



## Дистанционные методы исследования Арктики





Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН







«Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 03-07 апреля 2017 г.

## www.climate4you.com



## Сезонная изменчивость площади ледяного покрова





Data from: Nimbus-7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) and the Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) Passive Microwave Data dataset. (http://nsidc.org/data/nsidc-0051.html)







# 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



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

#### Толщина морского льда в марте 2012 и 2014 года



## **Ice Drift**



## http://www.aari.ru/projects/ECIMO/index.php?im=300



## Изменчивость льда

Характерные черты ледяного покрова Горизонтальная изменчивость мелкомасштабная (м, км) крупномасштабная (регионы) Вертикальная изменчивость Временная изменчивость Пространственная неоднородность







## Сезонная эволюция

#### Апрель



Май

Июнь





Июль



#### Август



#### Сентябрь



## Торосы







## Трещины







## Снежницы









## Особые формы ледяных образований



## 🛛 Торосы

🛛 Стамухи

🗅 Ледяные острова

🛛 Айсберги







## Заприпайные полыньи





Заприпайные полыньи формируются в зимний сезон под действием устойчивого ветра, направленного под определенным углом к береговой линии: сильный ветер приводит взлому припайного льда и открытию свободной ото льда зоны (полыньи). Полынья обычно существует в течение 1-2 –х суток, после чего заполняется вновь образовавшимся льдом. Однако, этого времени оказывается достаточно для формирования больших объемов молодого льда.





## Что происходит при <u>замерзании морской воды</u>?



Объем, см<sup>3</sup>



#### Состав льда:



#### Последовательность образования льда

Начальная стадия: ледяные иглы, ледяное сало, снежура, шуга, блинчатый

лед; <u>Промежуточная стадия</u>: темный нилас, светлый нилас, блинчатый лед <u>Однолетний лед</u> <u>Многолетний лед</u>















## Однолетний лед

- Умеренная соленость
- Не очень низкая температура
- Большой объем рассола
- Столбчатое строение льда



#### Многолетний лед

- Низкая соленость
- Низкая температура
- Незначительное количество рассола
- Сухая поверхность



Так как потоки тепла зависят и от толщины льда, то профиль температуры во льду по вертикали отличается от линейного

$$c_{\rho} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} + I \right), 0 \le z \le H(t)$$





Расчет скорости нарастания льда

$$\frac{dh}{dt} = 100 \cdot \frac{Q}{\rho_i L}$$

Q - поток тепла; L — удельная теплота плавления льда,  $ho_i$  — плотность льда

Эмпирические формулы расчета толщины льда

$$h = -25 + \sqrt{(25 + h_0) - 8 \cdot \theta}$$
$$\theta = \int_0^t (T_f - T_a) dt \quad -$$
число градусодней мороза

h<sub>0</sub> – начальная толщина льда, см;

Т<sub>f</sub>− температура замерзания, <sup>o</sup>C; T<sub>a</sub> − среднесуточная приземная температура воздуха, <sup>o</sup>C

#### Нарастание льда со свободной поверхности моря



Параметризации:

1. Зубова (Зубов Н.Н., Льды Арктики, М., из-во Главсевморпути, 1945)

$$h_i^2 + 50h_i = 8\Sigma(-T_a)$$

2. Гаврило и Сухорукова (Гаврило В.П., Сухоруков К.К., Труды ААНИИ, 1980, т. 374, с. 85-96)

$$h_i^2 + 6.7h_i = 6.1\Sigma(-T_a)$$

3. Доронина (Доронин Ю.П., Проблемы Арктики и Антарктики, 1959, вып. 1, с. 73-83)

 $h_i = \sqrt{h_{i0}^2 + 12 \sum (-T_a)}$   $\sum (-T_a)$  - Сумма градусо-дней мороза





#### SSM/I (SMIS) данные по концентрации льда в Арктике (NASA team)



http://nsidc.org/data/nsidc-0051.html)

## Методы получения информации о морском льде



Основной источник данных о динамике морского ледяного покрова:

Сеточный архив данных по границам морского льда HadISST1.1, включающий распределение льда Арктики и Антарктики с разрешением 1 градус за период с 1870 года по настоящее время http://badc.nerc.ac.uk/view/badc.nerc.ac.uk\_\_ATOM\_\_dataent\_hadiss Основные архивы данных доспутниковых измерений:

- 1. Архив Арктического и Антарктического научно-исследовательского института
- 2. Архив Национального центра данных по льду и снежному покрову в США
- Массив данных по распространению ледового покрова в Гренландском, Исландском, Норвежском, Баренцевом и западной части Карского моря (Норвегия)

## Спутниковая археология (техноархеология)

Надежные спутниковые данные по морскому льду существуют с 1978 года

- Метеорологические спутники (NIMBUS) летали с 60-х годов.
- Возможно ли восстановить информацию?
- Предпринята первая попытка. Обработано 1300 снимков за 1964 год. http://nsidc.org/monthlyhighlights

### 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

#### 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

Активное микроволновое зондирование: (Радиолокаторы синтезированной апертуры) 7-20 см Площадь покрытия снега, льда, структура льда

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

Структура, площадь, движение льда

Non-Imaging Альтиметры и лидары

Толщина льда

## Диагностика площади и сплоченности морского льда

- Видимые и инфракрасные изображения
- СВЧ-зондирование (день, ночь, любая погода)





# Что нам дает пассивное микроволновое зондирование?

- Относительно длинные ряды непрерывного мониторинга состояния ледяного покрова
- Ежедневная информация независимо от облачности и погодных условий



Спутник	Прибор	Период работы	Каналы	Масштаб
Nimbus-5	Electrically Scanning Microwave Radiometer (ESMR)	1972-1977	19 ГГц, Горизонтальная поляризация	25 km
Nimbus-7	Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR)	1978-1987	6, 10, 18, 21, 37 ГГц (Горизонтальная и вертикальная поляризация)	25 km
Defense Meteorological Satellite Programme (DMSP)	Special Sensor Microwave Imager (SSM/I), Special Sensor Microwave (Imager/Sounder SSMIS)	1987-по настоящее время	19, 37, 85 ГГц Горизонтальная и вертикальная поляризация), 22 ГГц–Вертикальная поляризация	12-25 km
Aqua	Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System (AMSR-E)	2002-4 Октября2011	6, 10, 18, 23, 36, 89 ГГц Горизонтальная и вертикальная	6 km
GCOM-W	Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR-2)	По настоящее время	6, 10, 18, 23, 36, 89 ГГц (Горизонтальная и вертикальная	6 km
Coriolis	Polarimetric microwave radiometer WindSat	2003 – по настоящее время	6.8, 10.7, 18.7, 23.8 и 37.0 ГГц (6.8 и 37 ГГц- Горизонтальная и	8-70 km

## Российский радиометр МТВЗА (Метеор 3М)



- Частотные каналы (сканерного типа) 6,9, 10,6, 18,7, 23,8, 31, 36,5, 42, 48, 89 ГГц. Каждый канал с двумя поляризациями.
- Частотные каналы измерительного типа – 10 каналов в полосе поглощения кислорода 5 мм, 3 канала в полосе поглощения водяного пара (183 ГГц).
- Основная апертура антенны 60 см.
- Полоса конического обзора 2000 км.
- Элемент разрешения от 7 до 200 км.
- Угол наблюдения (на поверхности Земли) 65°.
## Миссия DMSP - Радиометр SSM/I

Космические аппараты серии DMSP (США) (Defense Meteorological Satellite Program) с радиометрическими приборами SSM/I на борту были запущены в 1987 в рамках спутниковой метеорологической программы министерства обороны США. В 1992 г. радиометрические данные программы DMSP были рассекречены и стали общедоступными. Спутники серии DMSP имеют солнечно-синхронную, близкую к полярной низкую круговую орбиту, каждый спутник серии совершает 14.2 витка в сутки.

Частота (ГГц)	19.35	22.235	37.0	85.5
Поляризация (V/H)	V, H	V	V, H	V, H
Чувствительность (К)	0.5	0.7	0.4	0.8
Полоса пропускания (МГц)	250	250	1000	1500
Ширина ДН антенны (град.)	1.87	1.65	1.1	0.45
Пространственное разрешение вдоль и	69x43	60x40	37x29	15x13
поперек скана (км)				r i
Период сканирования (сек.)	1.9			
Угол обзора (град.)	51.2			
Угол зондирования (град.)	53			
Ширина полосы обзора (км)	1400			
Вес (кг)	48.5			
Мощность потребления (Вт)	45			

# A COLORIAL STREET



Комплекс	Аппарат	Начало работы	Окончание работы	кончание работы Частоты	
SSM/I	DMSP				
F08		Jul 1987	Dec 1991	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 85.5(V-H)	37 x 28 - 15 x 13
F10		Dec 1990	Nov 1997	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 85.5(V-H)	
F11		Dec 1991	May 2000	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 85.5(V-H)	
F13		May 1995	Nov 2009	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 85.5(V-H)	
F14		May 1997	Aug 2008	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 85.5(V-H).5	
F15		Dec 1999	по наст. время (2006)	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 85.5(V-H).5	
SSMIS	DMSP				
F16		Oct 2003	по наст. время	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 915(V-H)	
F17		Dec 2006	по наст. время	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 915(V-H)	
F18		Oct 2009	по наст. время	19.3(V-H), 22.3V, 36.5(V-H), 915(V-H), 91	
AMSR-E	AQUA	May 4, 2002	Oct 4, 2011	6.93(V-H), 10.65(V-H), 18.7(V-H), 23.8V, 36.5(V- H), 89.0(V-H)	62 x 35 – 5.0 x 3
AMSR-2	GCOM-W1	May 18, 2012	по наст. время	6.93(V-H), 10.65(V-H), 18.7(V-H), 23.8V, 36.5(V- H), 89.0(V-H)	62 x 35 – 5.0 x 3







12 января 2009 г., 19 ГГц (Максимальный ледяной покров) 20 августа 2009 г., 19 ГГц (Минимальный ледяной покров)

База данных SSM/I изображений полярных районов *POLE-RT-Fields* http://www.iki.rssi.ru/asp/col\_0006/col\_0006.htm

Алгоритмы восстановления сплоченности ледяного покрова из данных пассивного микроволнового зондирования

- NASA Team (NT)  $\rightarrow$  NASA Team 2 (NT2)
  - Bootstrap
- Svendsen  $\rightarrow$  ARTIST Sea Ice (ASI)
  - NORSEX
  - SEA LION (SL)
    - Bristol
  - AESYork  $\rightarrow$  CalVal
    - TUD
    - ECICE
  - 2-Phasen-Algorithmus
    - Lomax MY

OSI SAF

(Bristol + Bootstrap) (Bristol + Bootstrap + TUD) (Bristol + NASA Team)

- DMI-Hybrid
  (NT + Bootstrap)
- NIC Hybrid
  (NT + CalVal)
  VASIA (ИКИ РАН)

## Сравнения сплоченности и площади морского льда по разным алгоритмам (Ivanova et al. 2014)







Сравнение различных алгоритмов расчета сплоченности льда по данным SSM/I с визуальными наблюдениями во время рейса на ледоколе «Капитан Драницын»

#### ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА АЛГОРИТМОВ

- Экспериментальные данные → Характерные особенности поверхностей → Параметры определяемые сплоченностью льда.
- Решается уравнение переноса излучения для водноледяной поверхности → Вычисляются параметры, выявленные на шаге 1. Начальные условия - характерные значения излучательных способностей, яркостных или физических температур различных поверхностей для разных временных сезонов (связующие точки).
- Спутниковые данные → Определяются параметры, что и на шаге 2.
- 4. Сравнение параметров шага 2 и 3 → Сплоченность льда.

## ИСТОЧНИКИ ОШИБОК АЛГОРИТМОВ (10%, лето-осень до 50%)

• Связующие точки (tie-points)

сезонная изменчивость излучательной способности морского льда и снежного покрова;

внесезонные региональные вариации излучательной способности снежно-ледяной поверхности.

- Погодные эффекты дождь, снег, а также метель и т.п.
- Поверхностные эффекты шероховатость поверхности, снежный покров, снежницы.

#### National Snow and Ice Data Center, http://nsidc.org/

## Основные архивы:

#### Университет Бремена, Германия

http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amsr/ http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amsr2/ http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/ssmis/

#### Институт Арктики и Антарктики

http://www.aari.ru

Международный центр по исследованию окружающей среды и дистанционному зондированию им. Нансена, Норвегия http://arctic-roos.org/observations

## Арктика, 15.01.2007



## Арктика, 15.08.2007







15.09.2012

#### Средняя относительная площадь снежниц



Оперативное ледовое картирование

(многоспектральная спутниковая информация): сплочённость, положение кромки, дрейф и возраст льдов.

1.Информации ИСЗ видимого и инфракрасного диапазонов с разрешением 250—1000 м. (AVHRR/NOAA, MODIS)

2.Спутниковые радары

3.Радиолокаторы с синтезированной апертурой (ERS-2, Envisat и Radarsat).

4. Микроволновые радиометры (SSMI, AMSR).

Наиболее обеспеченные архивы ледового картирования находятся в ААНИИ (Арктический и Антарктический научноисследовательский институт), Национальном ледовом центре США и Канадской ледовой службе.





## Виды ледовых карт

При оперативном гидрометеорологическом обеспечении (ГМО) морских операций используются:

•обзорные ледовые карты, которые составляются на основе комплексирования за 2-3 суток многоканальной спутниковой информации, данных гидрометстанций и судов, выпускаются по расписанию, предназначены для краткосрочного планирования морских операций и выбора вариантов плавания;

•детализированные ледовые карты, которые составляются на основе информативного спутникового снимка не позднее 2-3 часов после его получения, предназначены для непосредственного управления морской операцией и выбора оптимального маршрута плавания

#### Пример обзорной ледовой карты





## Пример детализированной ледовой карты

Охотское море. Участки Одопту, Чайво-Аркутунь-Даги

46

w-



#### Виды ледовых карт

• В теплый период года (с 1 июня по 30 сентября) на ледовых картах отображаются границы зон квазиоднородных по общей сплоченности льда

47

 В холодный период года (с 1 октября по 31 мая) на ледовых картах отображаются границы зон квазиоднородных по общей сплоченности льда, частной сплоченности и формам льда каждой возрастной градации

При наличии информации, на ледовых картах отображается балл торосистости, сжатия и других навигационно важных характеристик, а также положение крупных разрывов в ледяном покрове

#### Региональные ледовые карты (www.aari.ru)

8 августа 2014 года, сплоченность

7 января 2014, возрастные градации льда



48



## Толщина льда

- 1. ИК-радиометр. По разнице температуры льдов различной толщины.
- 2. СВЧ-радиометр. По разнице структуры льда.
- 3. Радиолокационный альтиметр. Измеряет возвышение льда. CryoSat-2 - Interferometric Radar Altimeter (SIRAL)
   (2010 – н.в.)



4. Лазерный альтиметр (лидар) – общее возвышение поверхности льда и снега. IceSat - лидар GLAS (2003 – 2010)





## 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).







#### Состав атмосферы

# Информация, которую мы можем получить из спутниковых данных:

Атмосферные газы:

Содержание в столбе атмосфере:  $O_3$ ,  $NO_2$ , BrO, OClO,  $H_2O$ , SO<sub>2</sub>, HCHO, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO, CHOCHO

Вертикальный профиль:  $O_3$ ,  $NO_2$ , BrO, OClO, NO,  $H_2O$ ,  $NO_3$ 

#### Аэрозоль, облака:

Высота верхней границы облаков, оптическая толщина, облачность, содержание жидкой влаги и ледяных кристаллов.

Тип аэрозоля, размер, оптические параметры аэрозоля





- СН4, простейший углеводород,
  бесцветный газ, без запаха
- Метан в атмосфере был обнаружен Мигеотти в 1947 г. (Migeotte, 1948)
- Время жизни в атмосфере 8-12 лет
- Концентрация метана в долевом отношении не зависит от высоты в пределах тропосферы, а затем быстро убывает, достигая на высоте 50 км около 300 ppb

Метан интенсивно поглощает тепловое излучение Земли в инфракрасной области спектра на длине волны 7,66 мкм.

Газ	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	O3	N <sub>2</sub> O	CH4
Вклад в парниковый эффект, ⁰С	20,6	7,2	2,4	1,4	0,8

#### Вклад различных газов в парниковый эффект

1% прироста содержания метана дает вклад примерно в 25 раз более высокий, чем последствия от увеличения содержания двуокиси углерода на 1%.

Метан в 25 раза сильнее поглощает тепловую радиацию, чем углекислый газ. Спектральные полосы метана менее интенсивны.

#### Концентрации метана по данным кернов и измерений





Основной современный источник метана – микробиологические процессы (болота, как естественные, так и искусственные рисовые поля), а также жвачные животные и свалки. Газовые факелы и угольные разработки – пример выделения древнего метана. Метан, выделяемый океаном (газогидраты), очень мал – только несколько процентов.



## Метаногидраты

- Кристаллическая структура формируется молекулами воды, внутри каркаса которой находится молекула метана (обычно 1 моль CH4 приходится на 5.75 молей H2O)
- □ Устойчив при высоких давлениях и низких температурах
- При падении давления или росте температуры распадается на метан и воду, но может существовать и в метастабильном состоянии (при температурах, превышающих температуру таяния)

Плотность около 900 кг/м<sup>3</sup>







Пузырьки метана со дна океана около Шпицбергена (Источник: National Oceanography Centre, Southampton)

#### Фазовая диаграмма

#### метаногилоатов





Положение метаногидратов по расчетам Соловьева и др., 1987

Разрушение метаногидратов может привести к выбросу 2000 Pg  $CH_4$ : в глобальной атмосфере ~ 5 Pg  $CH_4$  Упрощенная схема метаногидратов в Арктике

Расчеты показывают, что метаногидраты могут находиться в стабильном состоянии либо на глубинах больше 300 м, либо под слоем вечной мерзлоты



Перенос метана к поверхности воды

- При пузырьковом выделении метана, пузырьки достигают поверхности воды только на шельфах, в районах глубин несколько десятков метров, из-за газообмена с окружающей водой
- При механическом воздействии куски метаногидрата могут отрываться от дна и достигать поверхности воды (Brewer et al. 2002)
- Турбулентная диффузия растворенного метана эффективный механизм переноса, поскольку окисление метана в океане характеризуется временем жизни 50 лет (Rehder et al. 1999)

# Что более важно? Эмиссия метана из океана или из арктической тундры?

- Материковая вечная мерзлота тает, но подводная мерзлота тоже может освобождаться из-за глобального потепления.
- Эмиссия метана из-за таяния материковой мерзлоты может быть постепенной. Эмиссия метана из-за таяния подводной мерзлоты может быть как постепенной, так и носить взрывной характер.
- Данные о одновременном состоянии обеих систем практически отсутствуют.
#### Солнечное и тепловое ИК излучение



# Ближний ИК диапазон, 1.8 µm, (SCIAMACHY) большие ошибки и сложность использования в высоких широтах: низкое солнце, отражение ото льда и снега и т.д.

Инструменты, основанные на использовании теплового ИК излучения (~7.8 µm) на полярной орбите (AIRS, IASI): не зависят от времени суток, но низкая чувствительность у поверхности



Начиная с 2002 года на орбите работают инструменты AIRS (Atmospheric Infrared Sounder ) (спутник AQUA, NASA) тепловое ИК-излучение.

http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/data-holdings/by-access-method/data\_access.shtml

IASI — (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) европейский спектрометр, запущенный на борту спутника Metop-1. Поставляет данные с 2007 года. В настоящее время на орбите находится его улучшенный вариант IASI-2. У IASI лучшее спектральное разрешение, чем у AIRS, а также лучшая чувствительность в нижней части тропосферы (0-4 км.)





# Сравнение среднемесячных спутниковых снимков за октябрь 2009 и октябрь 2013



#### AIRS концентрации в нижней тропосфере



сентябрь 2003-2011





Сентябрь 2009-2011







Methane concentration measurement from Arctic observatories . October maximum is observed on Pallas and Ny-Alesund station. We analyzed accessible satellite IASI data to estimate the possibility its utilization for methane emission study in Northern Europe boreal zone.

#### IASI methane in the lower troposphere average for period 2008-2014



# Methane emission rate from satellite data. (Yurganov et al., 2016). Maximum emission is observed in October.





# Судовые наблюдения

#### Август-сентябрь 2013

Сентябрь 2007

#### Октябрь 2009



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 МЩ 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 МЩ 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



(a) ИК-изображение спектрорадиометра 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



COSMO-CLM 100E 120E 140E 160E





QSCAT (≈18:31) 180E 80E 80N 75N 70N

# IASOA – Арктические обсерватории



#### 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



#### Nansen and Amundsen basins observation system (NABOS)

http://nabos.iarc.uaf.edu/

2004-2015



Доступ к данным http://www.esrl.noaa.gov/psd/arctic/observatories/tiksi/doc/Tiksi.swf





# Спутниковые методы



<u>Снег</u> Площадь покрова Увлажненность снега Высота снежного покрова

<u>Лед</u> Площадь и сплоченность Возраст и тип Толщина Движение Температура поверхности Толщина снежного покрова Полыньи и разводья

<u>Суша, мерзлота</u> Температура поверхности Увлажненность почвы Индекс вегетации

#### <u>Атмосфера</u>

- 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

(хорошо определимы; методы определения разрабатываются; плохо определимы)

# Профили температуры и влажности по данным спектометра AIRS

Профили, полученные с помощью

2.5

3

2



# Температурные инверсии: точность оценки 2-3 <sup>0</sup>С по мощности и 150-200 м. по высоте Высота (m)

Median Temperature Inversion Strength With MODIS in Arctic in Jan



Median Temperature Inversion Strength With MODIS in Antarctic in Jul



Median Temperature Inversion Depth With MODIS in Arctic in Jan



Median Temperature Inversion Depth With MODIS in Antarctic in Jul



## Климат: 38 лет пассивного микроволнового зондирования



Оптическая толщина облаков, Июнь





#### Воздействие облаков на радиацию, июнь





Спутниковые методы незаменимы для анализа динамики глобального и регионального климата Арктики

Необходима валидация спутниковых данных подспутниковыми измерениями

Необходимо развитие новых методов обработки спутниковой информации

✤Необходимы дальнейшее развитие систем ассимиляции спутниковых данных.

✤Необходимо развитие глобальных информационных систем, включающих данные приземных, самолетных, аэростатных и спутниковых измерений с данными моделирование.



