

Современное состояние ледяного покрова Арктики по данным спутниковых наблюдений

Шалина Е.В.

Санкт-Петербургский государственный университет
Фонд «Нансен-Центр»

Содержание

- **Данные**
- **Алгоритм**
- **Результаты, описывающие изменение полного ледяного покрова, в том числе информация по сезонам**
- **О проблемах, связанных с вычислением частной сплоченности многолетних льдов**
- **Результаты, описывающие изменение многолетних льдов**

Данные

Источник:

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

Радиометр **SMMR**:

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

Каналы –18 и 37 ГГц вертикальной поляризации

Радиометр **SSM/I**:

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

Каналы – 19 и 37 ГГц вертикальной поляризации

Главное преимущество

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

Основные алгоритмы восстановления сплочённости морского льда по пассивным микроволновым измерениям

NORSEX (Svendsen et al., 1983)

NASA/TEAM (Cavalieri et al., 1984)

Bootstrap (Comiso, 1986)

85-GHz алгоритм (Svendsen et al., 1987)

Cal-Val (Hollinger, 1991)

Bristol (Smith, 1996)

TUD гибридный алгоритм (Pedersen, 1998)

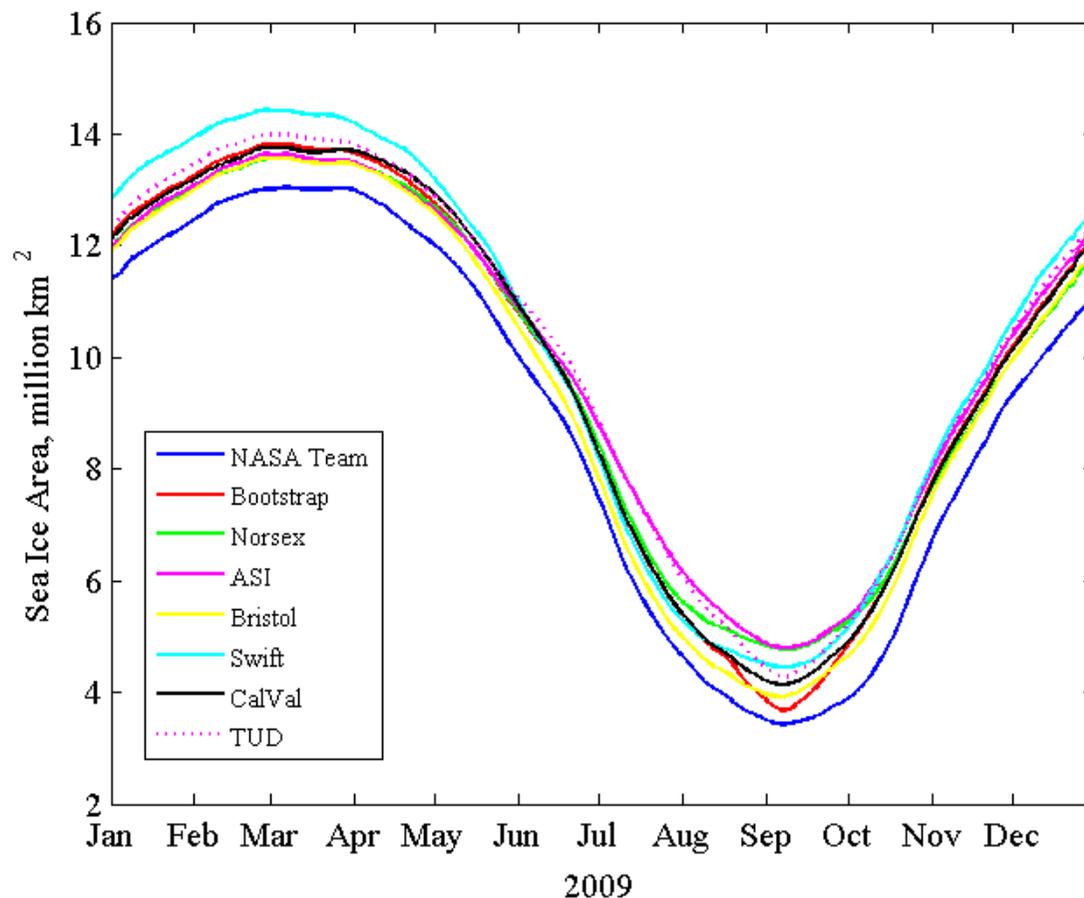
NASA/TEAM2 (Markus & Cavalieri, 2000)

NIC Hybrid гибридный алгоритм, микс 2-го и 5-го (Partington, 2000)

ASI или Artist Sea Ice алгоритм (Kaleschke et al., 2001)

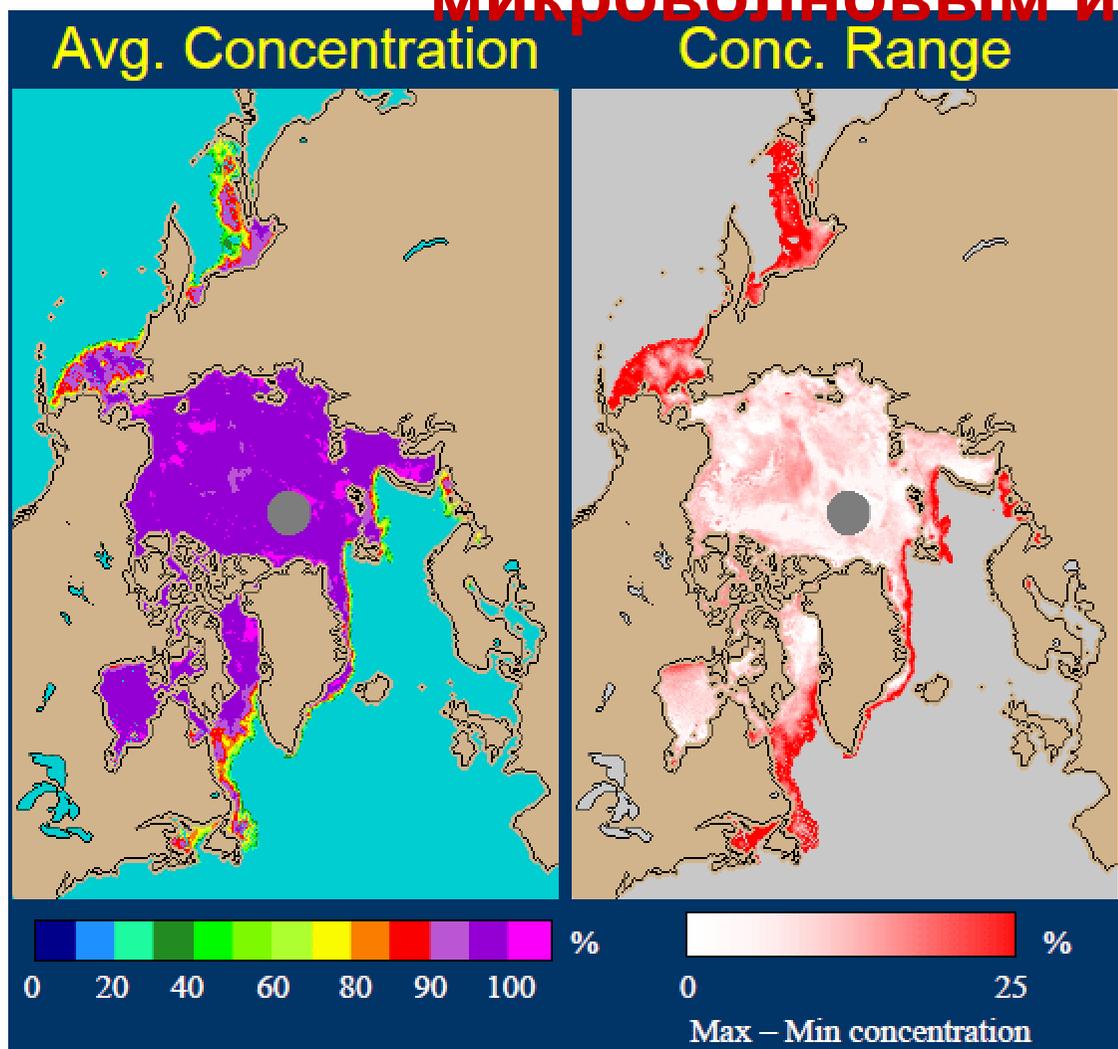
Сравнение алгоритмов восстановления сплочённости морского льда по пассивным микроволновым измерениям

Arctic Sea Ice Area, SSMIS



Источник: <http://arctic-roos.org/observations/comparison-of-algorithms>

Сравнение алгоритмов восстановления сплочённости морского льда по пассивным микроволновым измерениям



Где наблюдаются
основные
расхождения?

Справа – средняя
сплоченность по всем
алгоритмам, слева –
диапазон различий
сплоченности.

Результаты усреднены
с марта по сентябрь
2008 г.

Источник: CIRES &
NSIDC

**Основные различия -
в приграничной зоне**

NORSEX алгоритм

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,

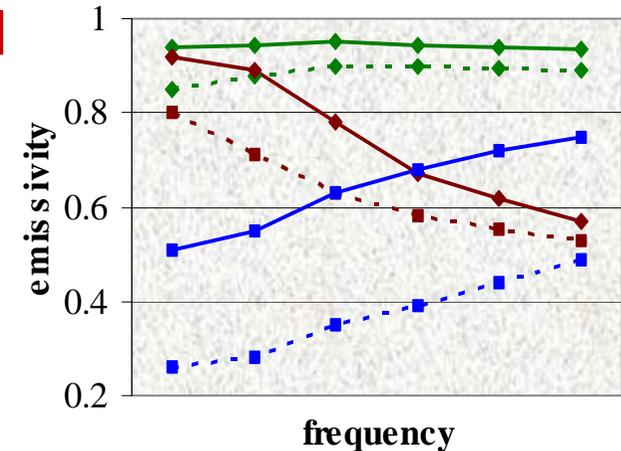
C_{MY} , C_{FY} , C_{OW} процентное содержание в пикселе многолетнего льда, однолетнего льда и открытой воды

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

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

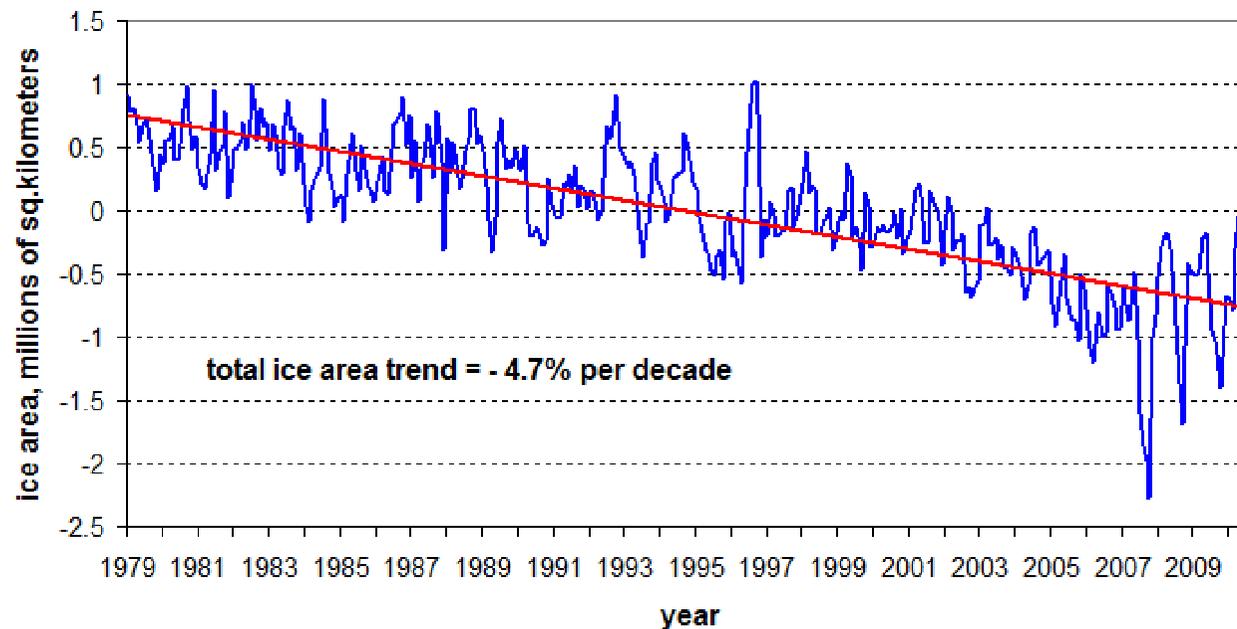
$T_{OW} = 272K$, T_{MY} и T_{FY} рассчитываются с использованием температуры воздуха

Вода, многолетний и однолетний лёд имеют разные излучательные способности на частотах, на которых проводятся измерения



Изменения арктического морского льда по данным микроволновых наблюдений

Спутниковое пассивное микроволновое зондирование – одно из наиболее важных и эффективных средств мониторинга изменений ледяного покрова Арктики



NORSEX:

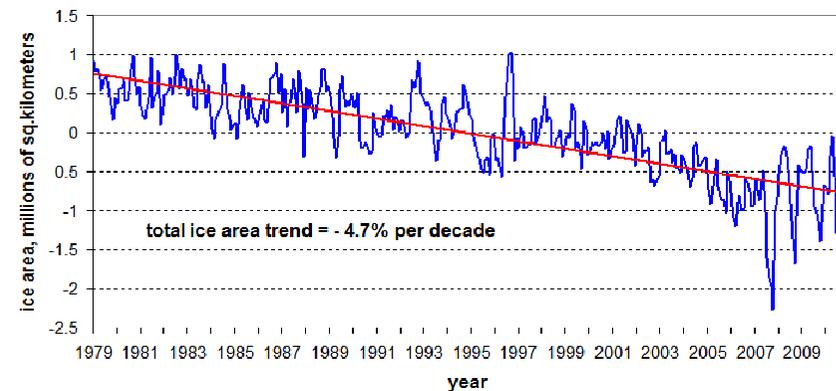
Общая площадь ледяного покрова уменьшалась за время наблюдений в среднем на **48 388 ± 1 870 км² в год**

Полное уменьшение за 32 года составляет примерно **15%**

Изменения арктического морского льда по данным микроволновых наблюдений

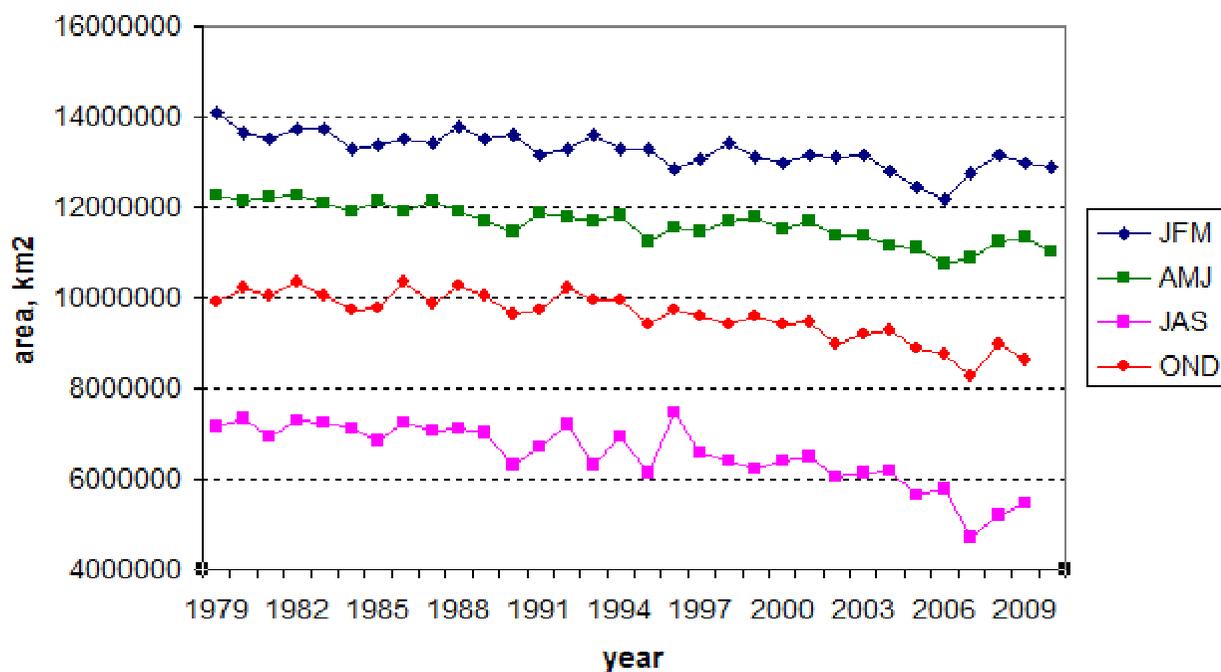
Есть ли вопросы к данным, на основе которых построен тренд?

- + Данные относятся к достаточно длинному промежутку времени (30+)
- + Проведена интер-калибровка приборов (SMMR и SSMI), данные которых использованы, а также проверка однородности данных SSMI при переходе на использование данных с нового спутника
- Качество данных (точность) оценено обобщенно, не в деталях
- Под вопросом качество проверки однородности данных, поскольку периоды перекрывающихся измерений были весьма коротки
- Смущает разница в расчетах по разным алгоритмам



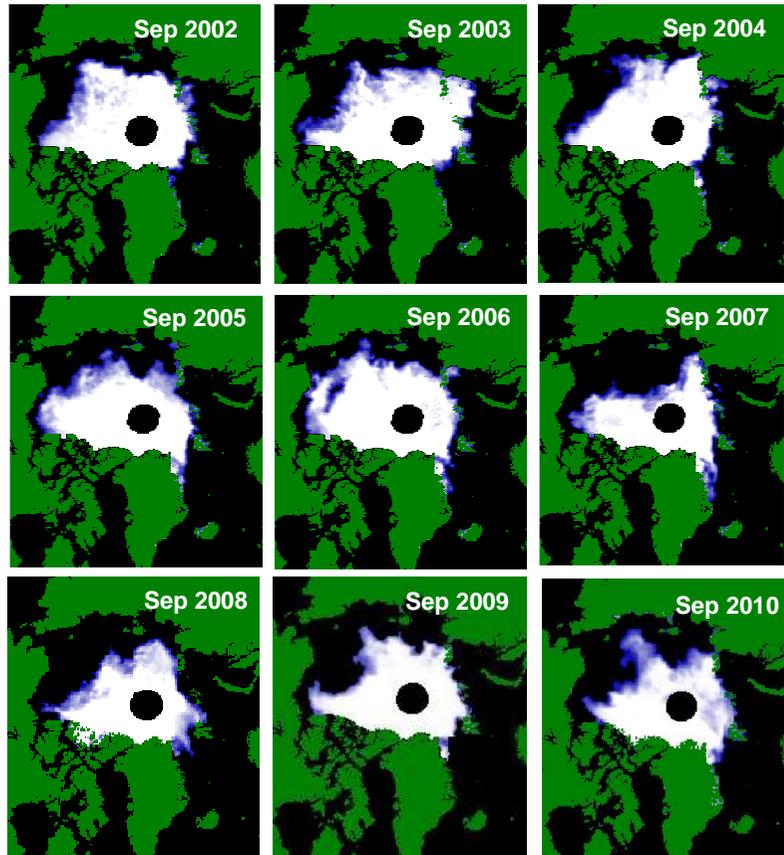
Изменения арктического морского льда по сезонам

NORSEX 1979-2010

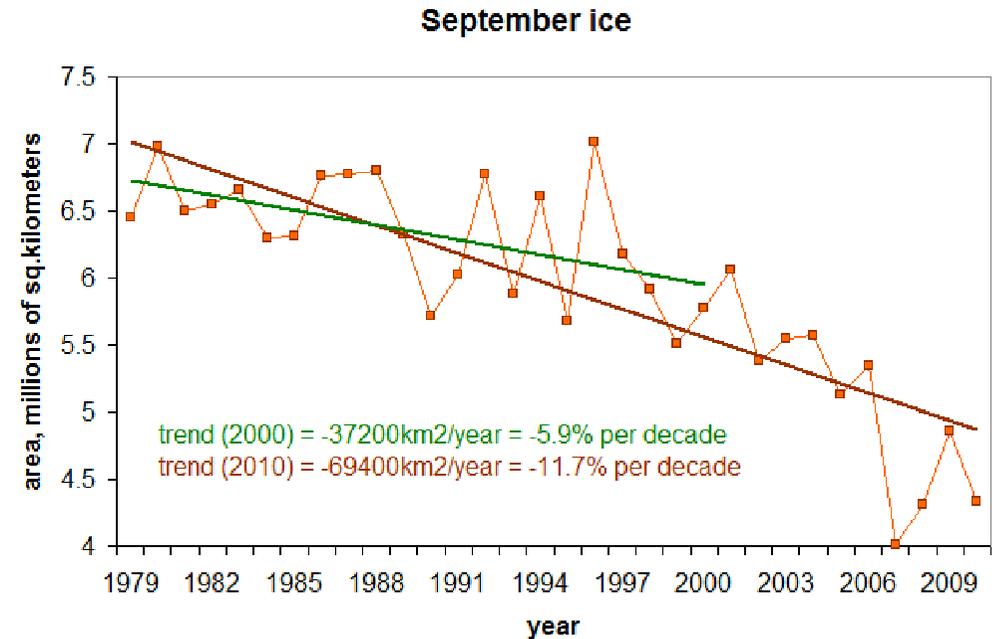


Сезон	Скорость сокращения, в % за декаду
январь-март	2.5
апрель-июнь	3.4
июль-сентябрь	9.7
октябрь-декабрь	5.3

Изменения арктического морского льда по данным микроволновых наблюдений



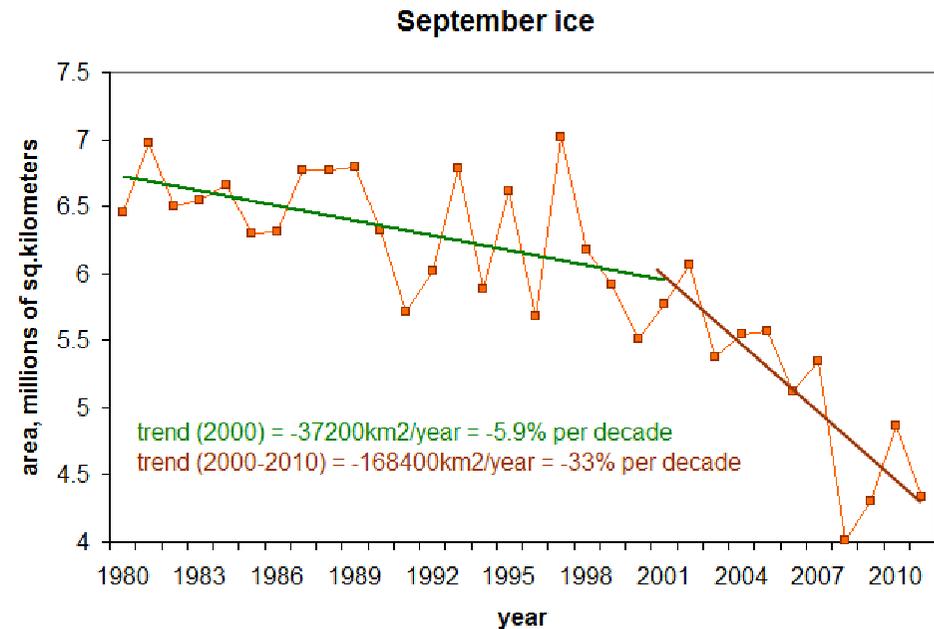
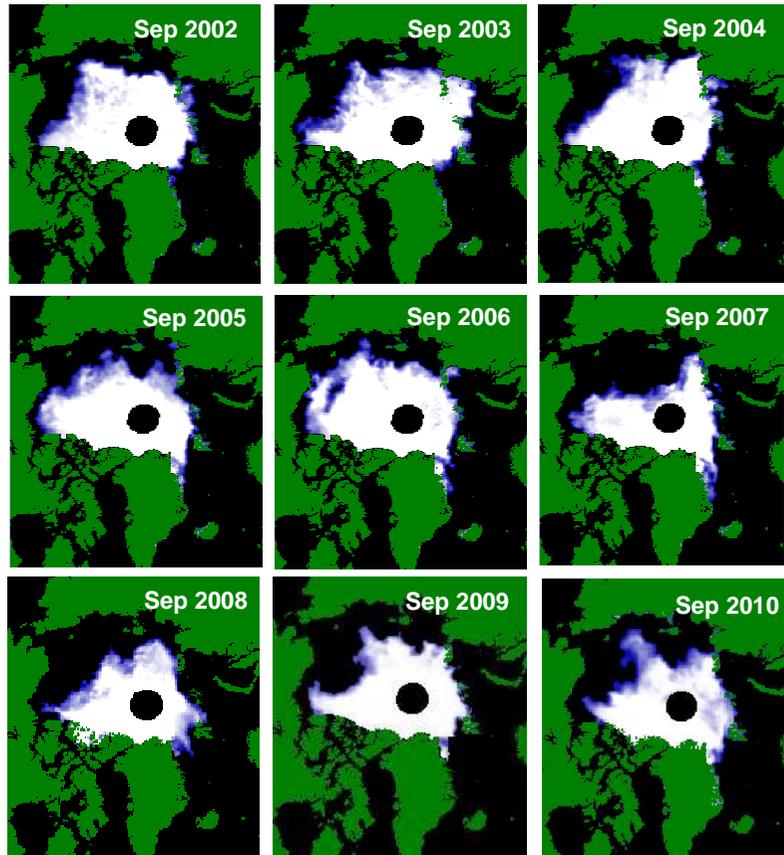
Ледовые карты – средние за **сентябрь** месяц, 2002-2010



Площадь морского льда в сентябре 2002 была меньше, чем в сентябре 1979, на **1.07 млн. км²**

С сентября 2002 по начало сентября 2007 Арктика потеряла уже более **1.3 млн. км²** морского льда

Изменения арктического морского льда по данным микроволновых наблюдений



Тренд уменьшения площади сентябрьского льда изменился по сравнению с трендом конца прошлого столетия примерно **в 5 раз**.

Ледовые карты – средние за **сентябрь месяц**, 2002-2010

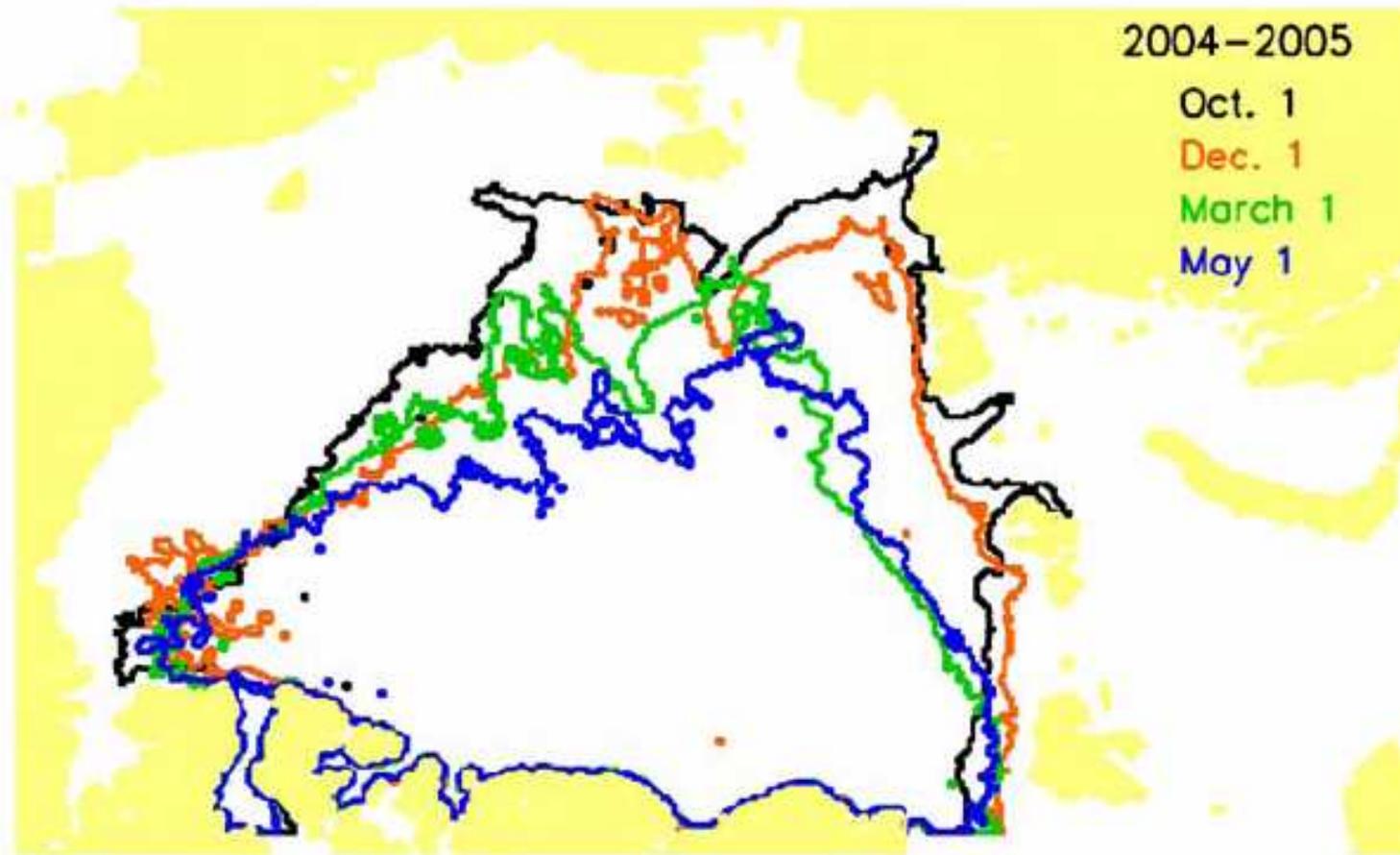
Как менялся многолетний лёд в течение периода спутниковых наблюдений?

С одной стороны, сентябрьский лёд в конце сезона таяния – это по определению многолетний лёд на следующую зиму. Достаточно ли знаний о том, как менялось сентябрьское ледяное покрытие?

Нет.

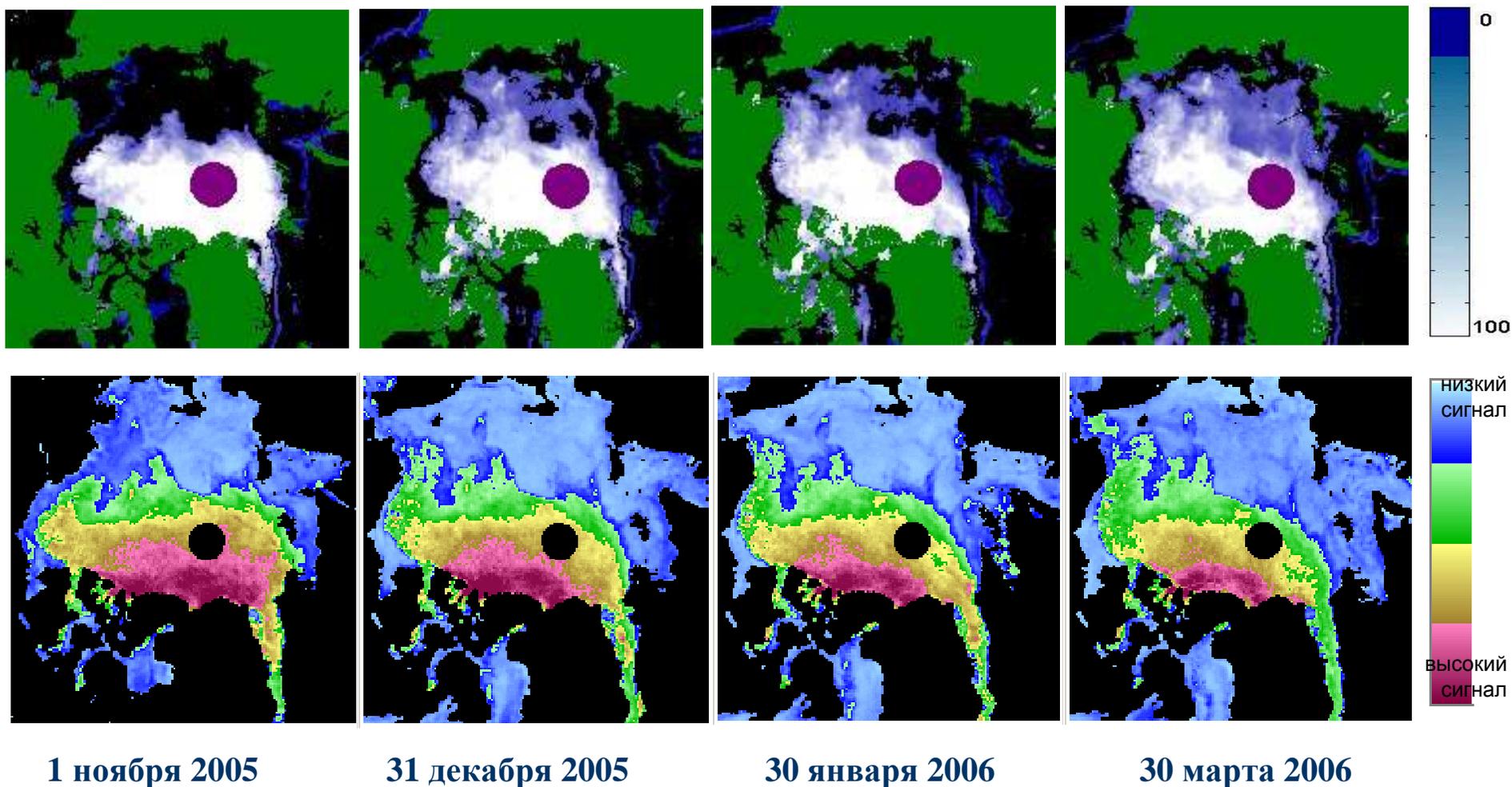
Многолетний лёд в течение зимы дрейфует, раскалывается, участвует в торошении и т.д. Многолетний лёд к концу зимы – это совсем не то, ледяное покрытие, что наблюдалось в сентябре.

Многолетний лёд по данным скаттерометра QuikSCAT



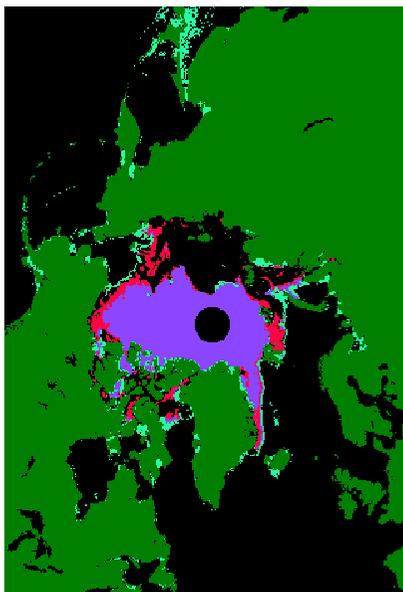
Источник: IFREMER, Франция

Карты многолетнего льда, полученные по алгоритму NORSEX и данные скаттерометра

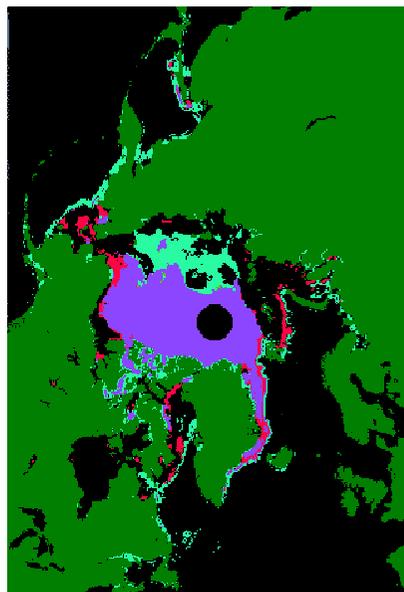


Данные скаттерометра позволяют разделить однолетний и многолетний лёд

Совместная обработка данных пассивных радиометров и скаттерометра -> многолетний лёд

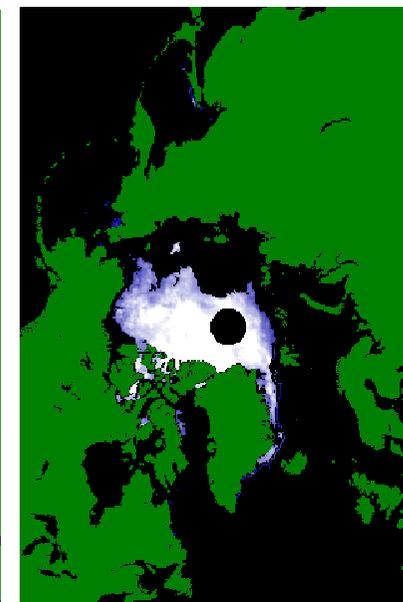
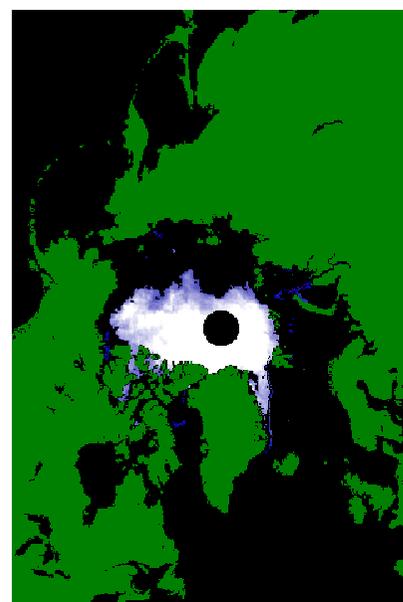


01 ноябрь 2005



01 январь 2006

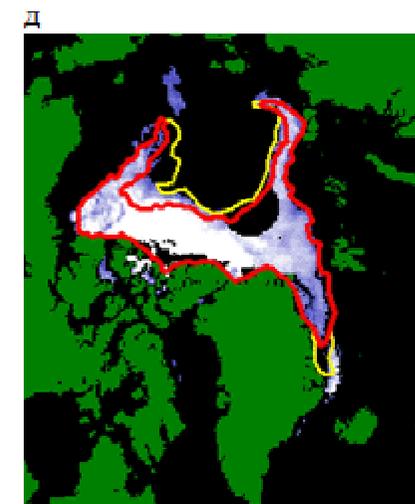
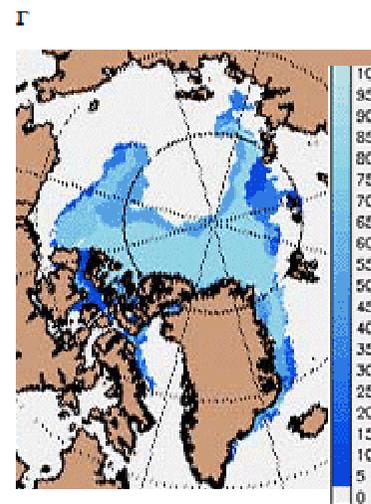
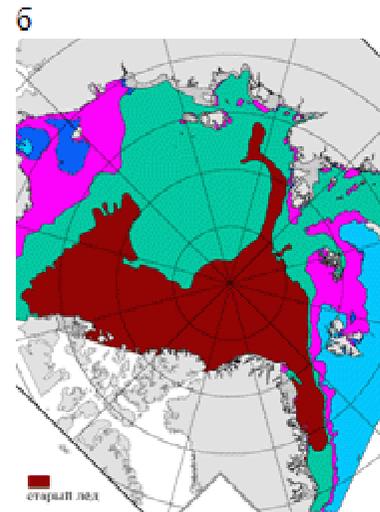
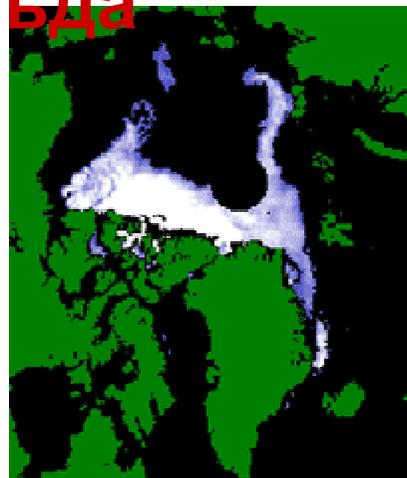
-  - Многолетний лёд по данным пассивного микроволнового зондирования
-  - Многолетний лёд по данным скаттерометра
-  - Пересечение
-  - Не многолетний лёд
-  - Маска суши



Результат совместной обработки →
(оставлена сплоченность более 40 %)

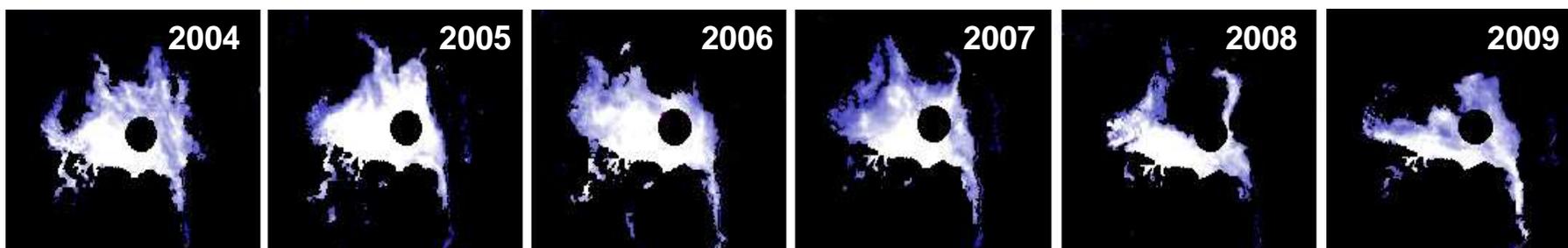
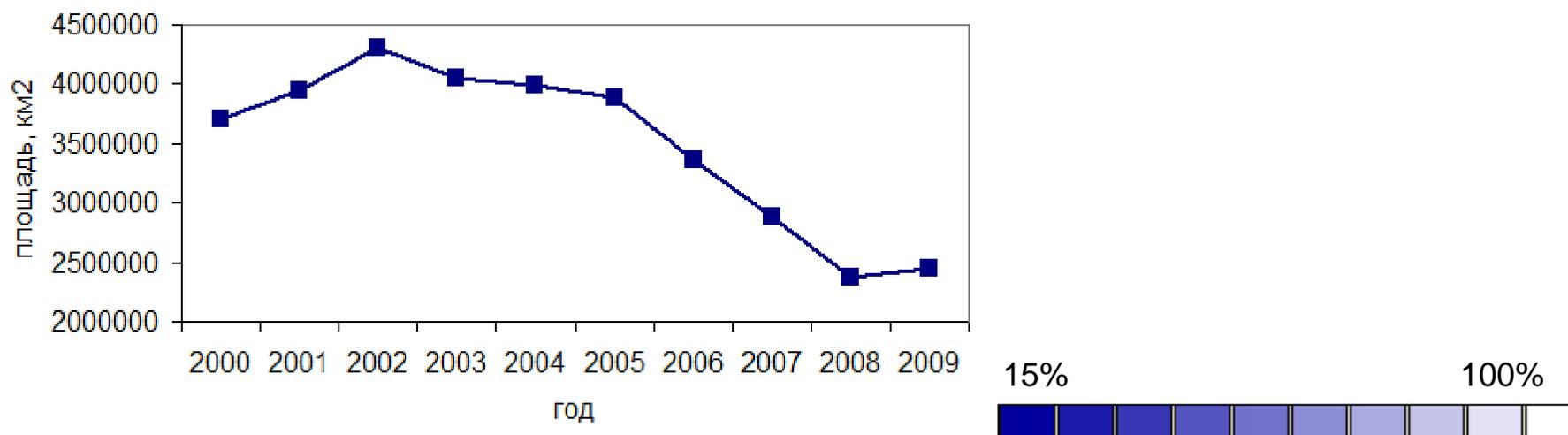
Вертикаль я карт многолетн его льда

а – многолетний лёд по данным пассивного м/в зондирования,
б – ледовая карта ААНИИ,
в – сравнение,
г – ледовая карта NIS (Американского ледового центра),
д – сравнение.
Дата: 19.12. 2007



Частная сплоченность многолетнего льда, рассчитанная по данным пассивного и активного микроволнового зондирования

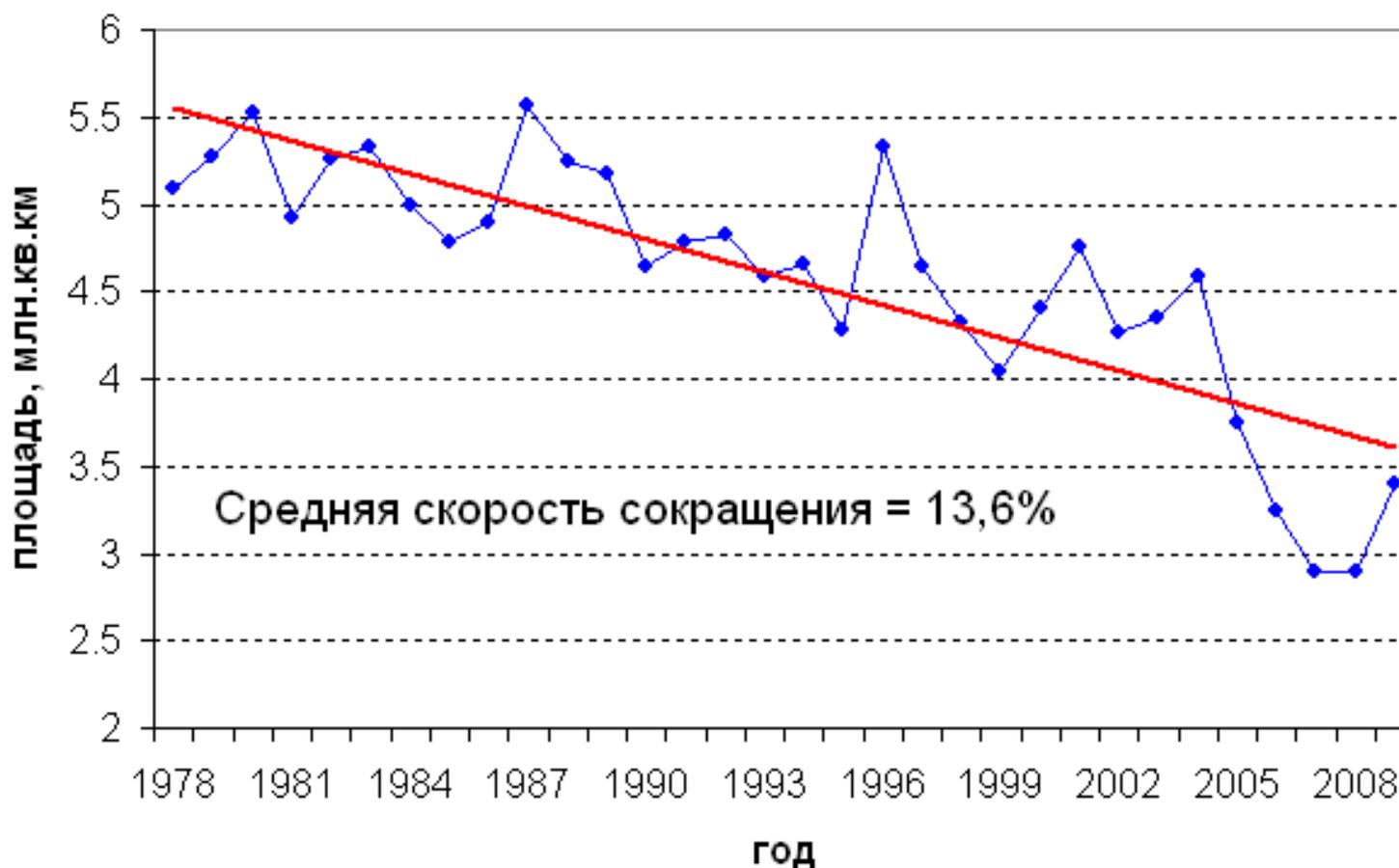
Площадь многолетнего льда (среднее для января)



Карты многолетнего льда на 1 января

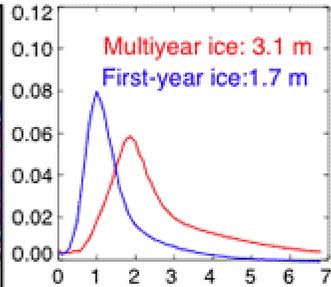
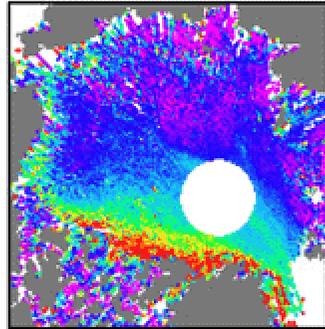
Сокращение площади многолетнего льда Арктики по данным спутниковых наблюдений

Многолетний лёд в ноябре

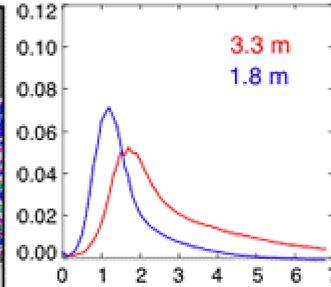
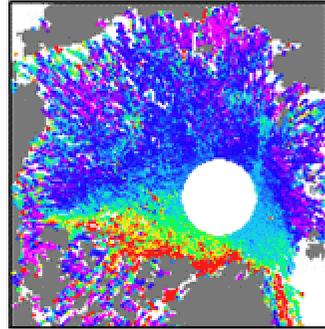


ICESat Thickness Estimates

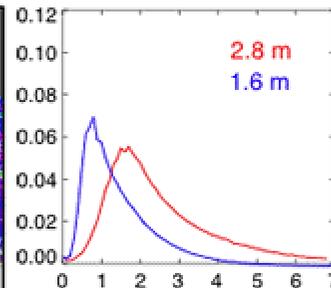
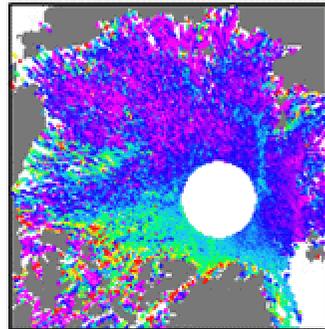
Feb-Mar 06



Mar-Apr 07



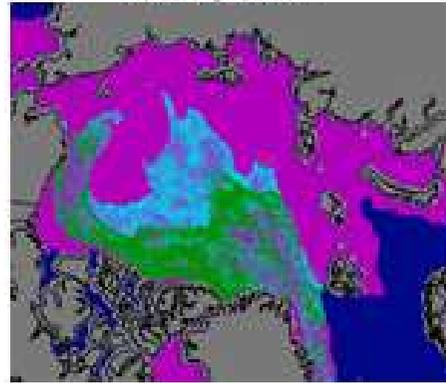
Feb-Mar 08



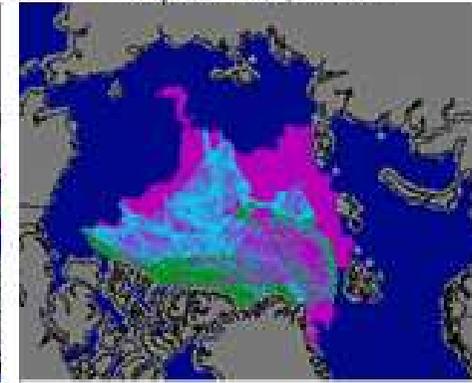
Ice Thickness (m)
0 2.5 5.0 m

National Snow and Ice Data Center courtesy Ronald Kwok, NASA Jet Propulsion Laboratory

March, 2010

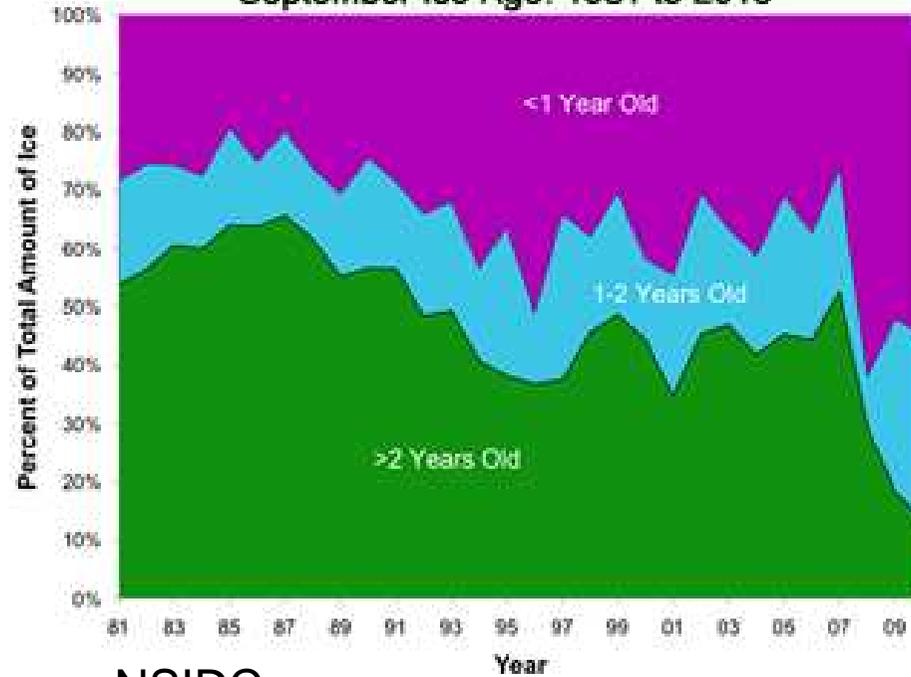


September, 2010



■ First-year ice (<1 year old)
 ■ Second-year ice (1-2 years old)
 ■ Multiyear ice (>2 years old)

September Ice Age: 1981 to 2010



NSIDC courtesy J. Maslanik and C. Fowler, CU Boulder

Источник: NSIDC

Конференция ИКИ, Москва, 17 ноября 2010 г.

Заключение

Спутниковые данные микроволнового диапазона позволяют получить непрерывный, постоянно удлиняющийся (на настоящее время 32-летний) ряд данных о протяженности и сплоченности полного ледяного покрова Арктики

Эти данные обработанные совместно с данными скаттерометра позволяют также проследить изменения состава льдов Арктики с точки зрения типов льдов (однолетний/многолетний)

Ледяное покрытие Арктики демонстрирует в последние десятилетия значительные изменения:

Расчеты показывают, что полный ледяной покров Арктики сокращается со скоростью 4,7 % за декаду, при этом многолетний лёд сокращается значительно быстрее – со скоростью около 13 % за декаду, соответственно меняется соотношение площади, занимаемой однолетними и многолетними льдами

Измерения толщины льда, а также результаты восстановления возраста льда подтверждают существенное сокращение количества старых льдов в Арктике

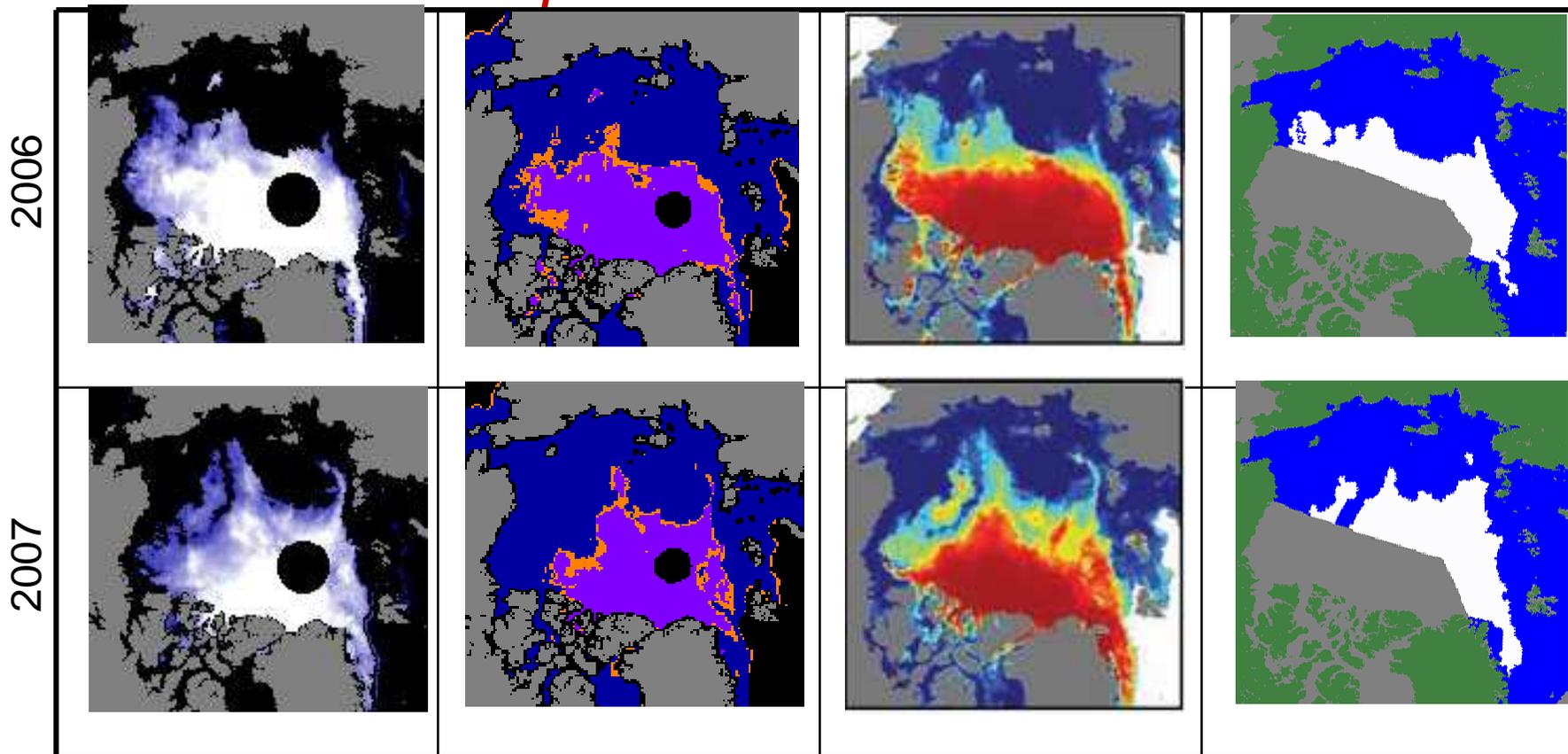
Спасибо за внимание!



Сравнение карт многолетнего льда из разных источников

для 1

января 2006 и 2007 гг.



15% MY ice concentration 100%

MY fraction
uncertain

0.0 MY fraction 0.1

MY fraction

карты многолетнего льда:
NIERSC

OSI SAF

Kwok et al, 2009

ААНИИ