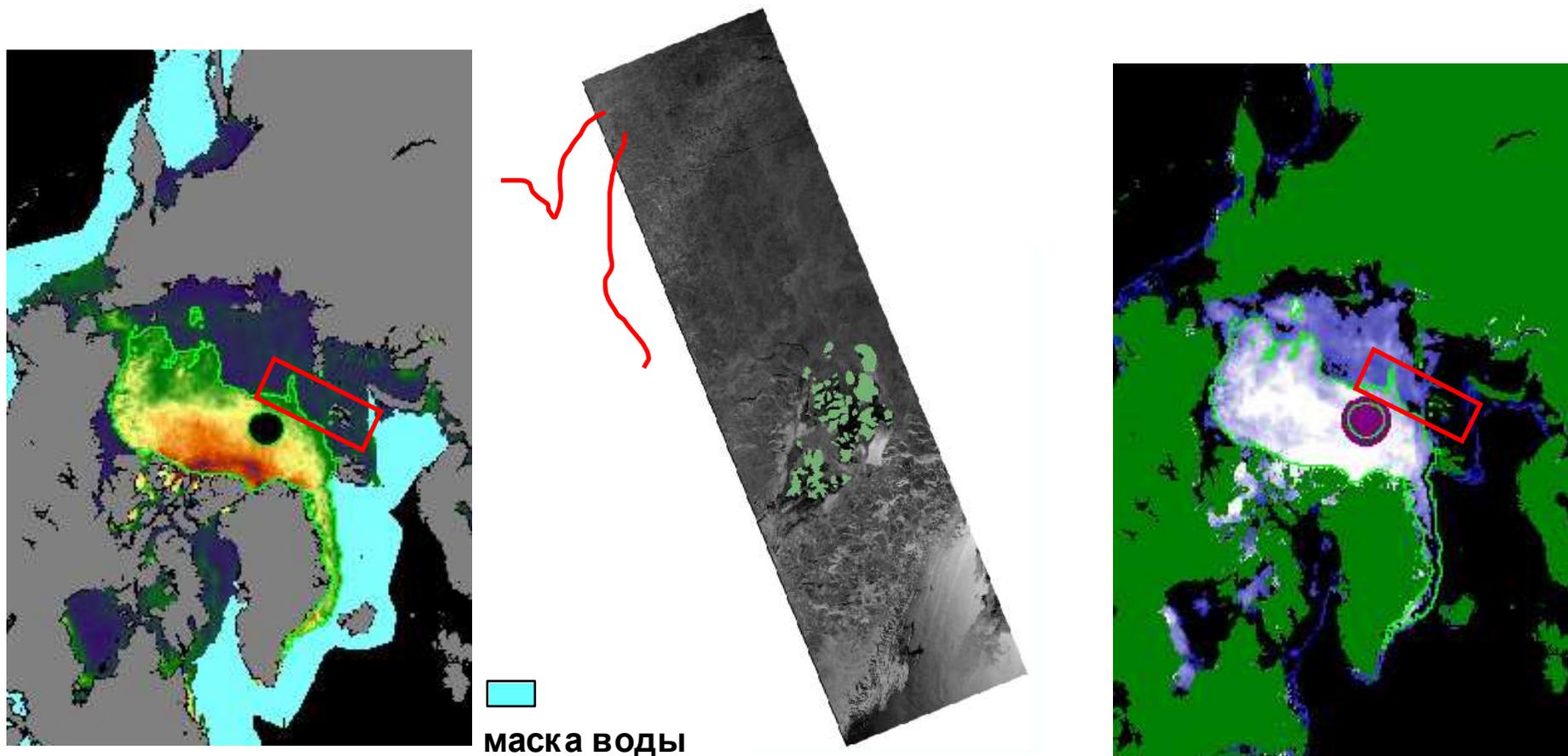
31 декабря 2005

30 января 2006

30 марта 2006



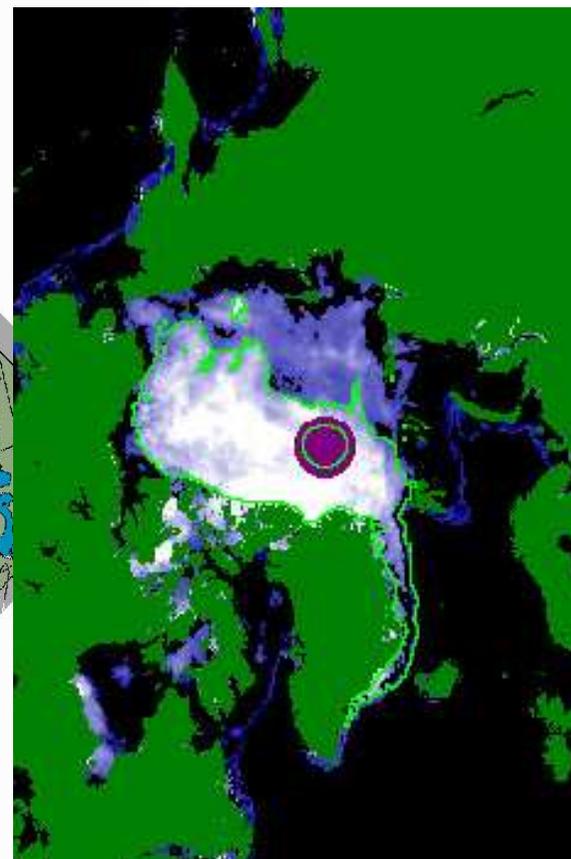
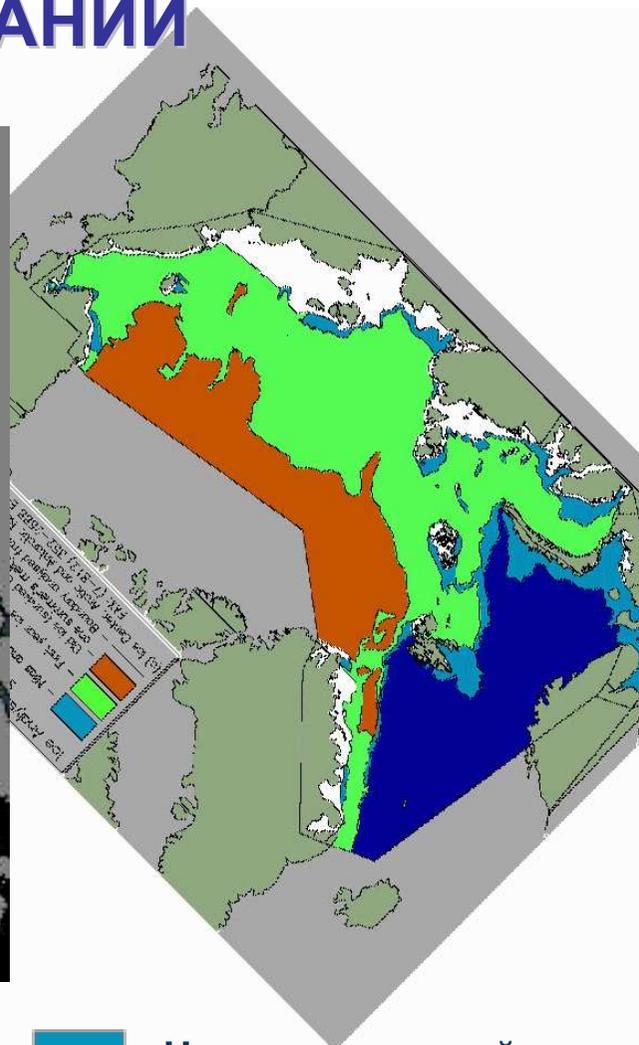
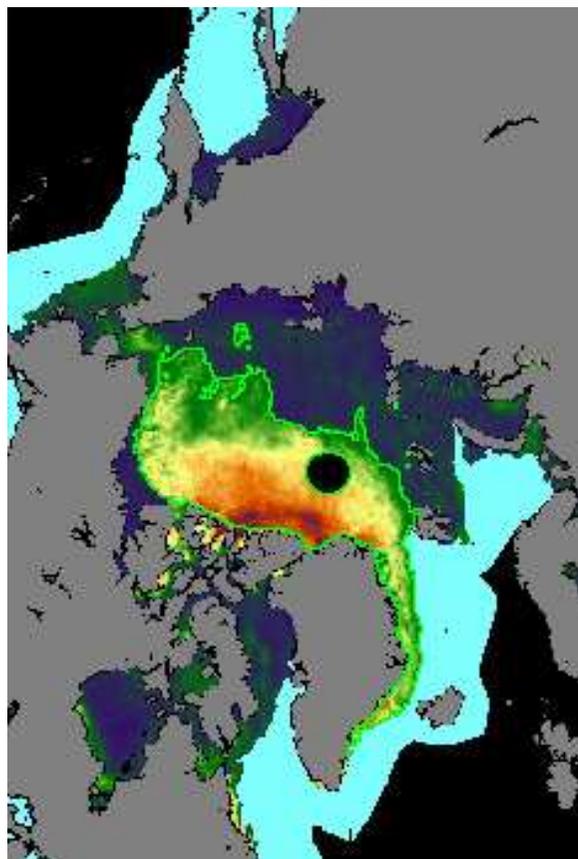
Проверка положения границы многолетнего льда, полученной по данным скаттерометра с помощью данных ASAR



Данные QuikSCAT (IFREMER), карта многолетнего льда по NORSEX и изображение Envisat ASAR. Март 30, 2006



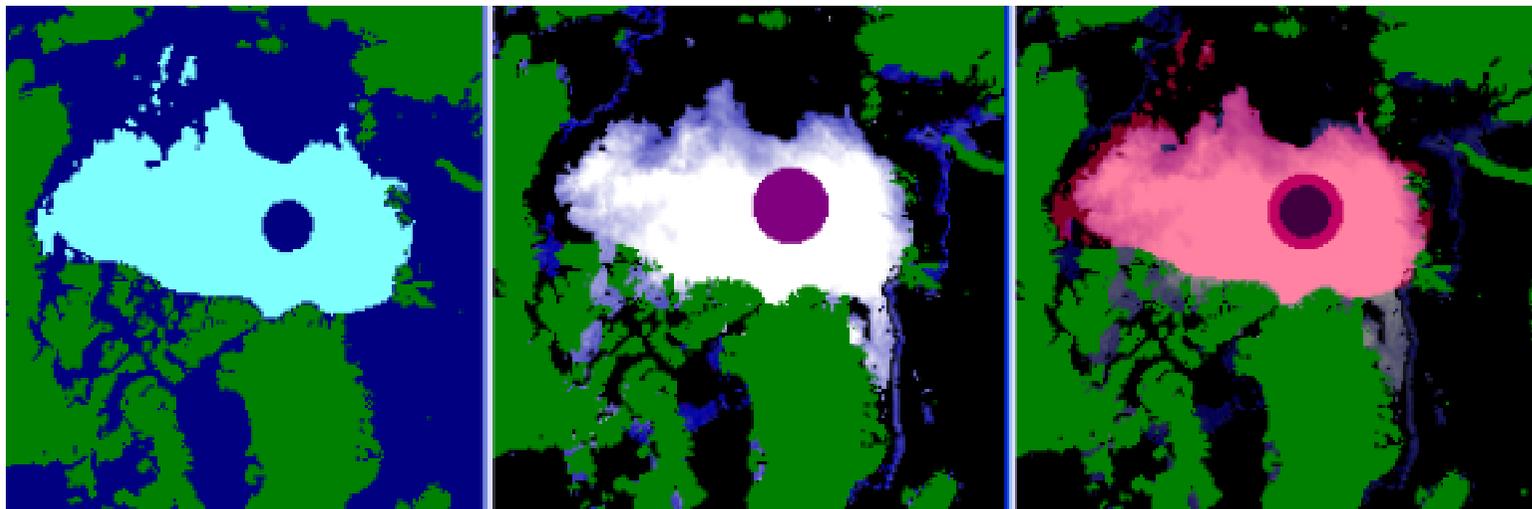
Проверка положения границы многолетнего льда, полученной по данным скаттерометра с помощью ледовой карты ААНИИ



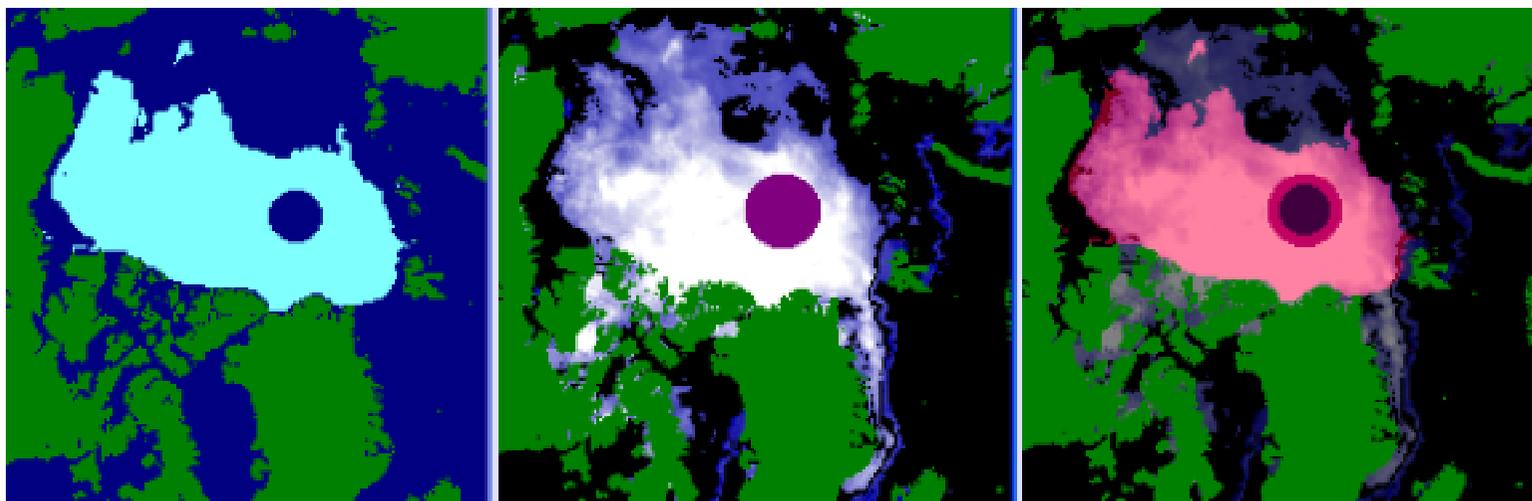
-  Нилас и молодой лед
-  Однолетний лед
-  Многолетний лед

Построение карты многолетнего льда с уточнением границы по скаттерометру

Ноябрь
2005



Январь
2006



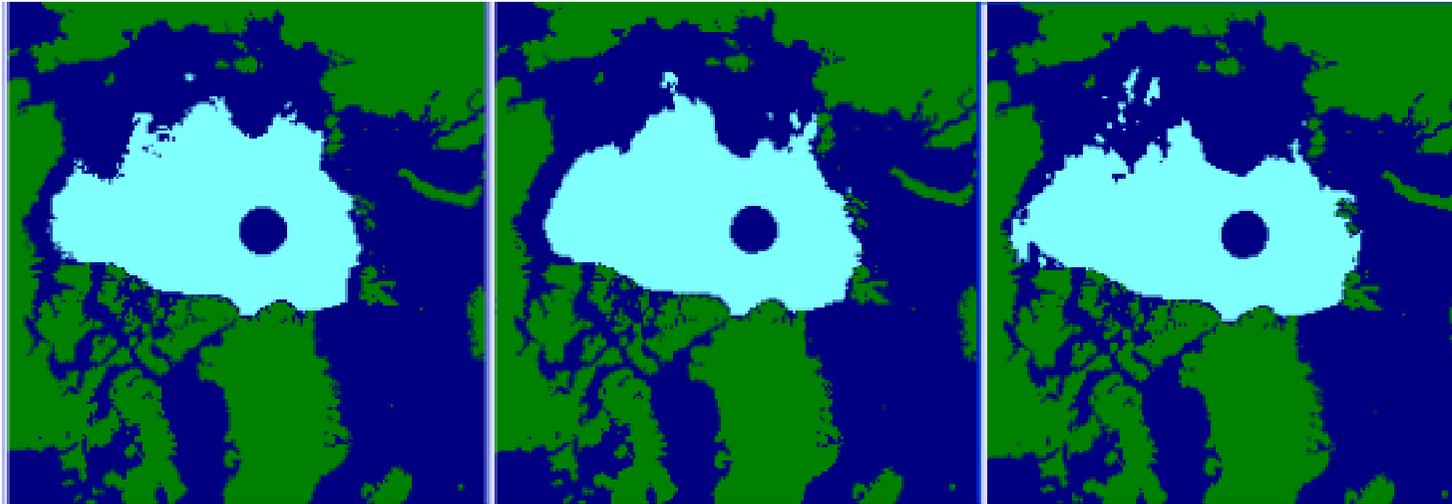
Многолетний лед
по скаттерометру

Многолетний лед
по NORSEX

пересечение
двух карт

ИКИ, конференция «Дистанционное зондирование земли из космоса», 12 - 16 ноября 2007 г.

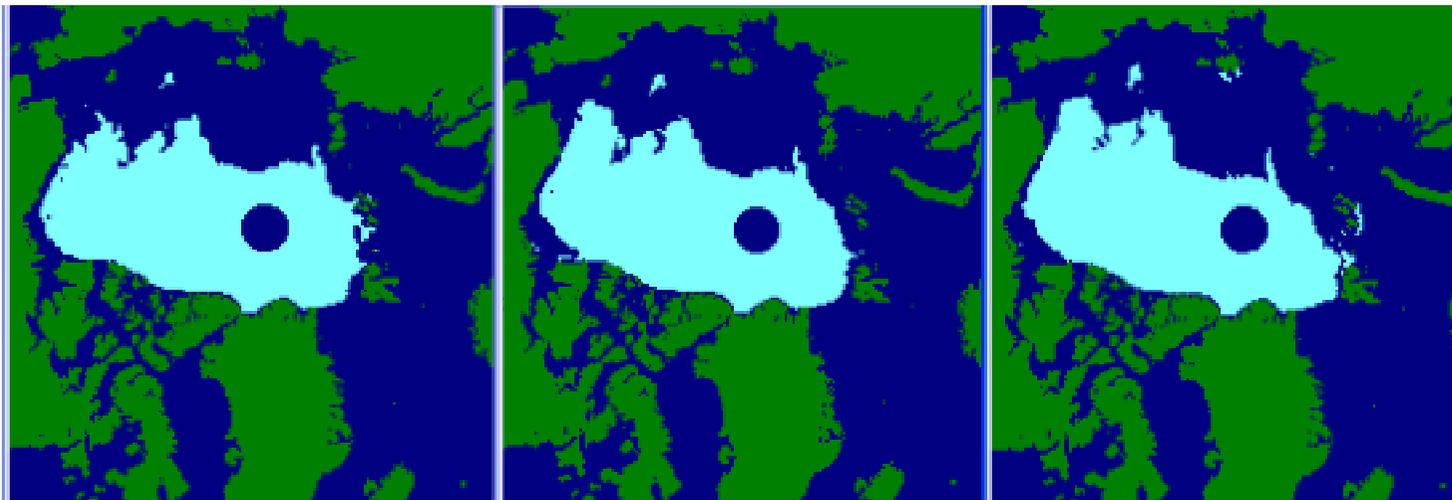
Многолетний лед по данным скаттерометра, 2005-2006: карты и диаграмма



Сентябрь

Октябрь

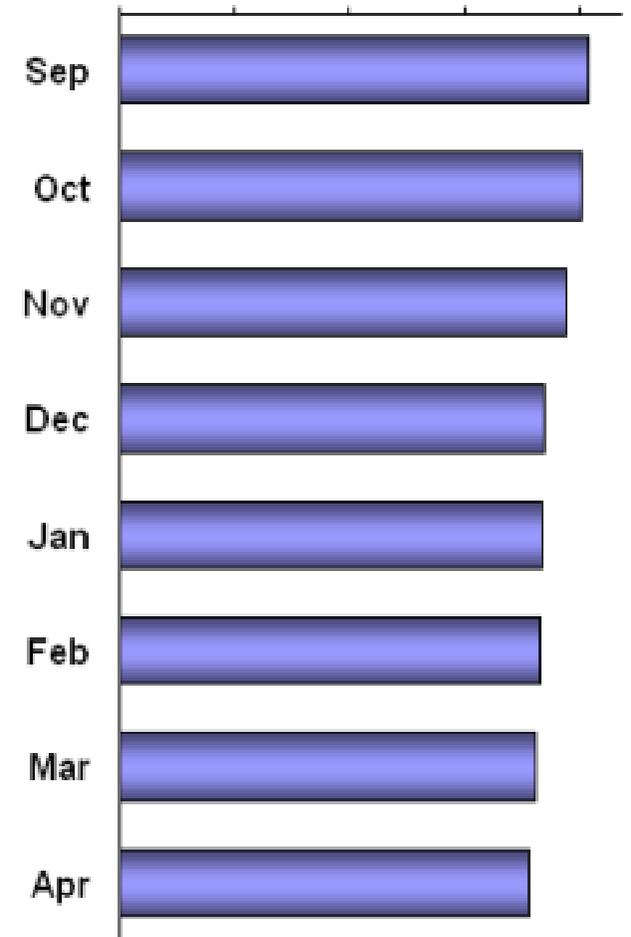
Ноябрь



Январь

Март

Площадь
распространения
многолетнего льда
($\text{km}^2 \cdot 10^6$),
Sep.2005 – Apr.2006:



Заключение

- Спутниковые данные микроволнового диапазона (SMMR+SSM/I) позволяют получить наиболее длинный ряд данных о состоянии полного ледяного покрова Арктики
- Эти данные позволяют также проследить изменения состава льдов Арктики с точки зрения типов льдов (однолетний/многолетний)
- Расчеты показывают, что полный ледяной покров Арктики сокращается со скоростью 3.9% в декаду, при этом многолетний лед сокращается быстрее – со скоростью 8.2% в декаду
- Данные активного дистанционного зондирования в микроволновом диапазоне могут служить важным источником дополнительной информации, позволяя значительно улучшить результаты классификации льдов по типам

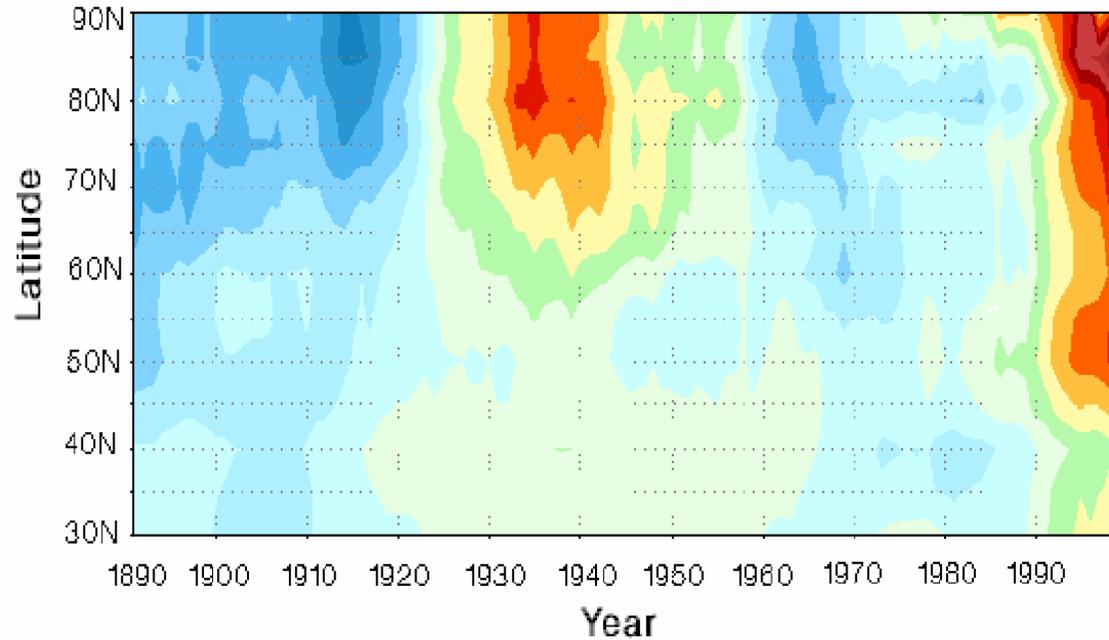


Возможные последствия сокращения морского ледяного покрова Арктики

- ❑ Изменение биоразнообразия и распределения рыбных запасов
- ❑ Более лёгкие условия для морского транспорта
- ❑ Более лёгкие условия для разведки и добычи нефти и газа на шельфе
- ❑ Увеличение стока CO₂ в Северный Ледовитый Океан
- ❑ Ослабление формирования глубинных вод за счёт распреснения с потенциальным ослаблением Гольфстрима



Временная эволюция наблюдаемых зонально осреднённых среднегодовых аномалий приповерхностной температуры воздуха (ПТВ)



Набор данных ПТВ ААНИИ (Алексеев)
Johannessen et al, 2004

Новый набор данных ПТВ
Kuzmina et al, 2007,
представлена в Tellus

