



# Идентификация интенсивных мезомасштабных циклонов над восточным сектором Евразийской Арктики по данным мультисенсорных спутниковых измерений и реанализа

Гурвич И.А.<sup>1</sup>, Пичугин М.К.<sup>1</sup>, Заболотских Е.В.<sup>2</sup>

*1 Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
Владивосток, [gurvich@poi.dvo.ru](mailto:gurvich@poi.dvo.ru), [pichugin@poi.dvo.ru](mailto:pichugin@poi.dvo.ru)*

*2 Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург, [liza@rshu.ru](mailto:liza@rshu.ru)*

**Полярные мезоциклоны (МЦ) являются продуктом интенсивного взаимодействия океана и атмосферы. Сокращение арктического ледяного покрова и повышение температуры морской поверхности приводит к активизации мезоциклонической деятельности над восточным сектором Евразийской Арктики (ВЕА), где ранее она считалась маловероятной.**

**Необходимость изучения МЦ в этом регионе диктуется развитием Северного морского пути, освоением новых районов рыболовства и разработкой добычи полезных ископаемых на арктическом шельфе.**

**Репрезентативный статистический анализ и выявление климатических трендов в регионе осложняются трудностями идентификации МЦ. Это связано с ограниченной возможностью использования спутниковых видимых изображений в условиях полярной ночи и небольшой вертикальной мощностью облачной системы МЦ, что при многослойной облачности мешает их обнаружению.**

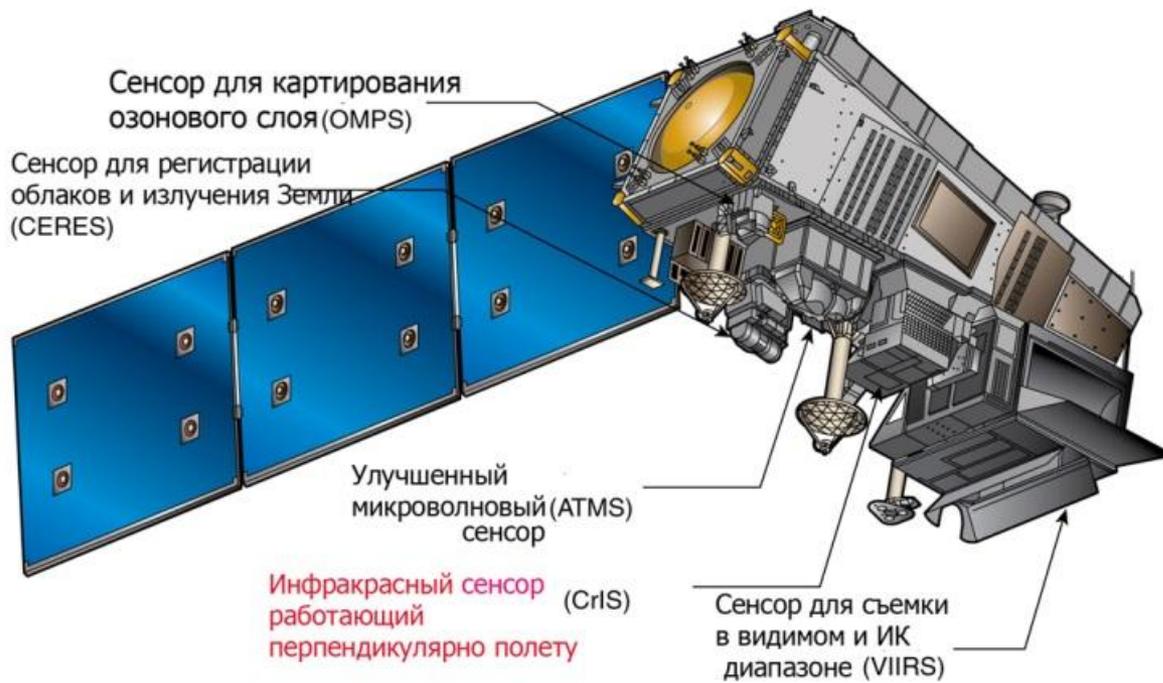
**Для решения задачи обнаружения и достоверной идентификации МЦ в исследовании применялся синергетический подход, основанный на комплексном использовании мультисенсорных спутниковых измерений и современных реанализов высокого разрешения.**

## Методы и данные

Исследование проводилось на основе комплексного анализа:

- полей вектора ветра и давления на уровне моря по данным реанализов **NCEP-CFSR, ERA Interim, MERRA и ASR**;
- полей приводного ветра по измерениям скаттерометров **SeaWinds** (спутник **QuikSCAT**) и **ASCAT** спутники (**MetOp-A** и **MetOp-B**);
- полей приводного ветра **W**, интегрального паросодержания атмосферы **V** и водозапаса облаков **Q** по данным микроволновых радиометров **AMSR-E** (спутник **Aqua**) и **AMSR2** (спутник **GCOM-W1**), для восстановления которых применялись оригинальные алгоритмы, основанные на физическом моделировании радиояркостных температур уходящего излучения системы океан-атмосфера и их последующем обращении в геофизические параметры при помощи нейронных сетей;
- видимых и инфракрасных (ИК) изображений облачности по данным спектрорадиометра **MODIS** (спутники **Aqua** и **Terra**) и 22-полосного радиометра **VIIRS** (спутник **Suomi NPP**);
- синоптических карт приземного анализа и барической топографии *Национального климатического центра данных NOAA* (<http://nomads.ncdc.noaa.gov/>).

**МЦ** считался идентифицированным, если мезоциклоническая циркуляция обнаруживалась в полях приводного ветра с  $W \geq 12$  м/с и подтверждалась полями облачности, водяного пара и капельной влаги.



## Suomi NPP

(Национальное полярно-орбитальное партнерство) – американский метеорологический спутник, назван в честь метеоролога из Университета Висконсин-Мэдисон **Verner E. Suomi**. Запущен 28 октября 2011 г. на солнечно-синхронную орбиту высотой 824 км.

### Инструменты:

**Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS)** – микроволновый радиометр.

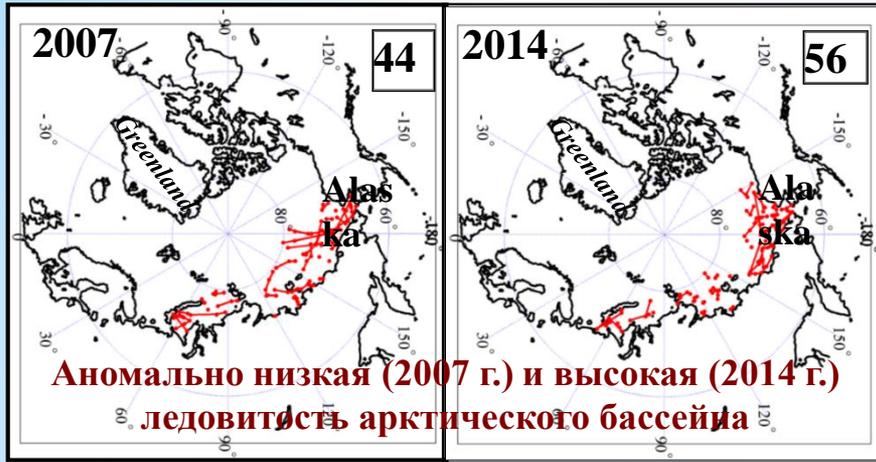
**Cross-track Infrared Sounder (CrIS)** – интерферометр для определения влажности.

**Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS)** – набор спектрометров для измерений уровней озона.

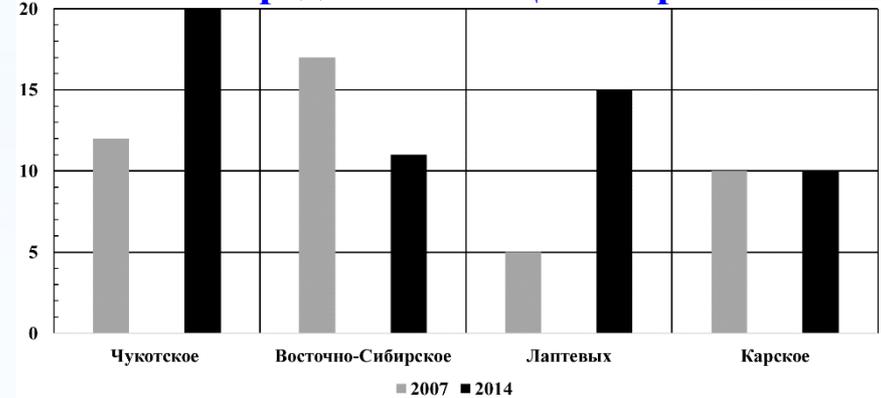
**Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)** – 22-х полосный радиометр с пространственным разрешением 750 м и 375 м, работающий в УФ, ИК и видимом диапазонах длин волн.

**Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)** – радиометр для измерения тепловых потоков от Земли и солнечных, отраженных от подстилающей поверхности и атмосферы.

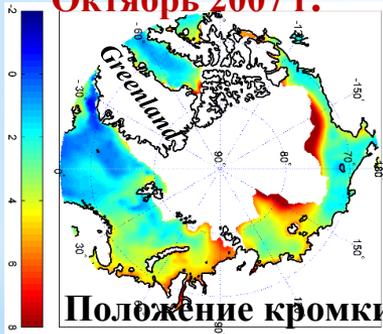
# Сравнительные оценки межгодовой и внутригодовой изменчивости мезоциклонической деятельности над восточным сектором Евразийской Арктики в 2007 и 2014 гг. (по данным реанализа NCEP-CFSR и изображениям MODIS)



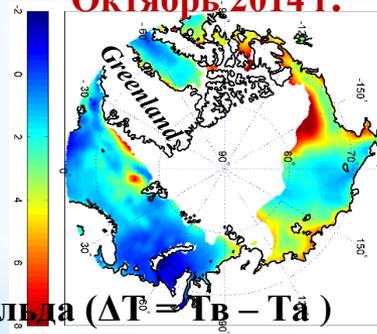
## Распределение МЦ по морям



## Октябрь 2007 г.



## Октябрь 2014 г.

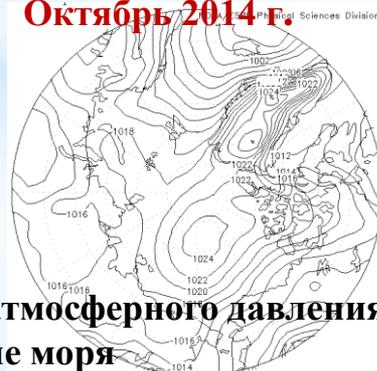


Положение кромки льда ( $\Delta T = T_v - T_a$ )

## Октябрь 2007 г.

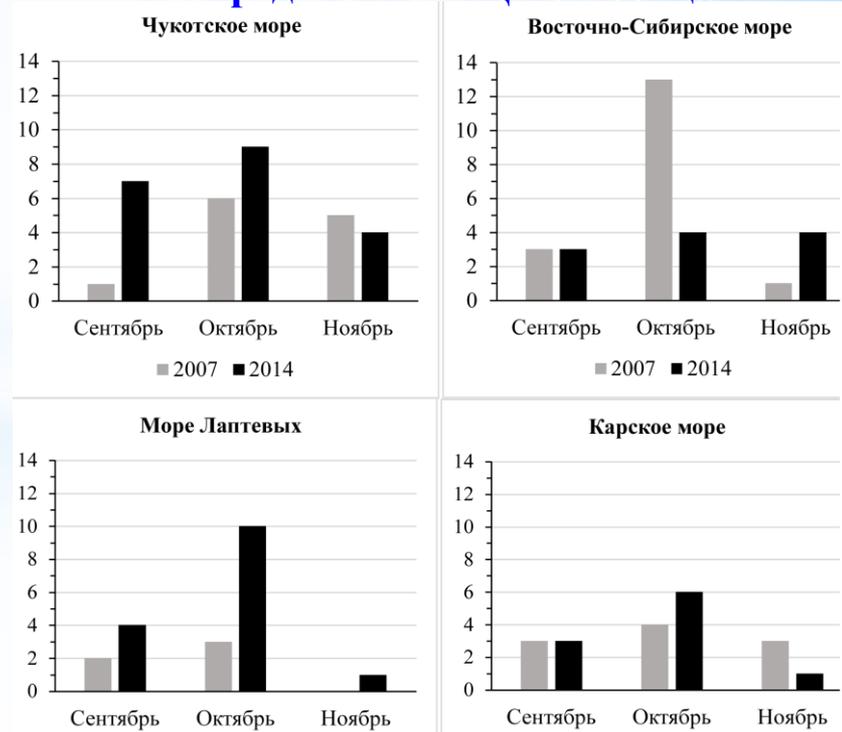


## Октябрь 2014 г.



Среднемесячная карта атмосферного давления на уровне моря

## Распределение МЦ по месяцам



## Характеристики используемых реанализов

Реанализ	Пространственное разрешение	Временной период (гг.)	Шаг
<b>NCEP-CFSR</b> (National Centers for Environmental Prediction-Climate Forecast System Reanalysis)	0,312°x0,312°	1979-2010	1 ч
	0,205°x0,204° разрешение модели 34 км	2011-настоящее время	1 ч
<b>ERA Interim ECMWF</b> (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)	0,125° x 0,125° разрешение модели 79 км	1979- настоящее время	3 ч
<b>MERRA</b> (The Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications)	0,5° x 0,5° разрешение модели 50 км	1979- настоящее время	1 ч
<b>ASR</b> (Arctic System Reanalysis Project)	0,25 x 0,25° разрешение модели 30 км	2000-2012	3 ч

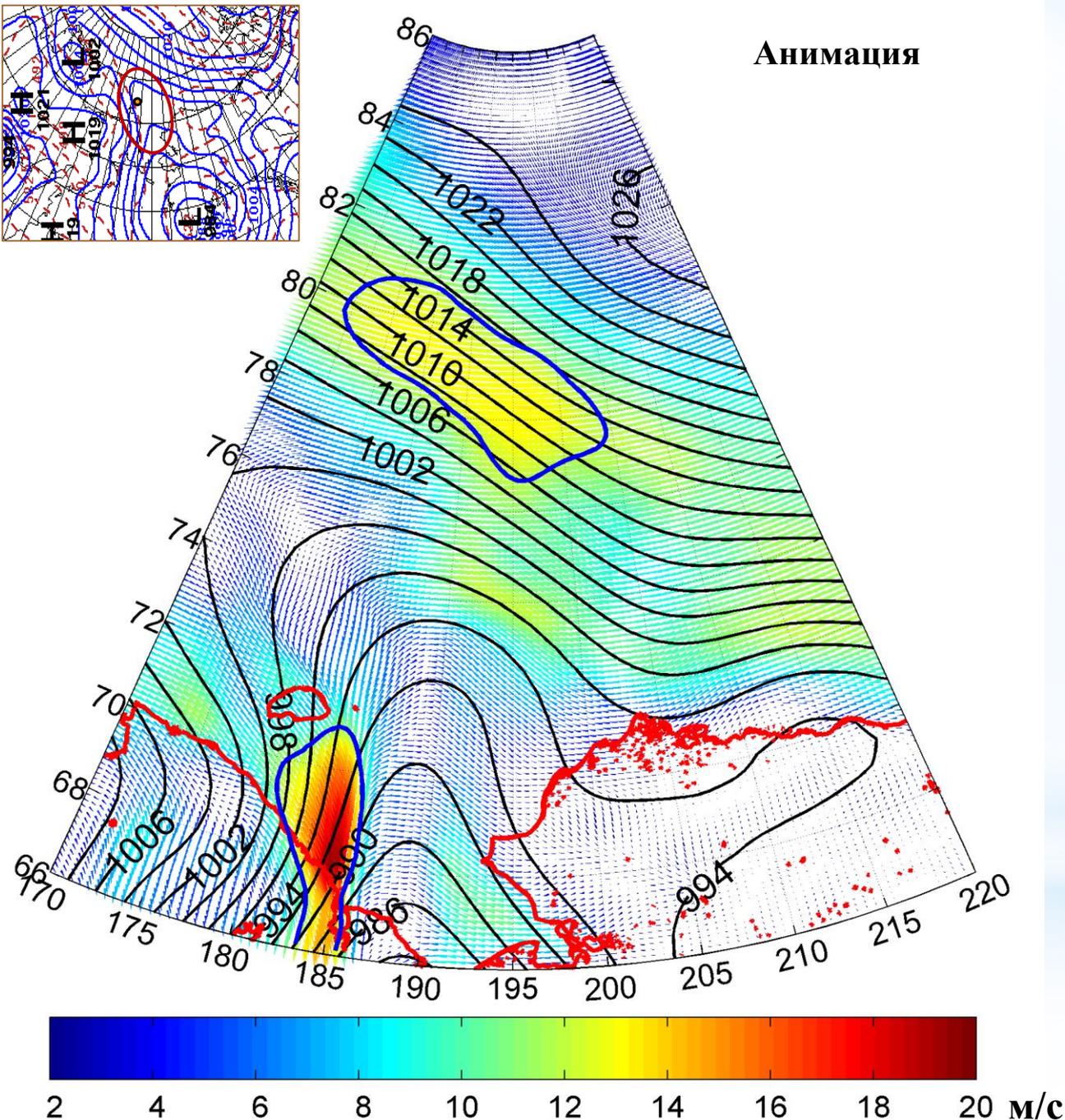
Анимация

1

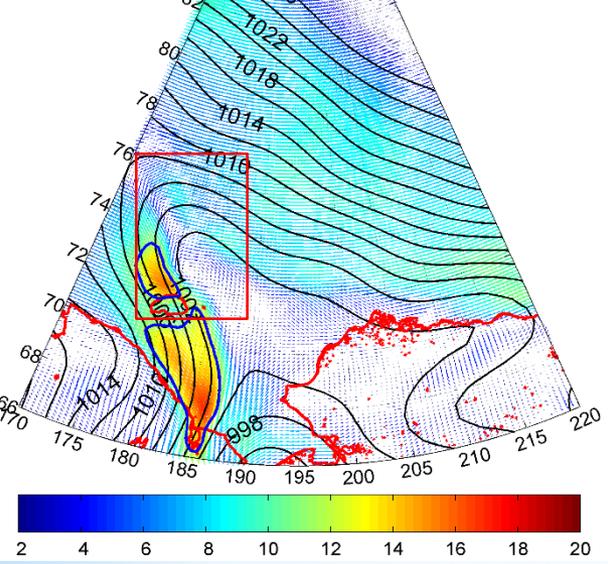
Мезомасштабный  
циклогенез над  
Чукотским морем  
13-16 ноября 2007 г.

Динамика процесса

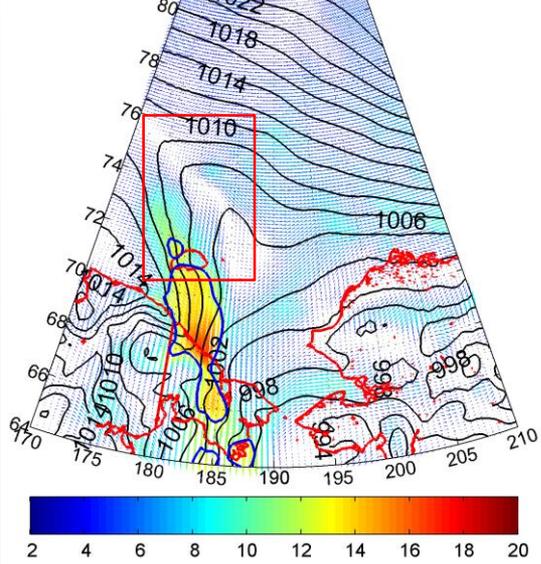
Реанализ  
NCEP CFSR



**NCEP  
CFSR**      **72,5°с.ш.  
178 з.д.**



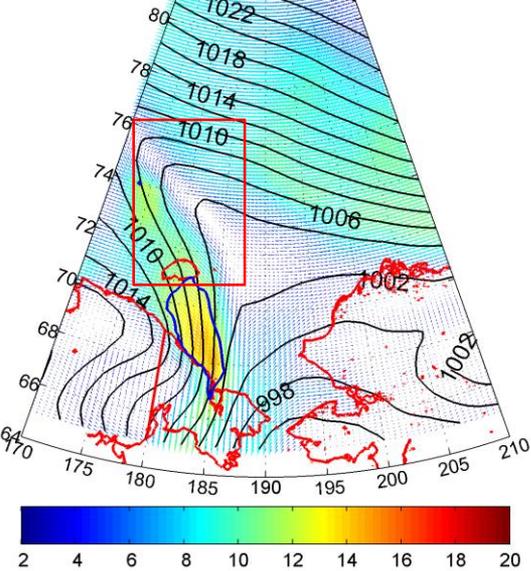
**ASR**      **74°с.ш.  
179 з.д.**



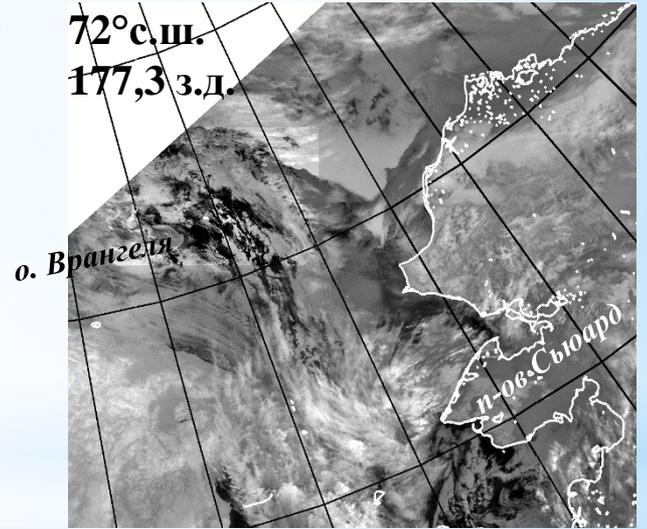
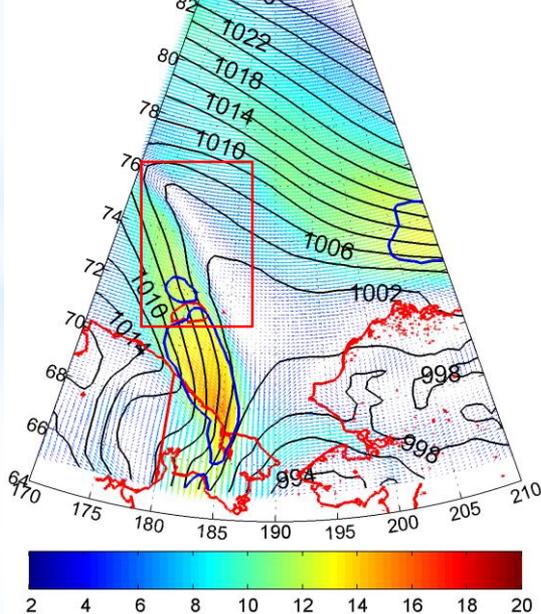
**МЦ над Чукотским морем  
14 ноября 2007 г. 00 Гр.**

**Поля вектора ветра (м/с) и  
атмосферного давления на  
уровне моря за 00 Гр. 14  
ноября 2007 г. по данным  
четырёх реанализов**

**ERA Int.**      **Зона  
конвергенции**

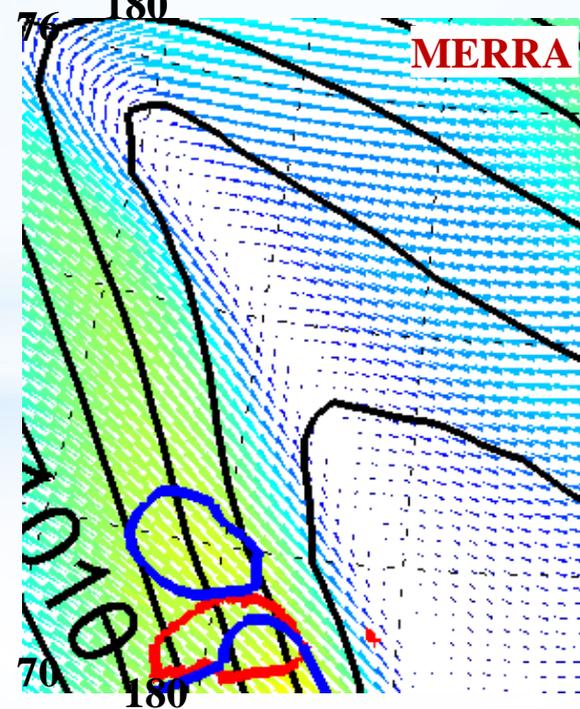
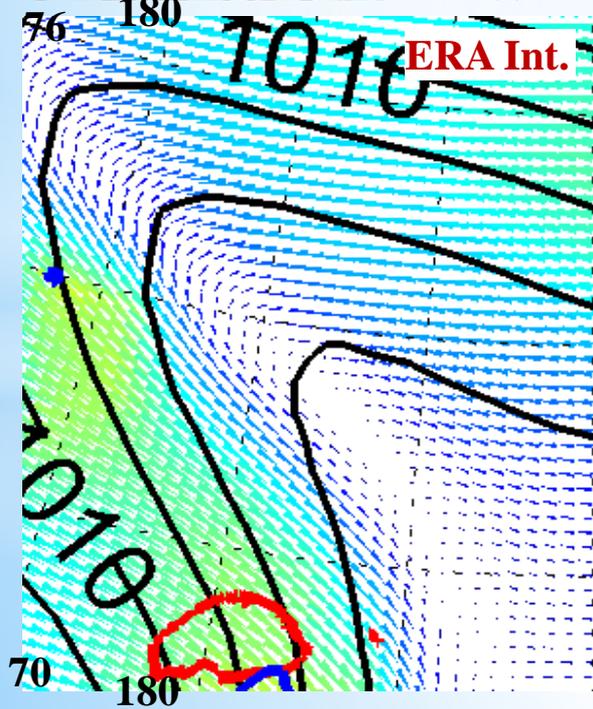
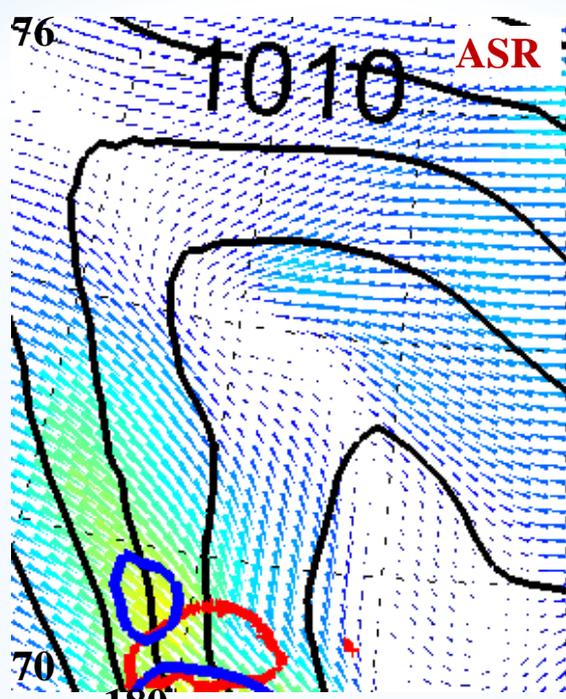
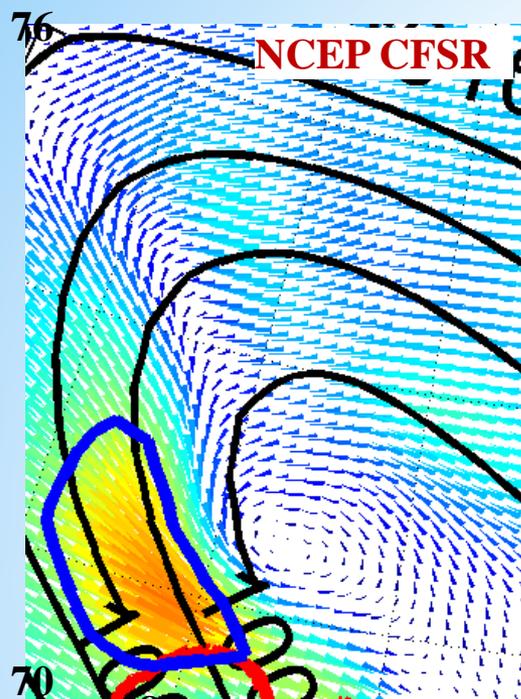


**MERRA**      **Зона конв.**



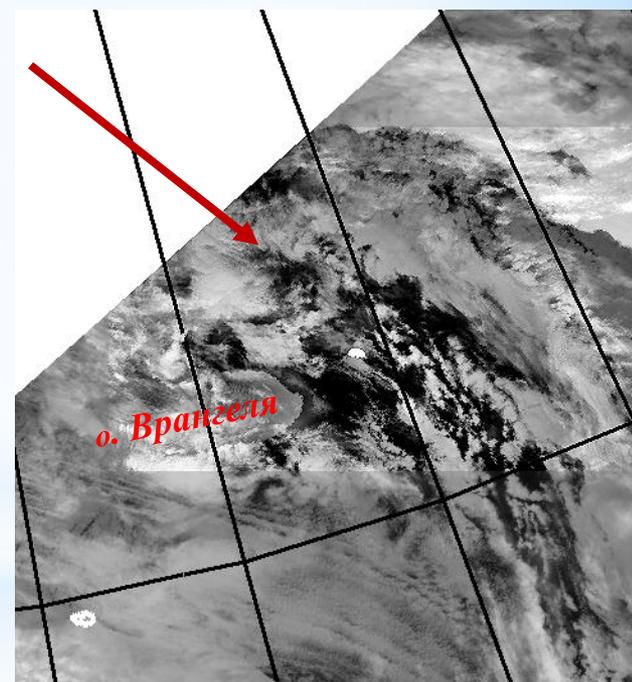
**Aqua MODIS 13.11.2007 23:45 Гр.**

**Наиболее адекватно  
мезоциклоническую  
циркуляцию воспроизводит  
реанализ **NCEP CFSR****



14 ноября 2007 г.  
00 Гр.

Фрагменты  
полей вектора ветра  
(очерчены красной рамкой на  
предыдущем слайде)



Aqua MODIS  
13.11.2007 23:45 Гр.  
Фрагмент

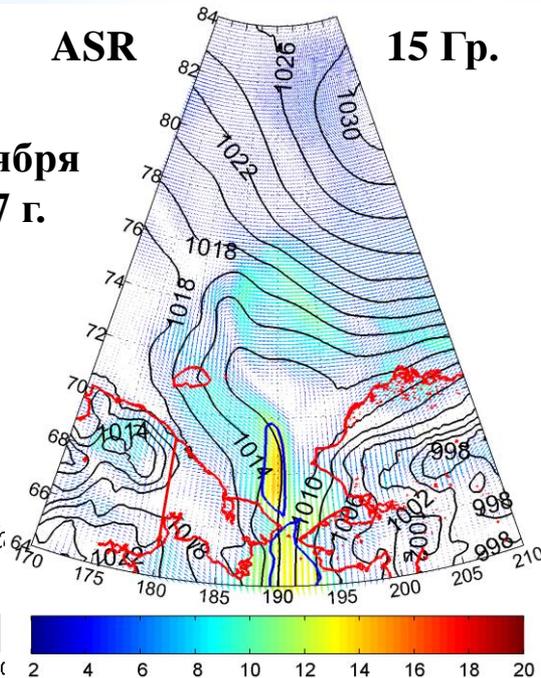
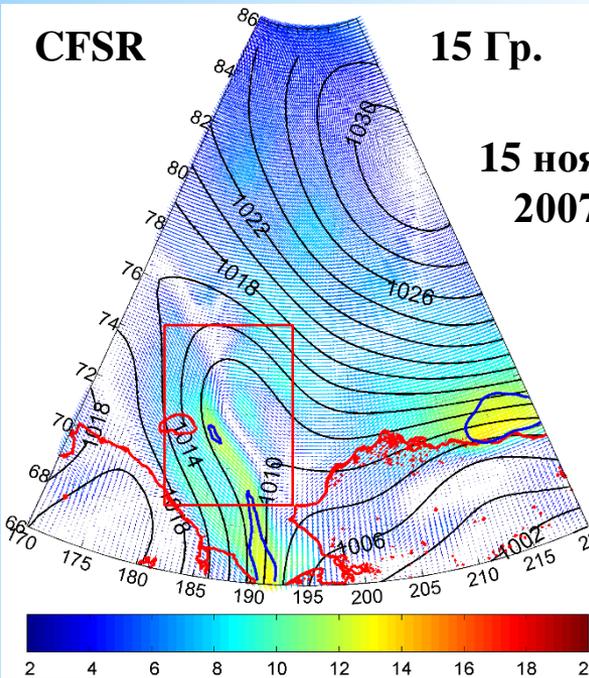
CFSR

15 Гр.

ASR

15 Гр.

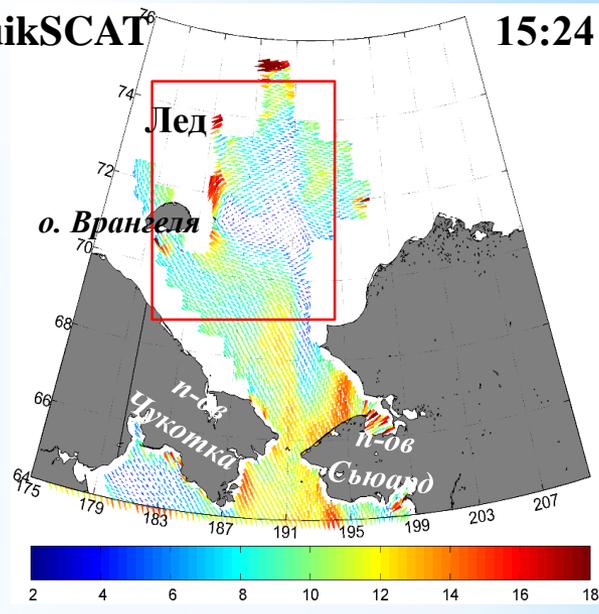
15 ноября  
2007 г.



Поля вектора ветра (шкалы в м/с)

QuikSCAT

15:24 Гр.



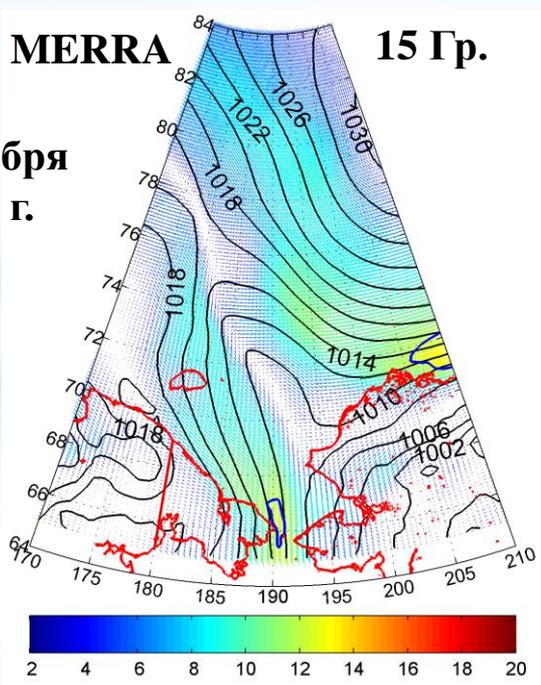
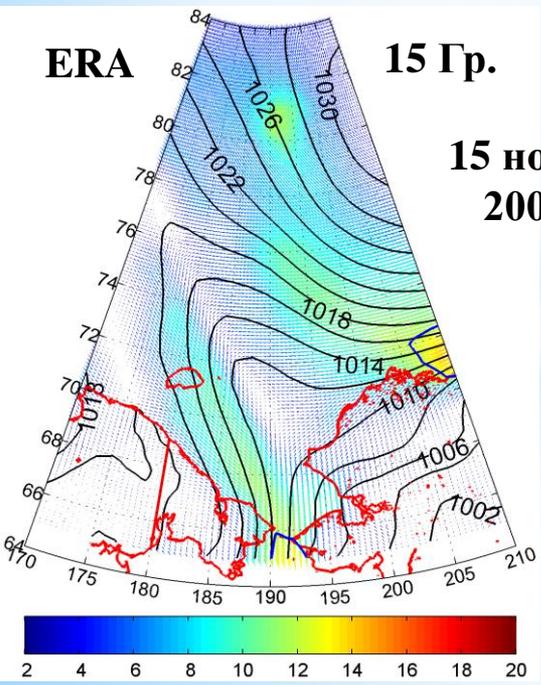
ERA

15 Гр.

MERRA

15 Гр.

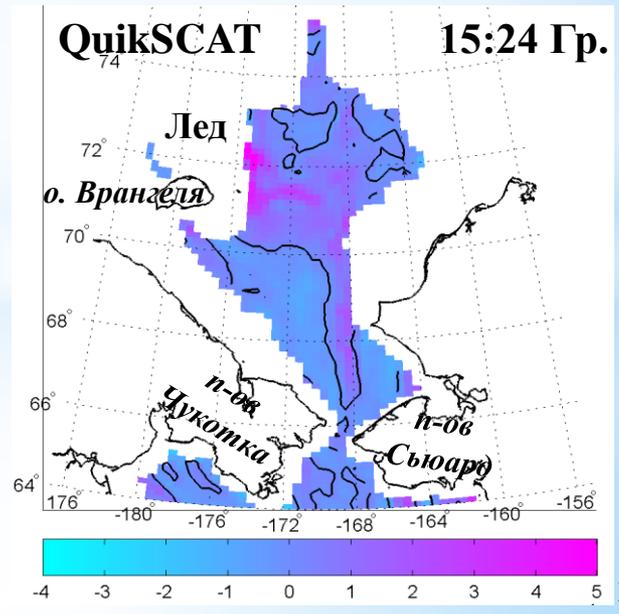
15 ноября  
2007 г.



Поле завихренности

QuikSCAT

15:24 Гр.



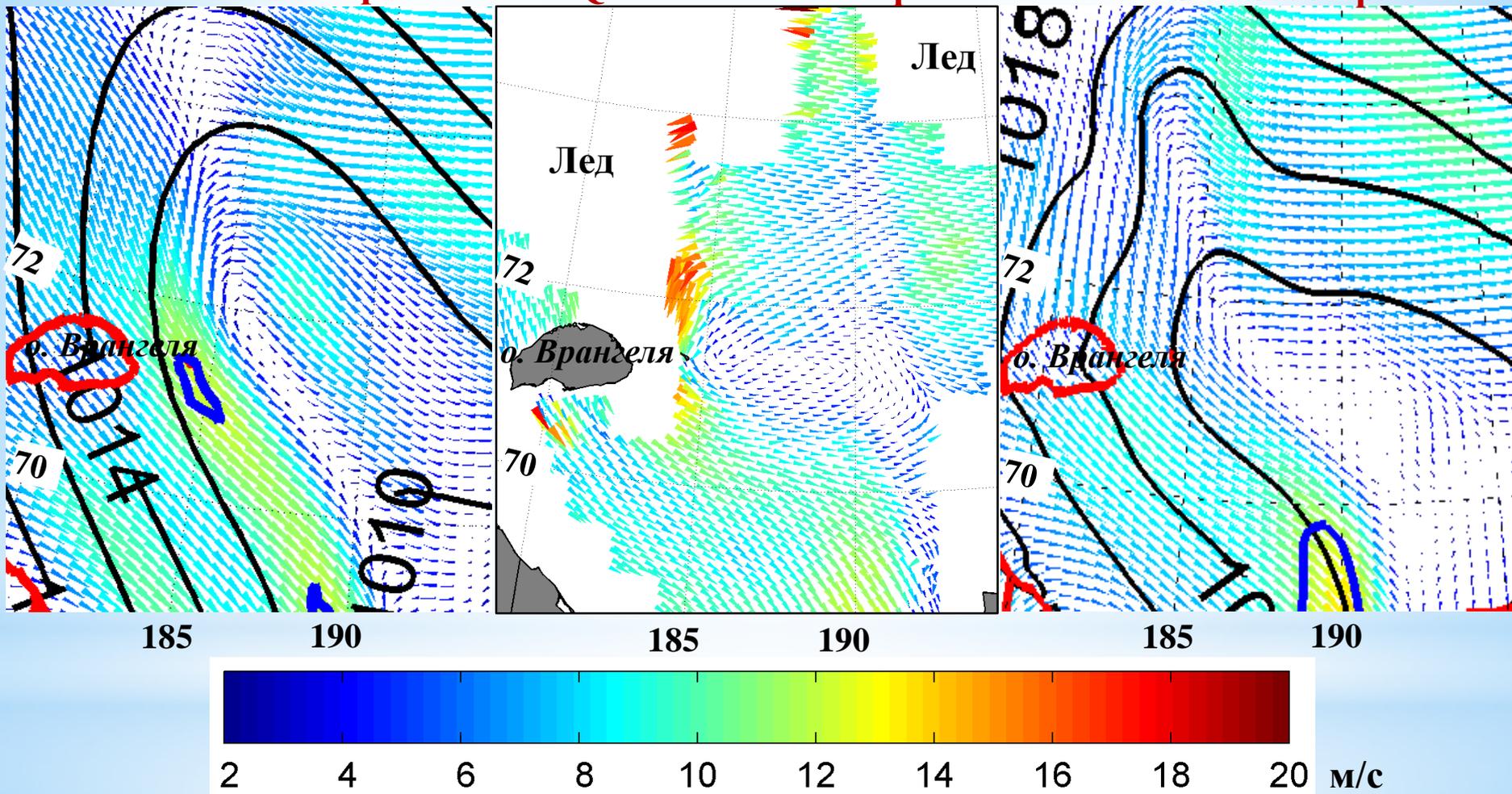
$10^{-4}/с$

Фрагменты полей вектора ветра по данным реанализов **CFSR** и **ASR** и по данным скаттерометра **SeaWinds** (спутник **QuikSCAT**) 15 ноября 2007 г.

**CFSR 15:00 Гр.**

**QuikSCAT 15:24 Гр.**

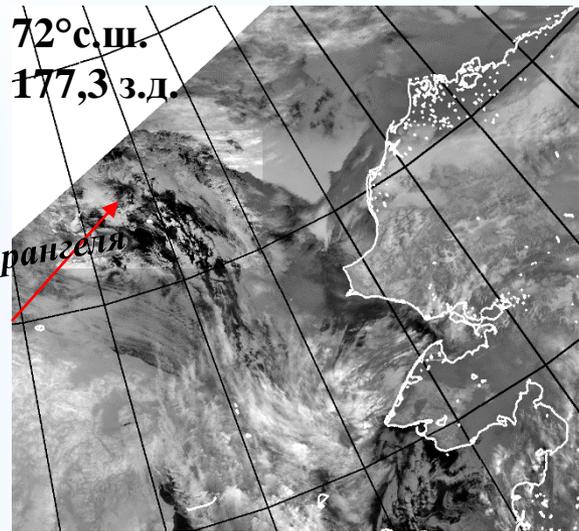
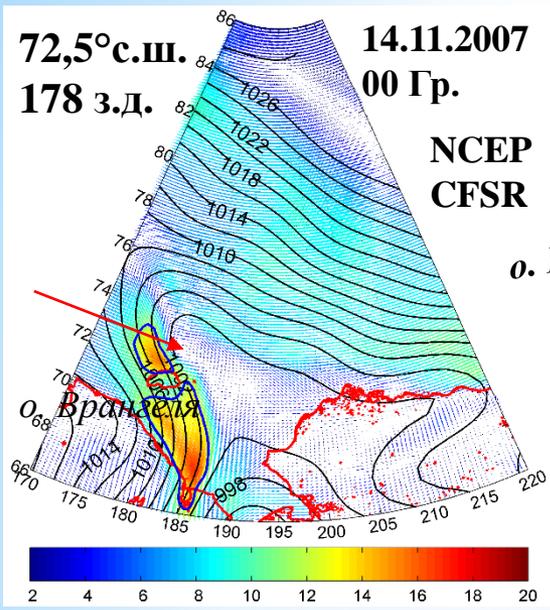
**ASR 15:00 Гр.**



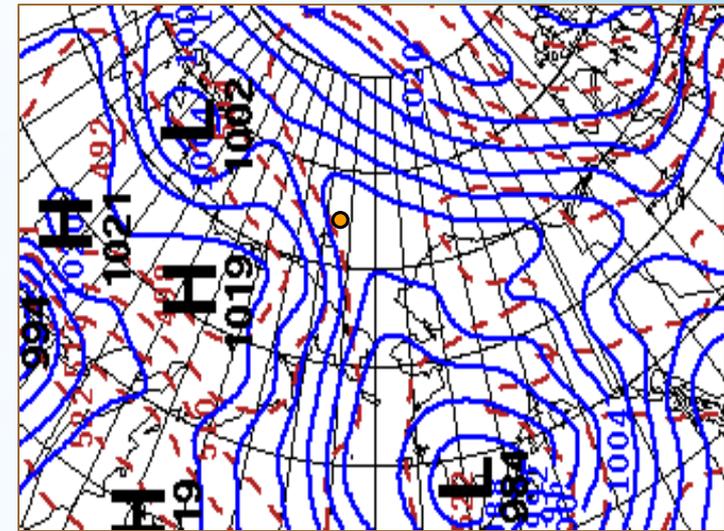
Соответствие скорости ветра по данным **QuikSCAT** и **CFSR**.

Соответствие конфигурации мезомасштабного процесса (два вихря в поле ветра) по данным **QuikSCAT** и **ASR**.

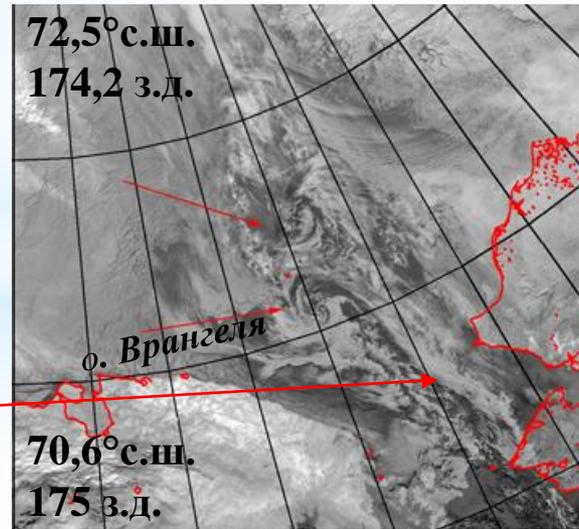
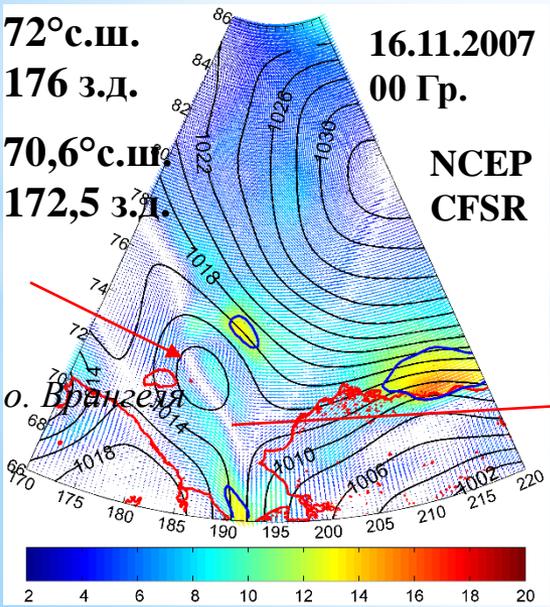
# Эволюция мезоциклонического процесса над Чукотским морем за 48 ч (00 Гр. 14-16 ноября 2007 г.) в полях вектора ветра (CFSR) и облачности (MODIS)



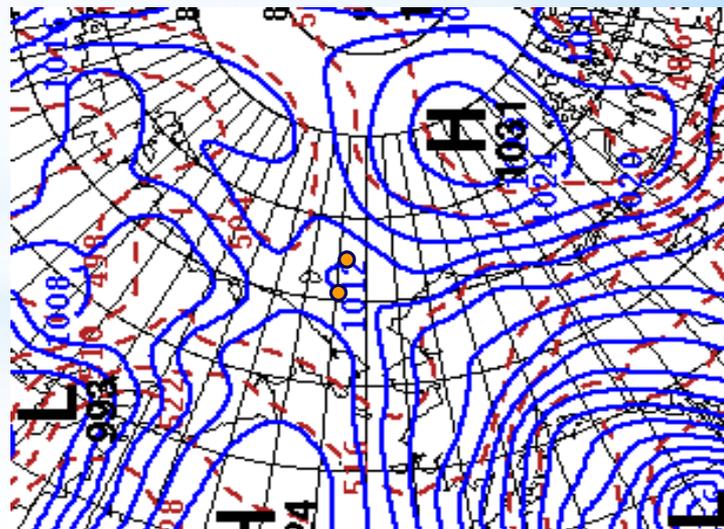
**Aqua MODIS**  
23:45 Гр. 13.11.2007



**Карта приземного анализа и  
OT500/1000 NCEP 14.11. 2007 00 Гр.**

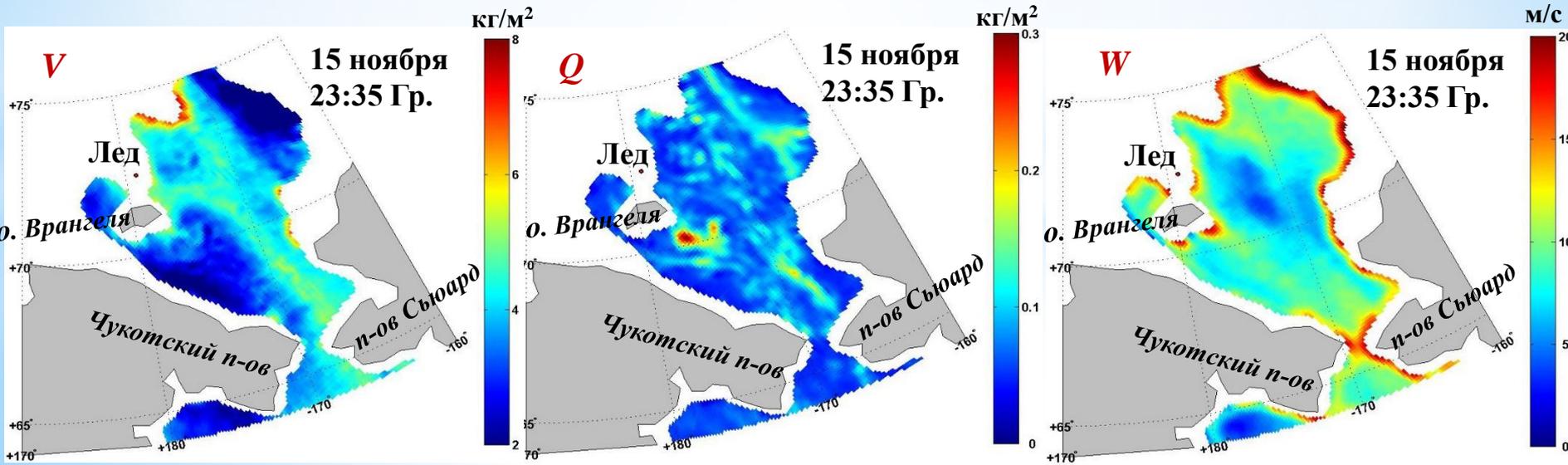
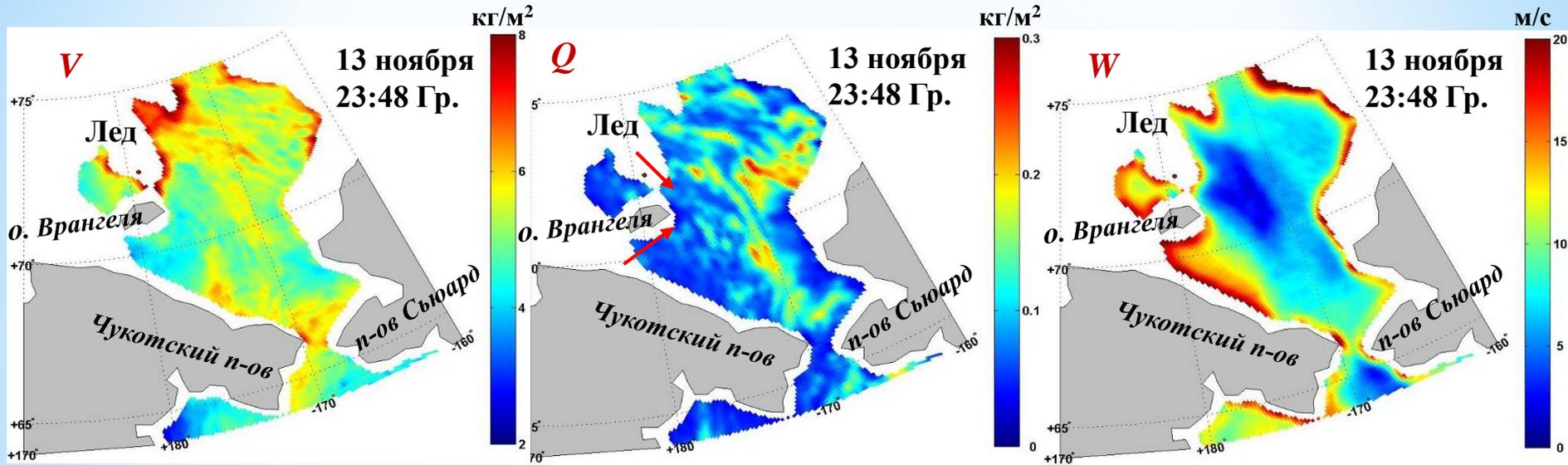


**Aqua MODIS**  
23:35 Гр. 15.11.2007



**Карта приземного анализа и  
OT500/1000 NCEP 16.11.2007 00 Гр.**

**МЦ над Чукотским морем в полях водяного пара ( $V$ ), капельной влаги ( $Q$ ) и приводного ветра ( $W$ ) по данным AMSR-E (спутник Aqua) 14 ноября (верхний ряд) и 16 ноября (нижний ряд) 2007 г.**

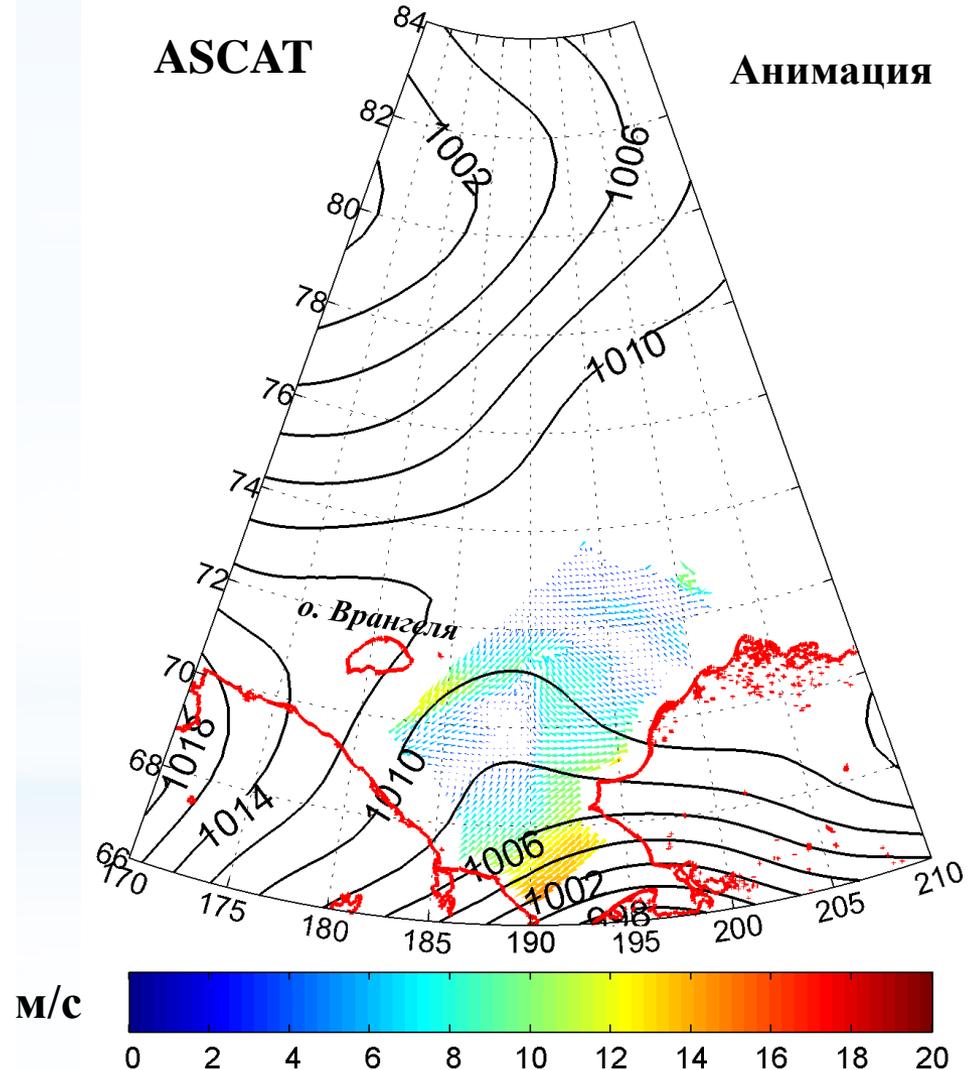
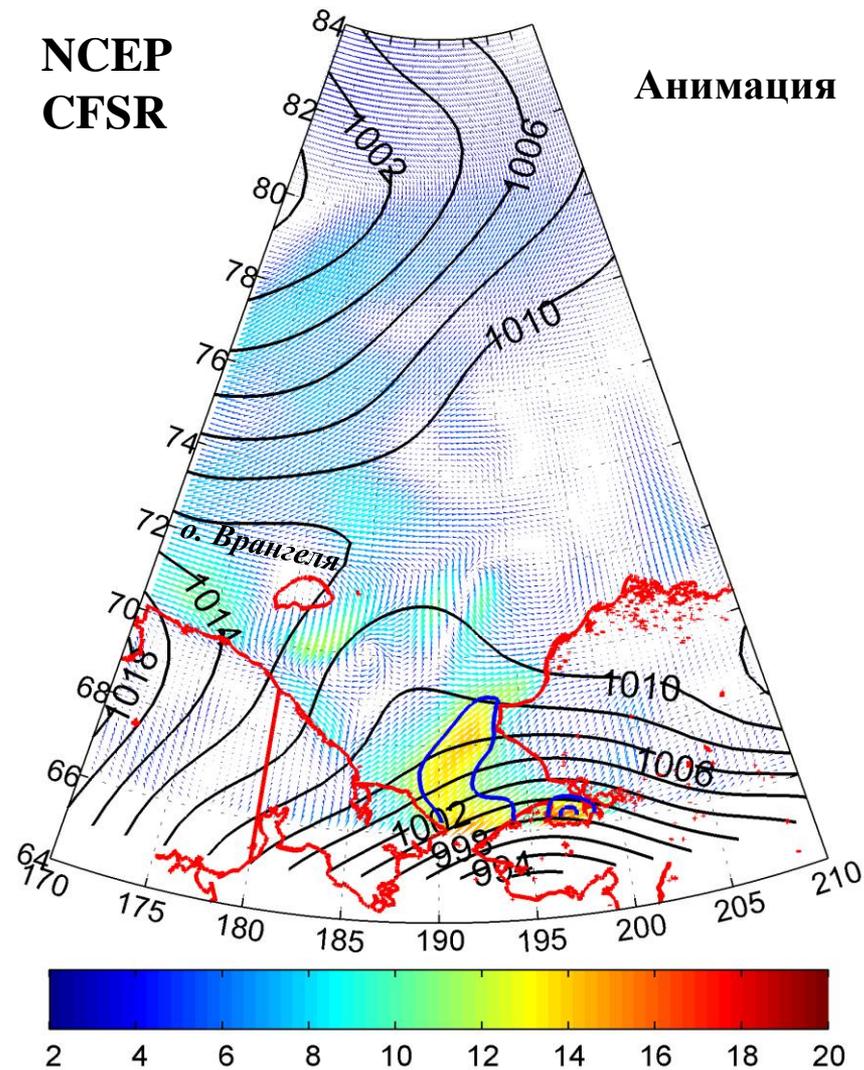


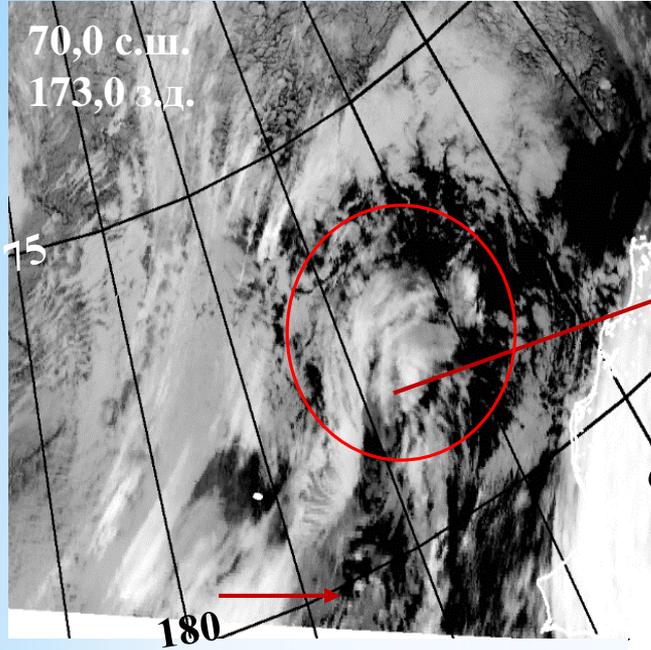
# Мезомасштабный циклогенез над Чукотским морем

4-6 ноября 2011 г.

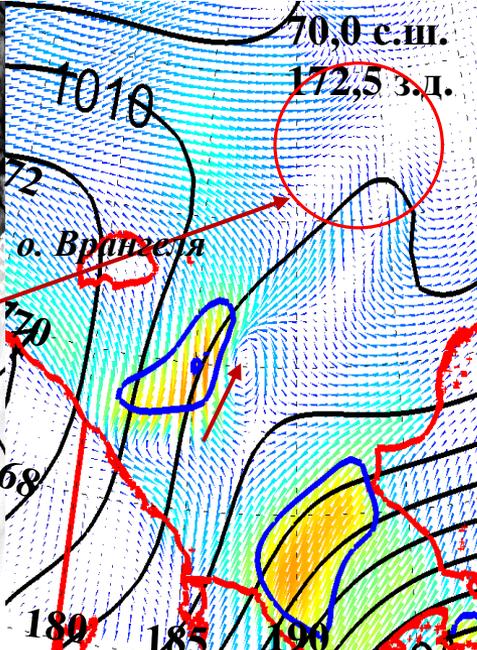
2

Поля приводного ветра по данным реанализа **CFSR** и скаттерометра **ASCAT**  
(спутники **MetOp-A** и **MetOp-B**)

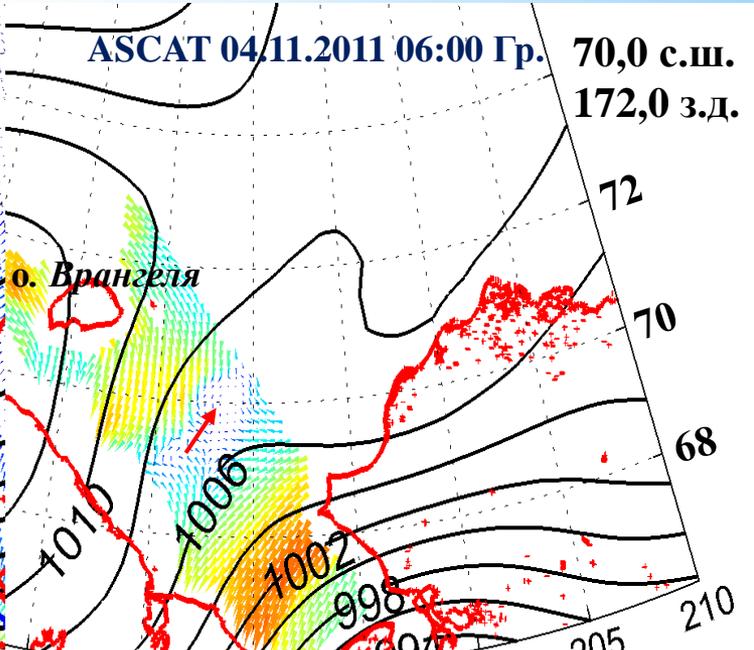




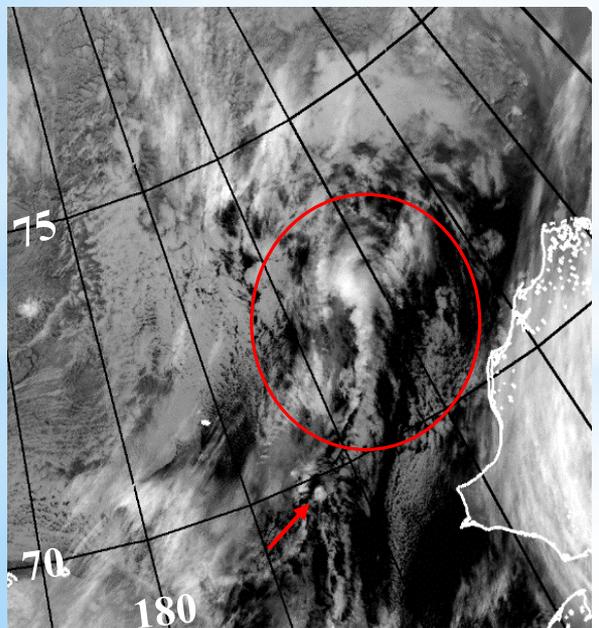
Terra MODIS 04.11.2011 05:40 Gr.



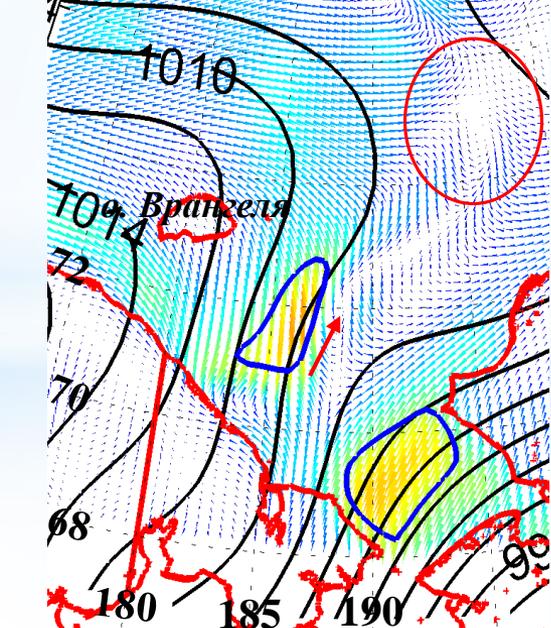
NCEP CFSR 04.11.2011 06:00 Gr.



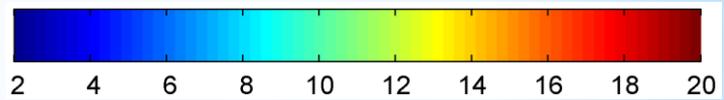
ASCAT 04.11.2011 06:00 Gr.



Terra MODIS 04.11.2011 08:55 Gr.



NCEP CFSR 04.11.2011 09:00 Gr.

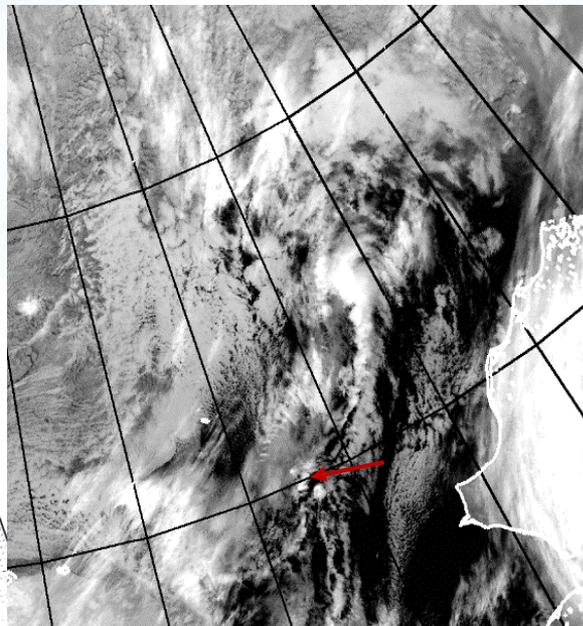


**Чукотское море  
04-06 ноября 2011 г.**

**Южный МЦ адекватно воспроизводится в полях вектора ветра по данным реанализа и скаттерометра.**

**Северный МЦ – поле облачности не согласуется с полем ветра.**

**Terra MODIS**



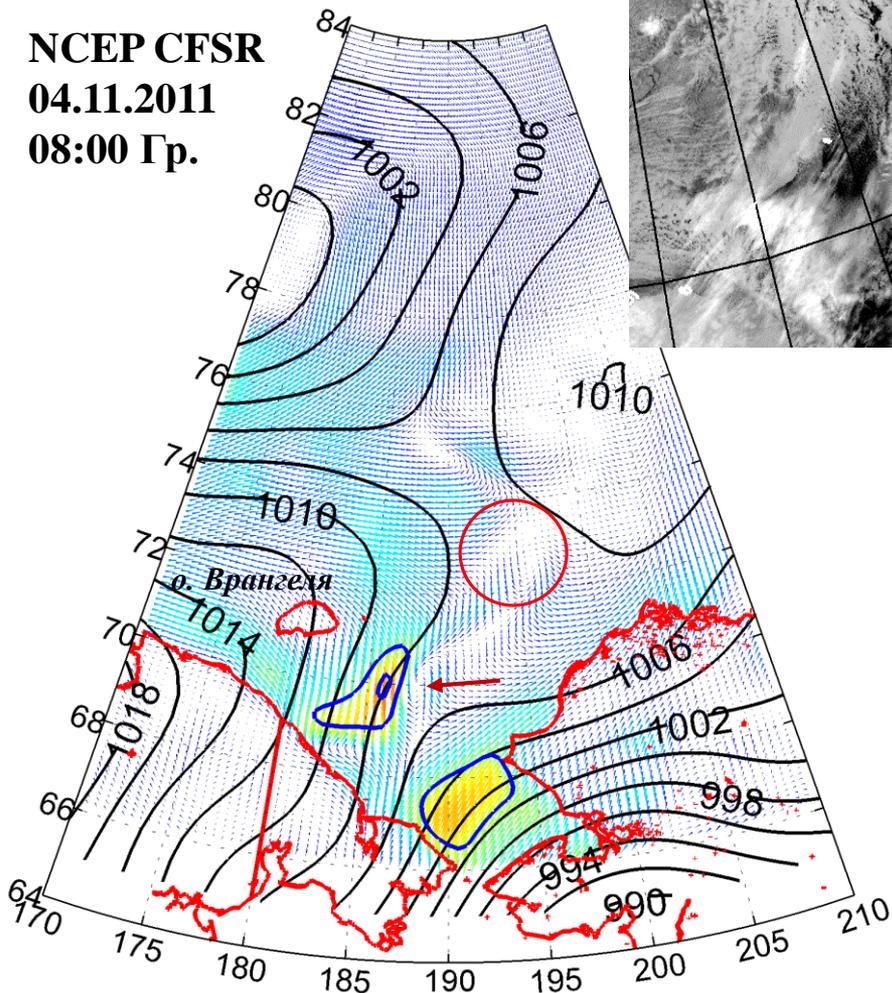
**04.11.2011**

**08:55 Гр.**

**NCEP CFSR**

**04.11.2011**

**08:00 Гр.**



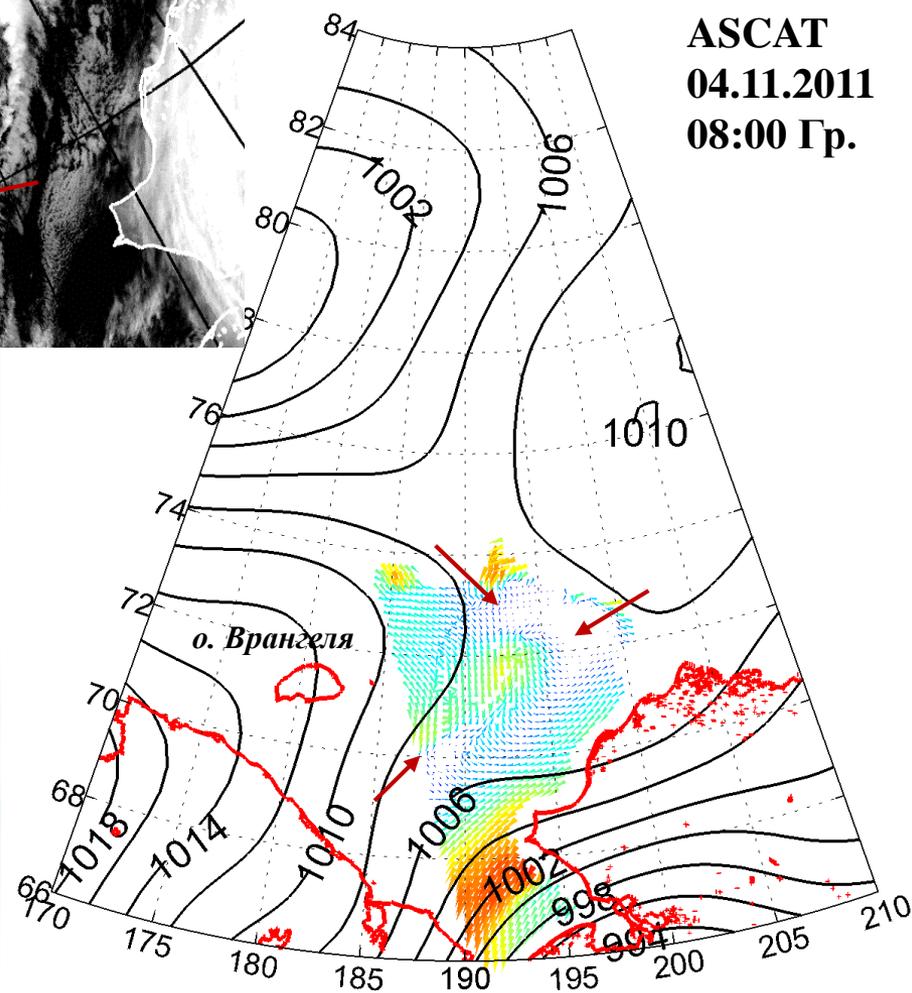
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

**м/с**

**ASCAT**

**04.11.2011**

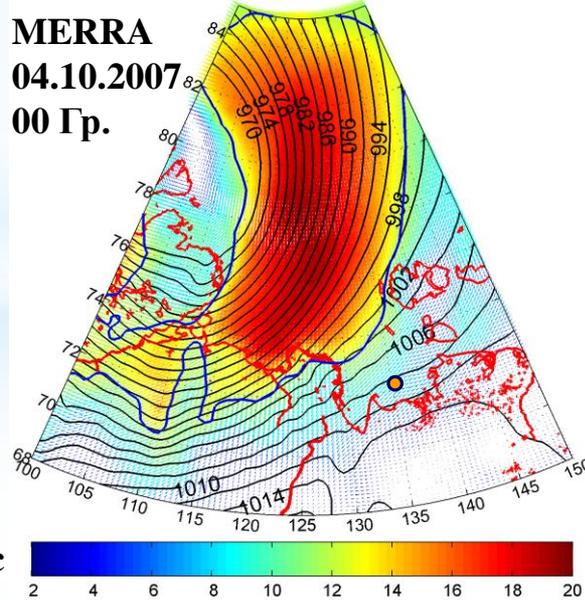
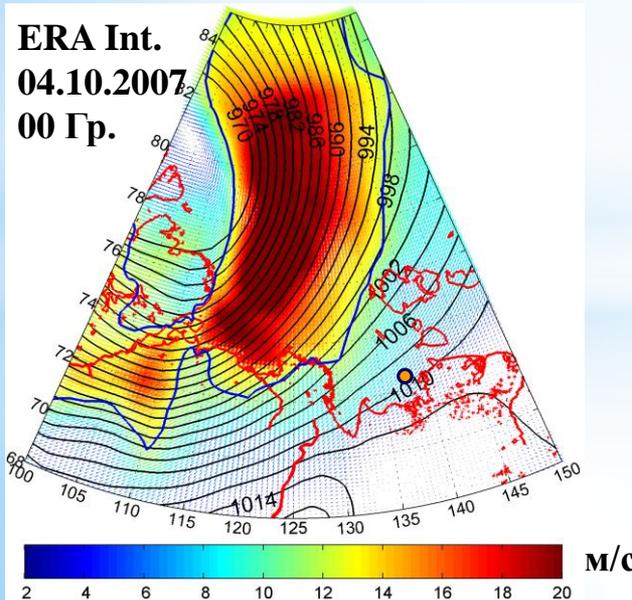
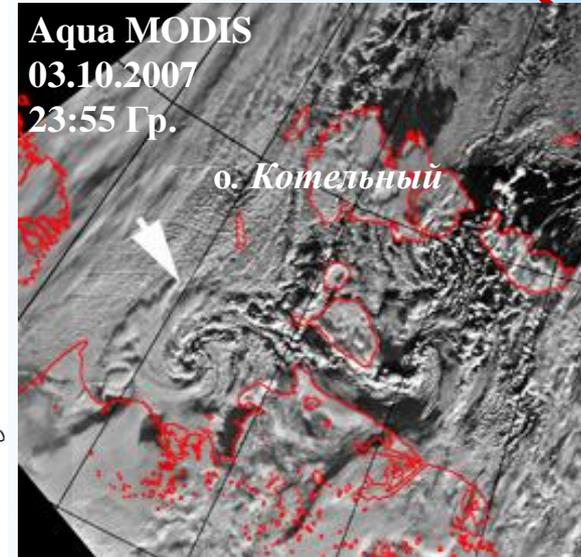
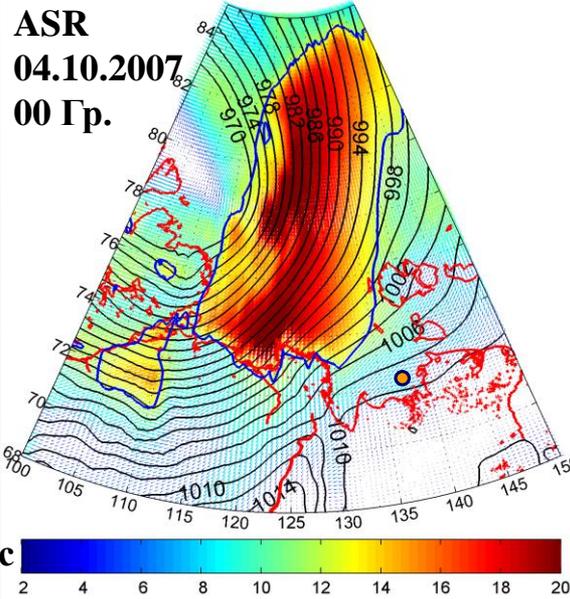
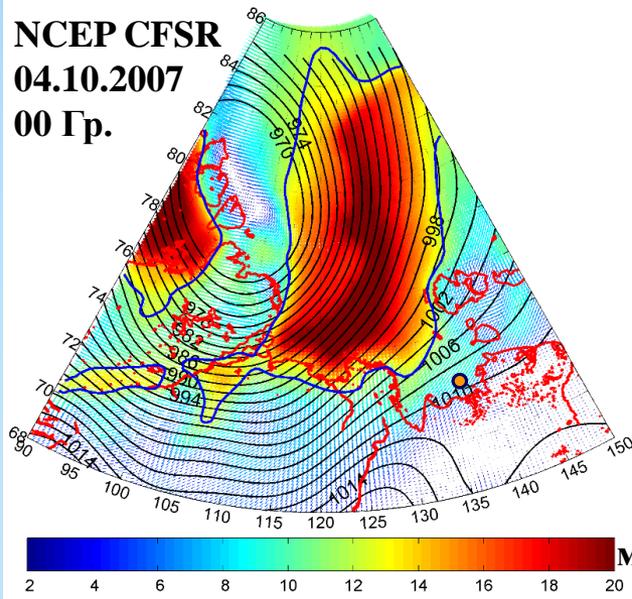
**08:00 Гр.**



0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

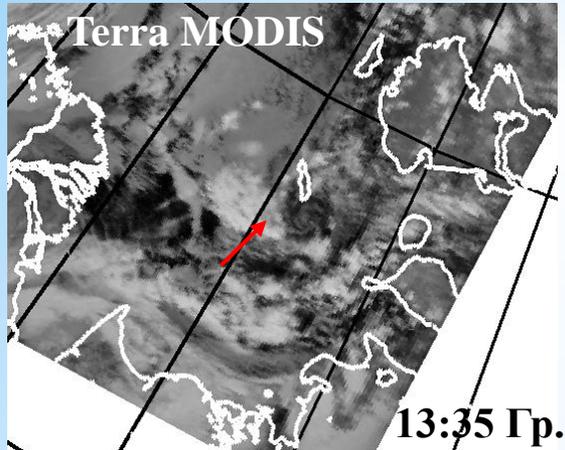
# Мезо-β-циклон над морем Лаптевых 3-4 октября 2007 г.

3

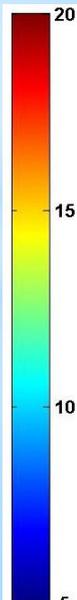
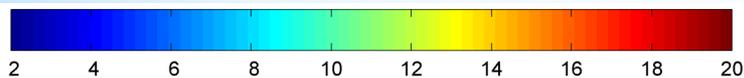
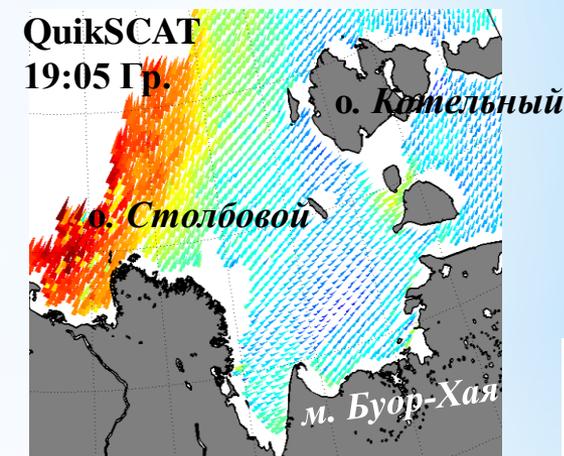
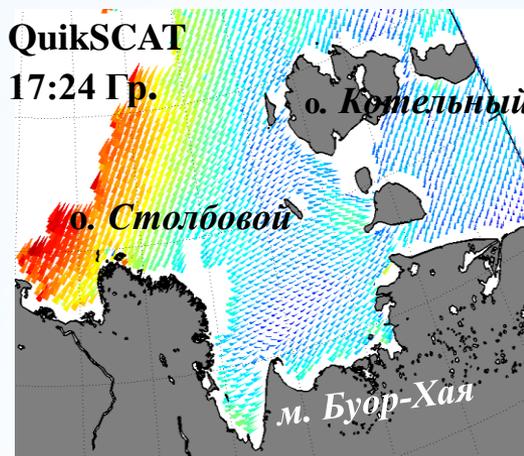
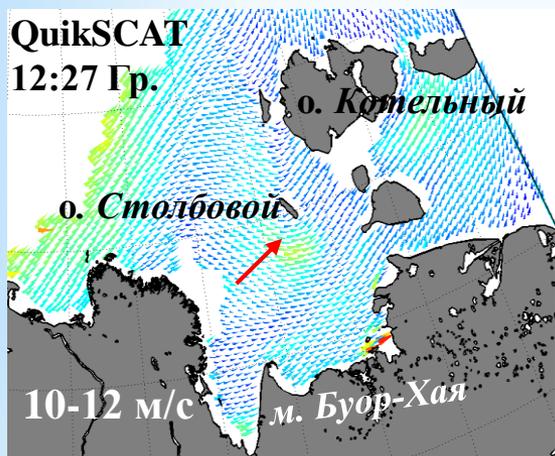
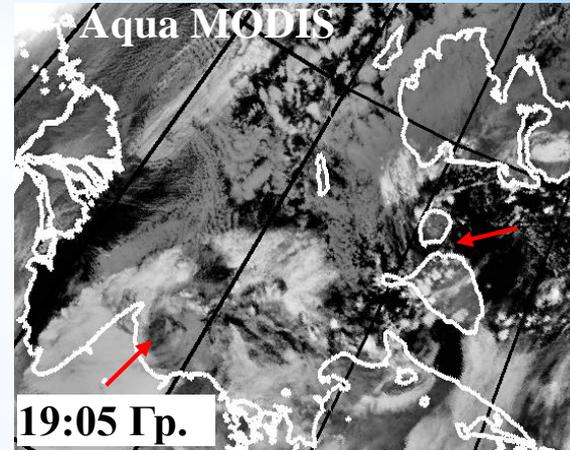


**МЦ спиральной формы на ИК-изображении MODIS.**

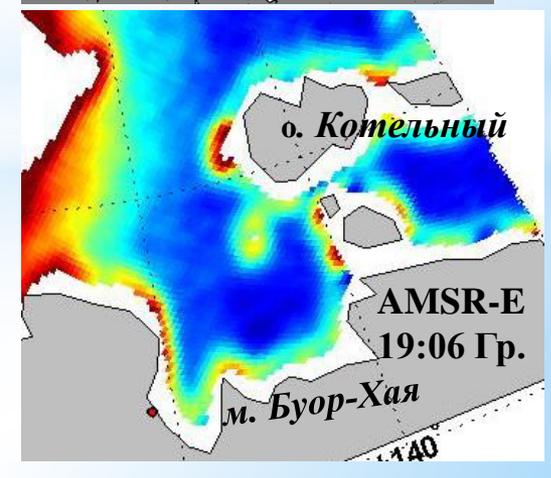
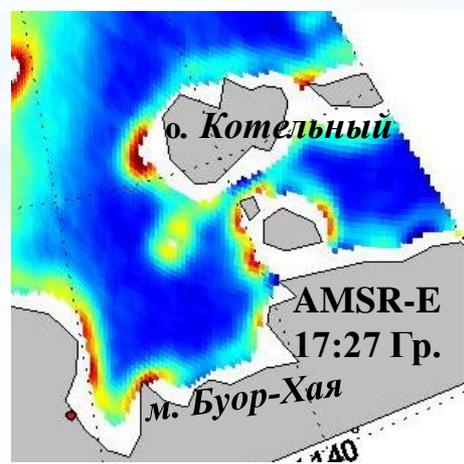
**Мезоциклоническая циркуляция не воспроизводится в полях вектора ветра по данным реанализов.**



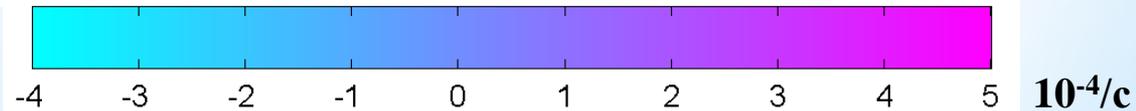
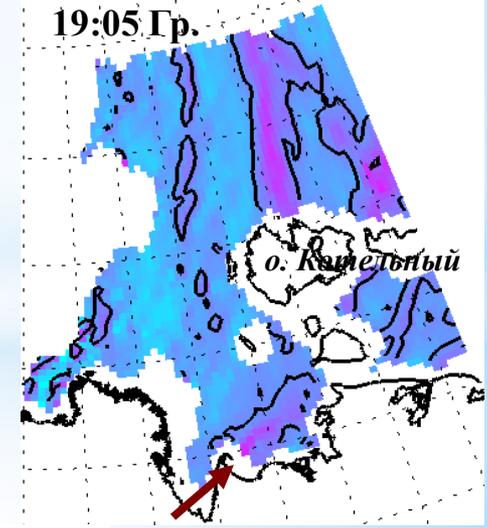
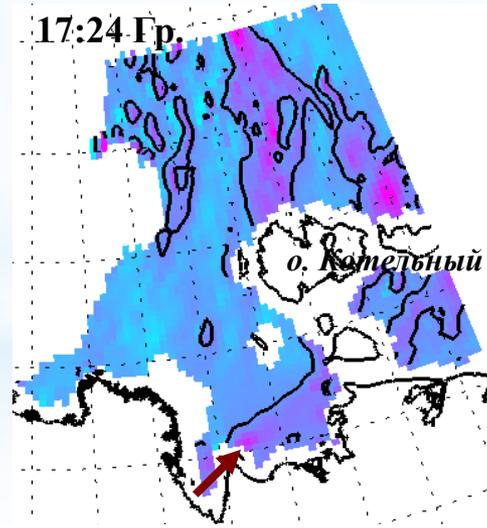
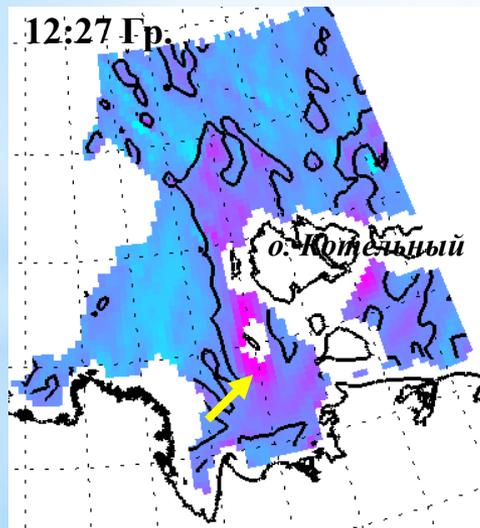
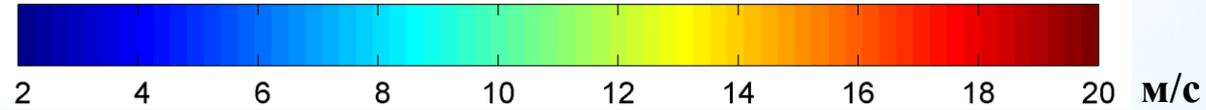
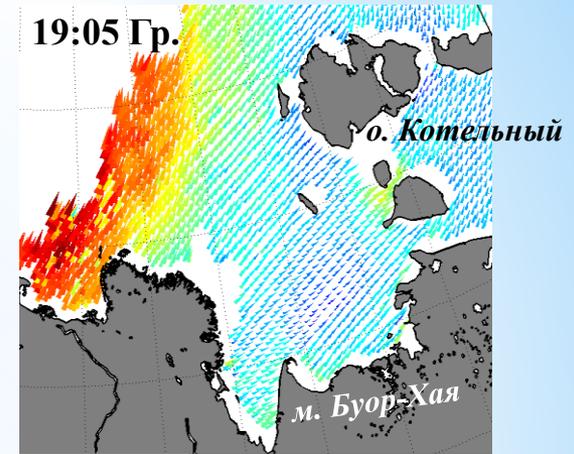
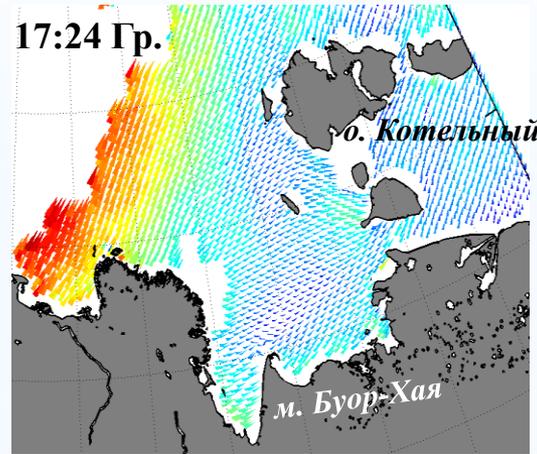
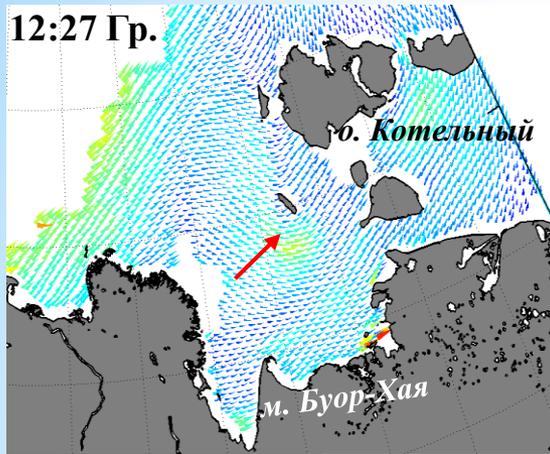
**Мезоциклоническая  
деятельность над морем  
Лаптевых 3 октября 2007 г.  
Поля облачности (MODIS)  
и приводного ветра (м/с)  
(QuikSCAT, AMSR-E)**



**Мезоциклоническая  
циркуляция хорошо видна  
в поле облачности, но не  
отображается в поле  
приводного ветра**

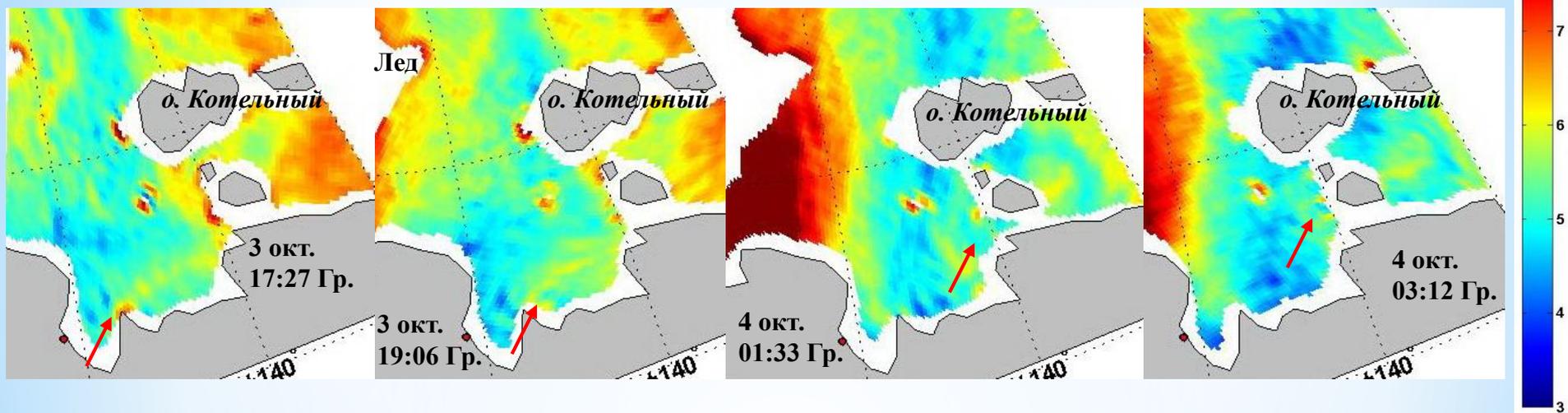


Поля при водного ветра (верхний ряд) и завихренности (нижний ряд) по данным скаттерометра **SeaWinds** (спутник **QuikSCAT**) за 17:24 Гр. 3 октября 2007 г.

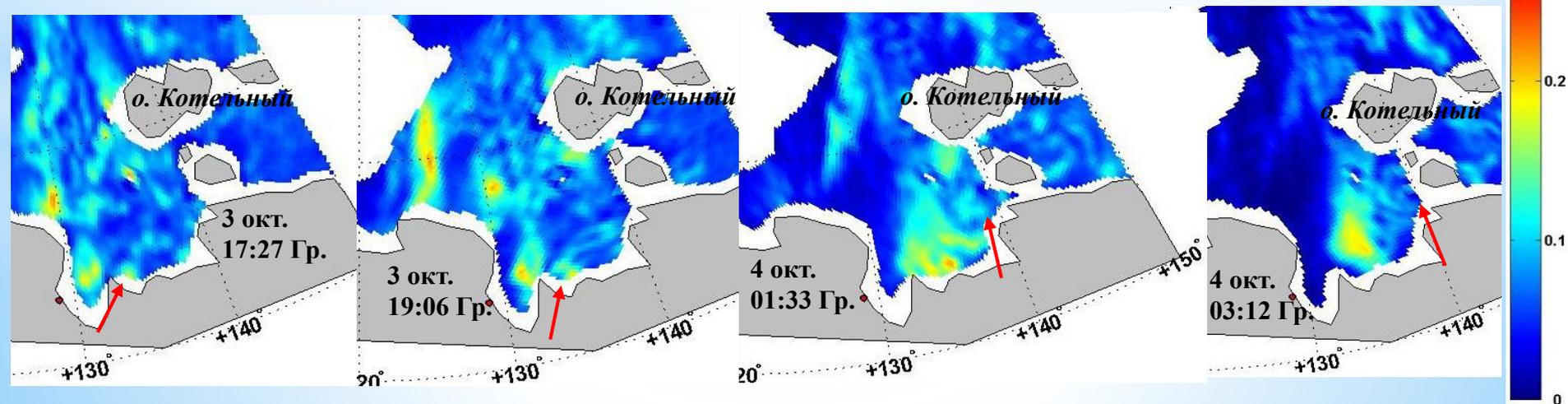


# Эволюция и траектория МЦ в полях водяного пара (сверху) и капельной влаги (снизу) по данным AMSR2 за 3-4 октября 2007 г. Шкалы в кг/м<sup>2</sup>

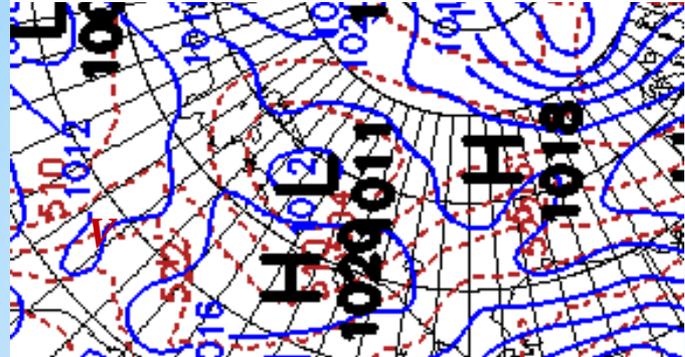
Мезовихри слабо выделяются в полях водяного пара



Структура мезовихрей хорошо видна в полях капельной влаги



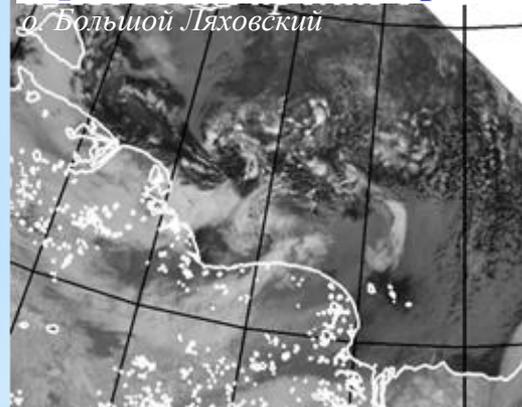
Приземный анализ и OT500/1000  
NCEP 17.10.2015 00 Гр.



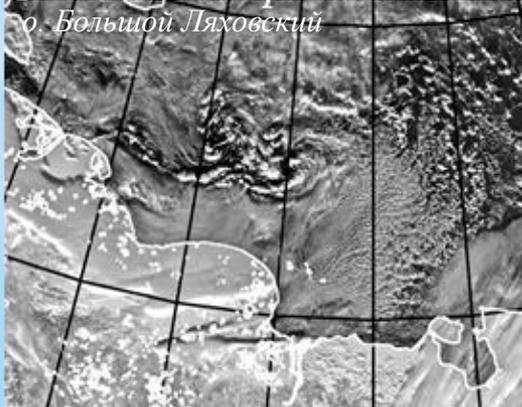
Мезоциклоническая деятельность над  
**Восточно-Сибирским морем** в полях  
облачности(слева), водяного пара **V**  
(середина) и капельной влаги **Q**  
(справа) **16-17 октября 2015 г.**

Условия для конвекции:  $\Delta T_{500} = T_{ПО} - T_{500} \approx 43^{\circ}C$

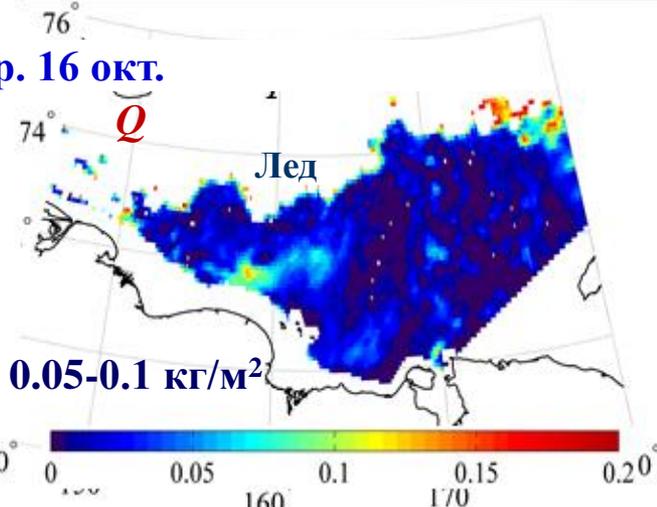
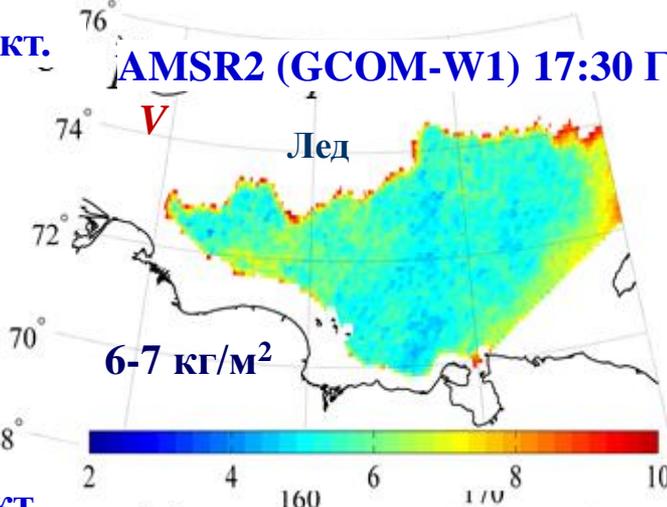
Aqua MODIS 17:35 Гр. 16 окт.



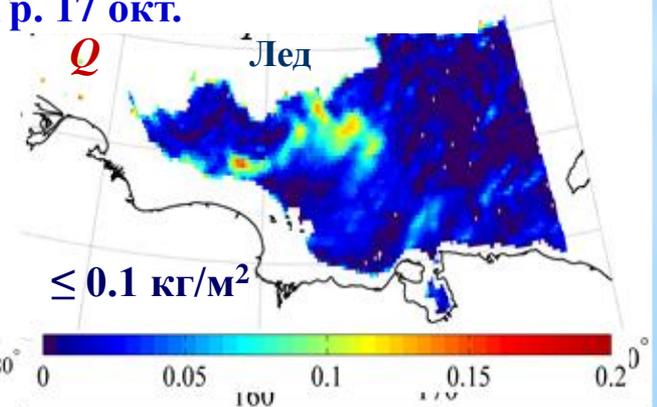
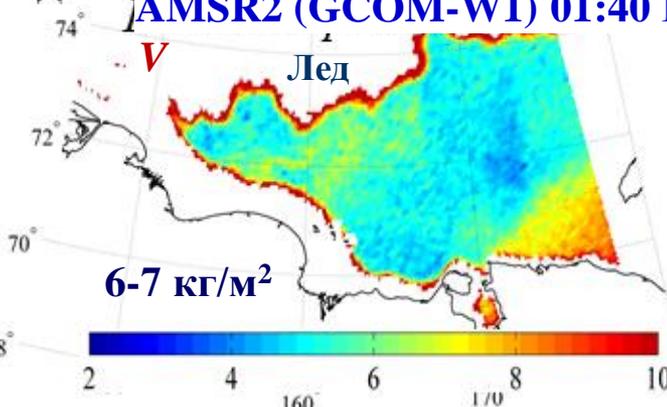
Aqua MODIS 01:40 Гр. 17 окт.



AMSR2 (GCOM-W1) 17:30 Гр. 16 окт.

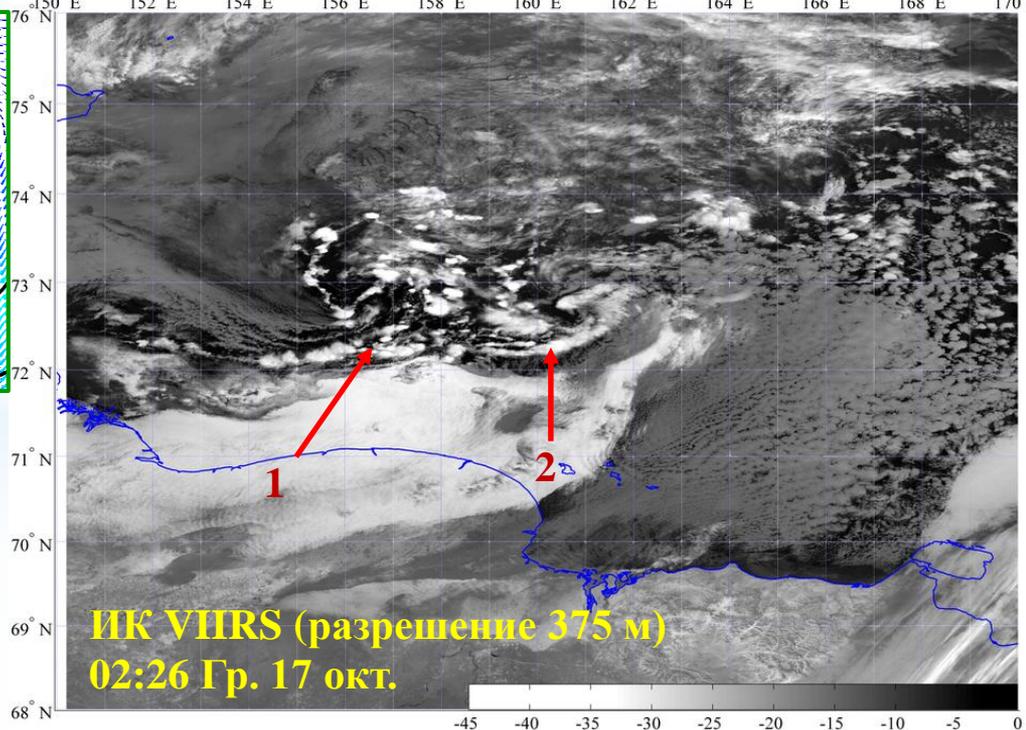
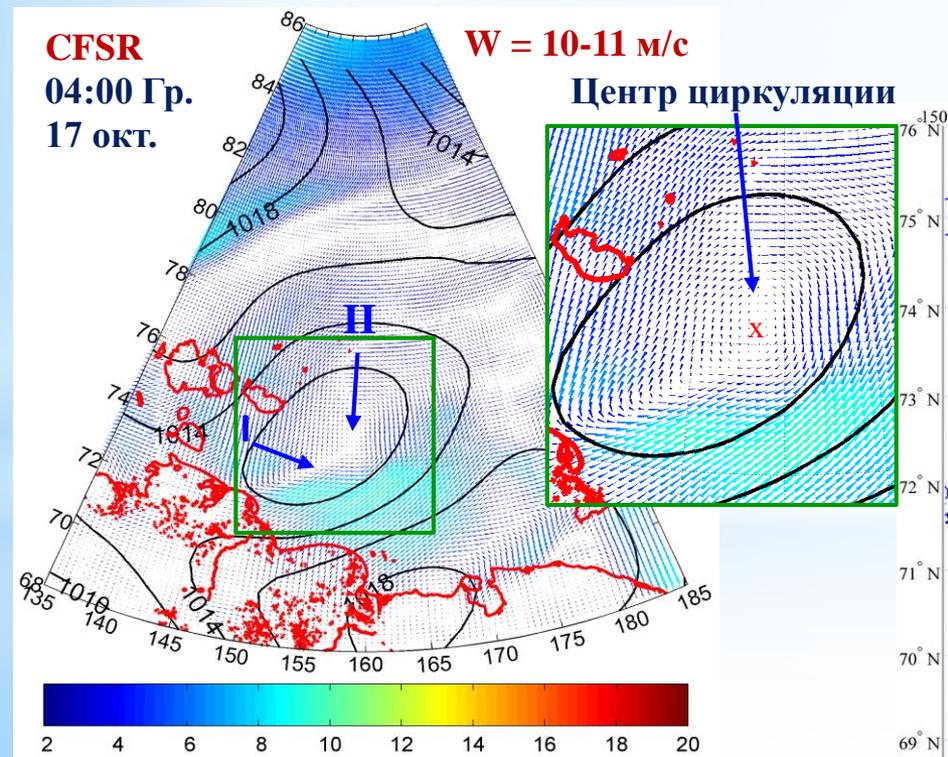
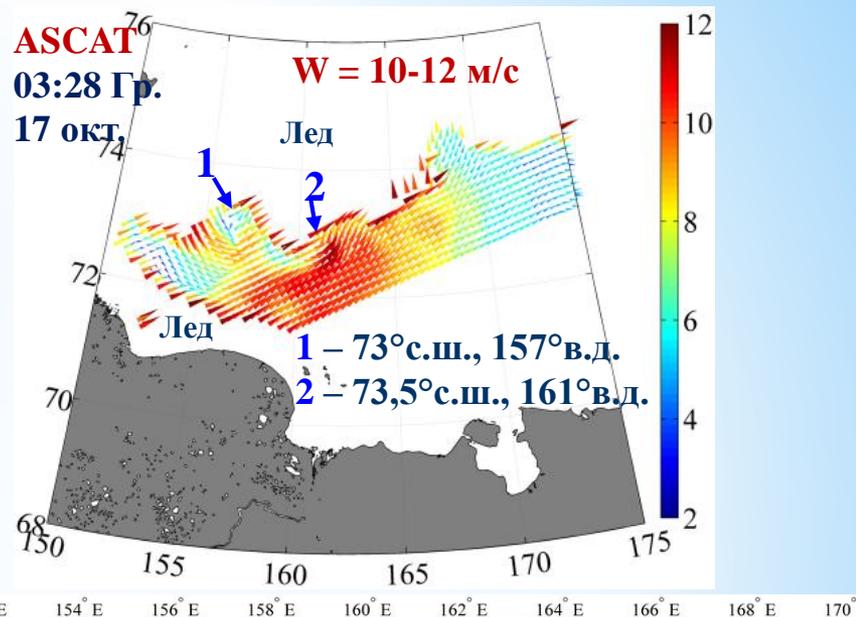
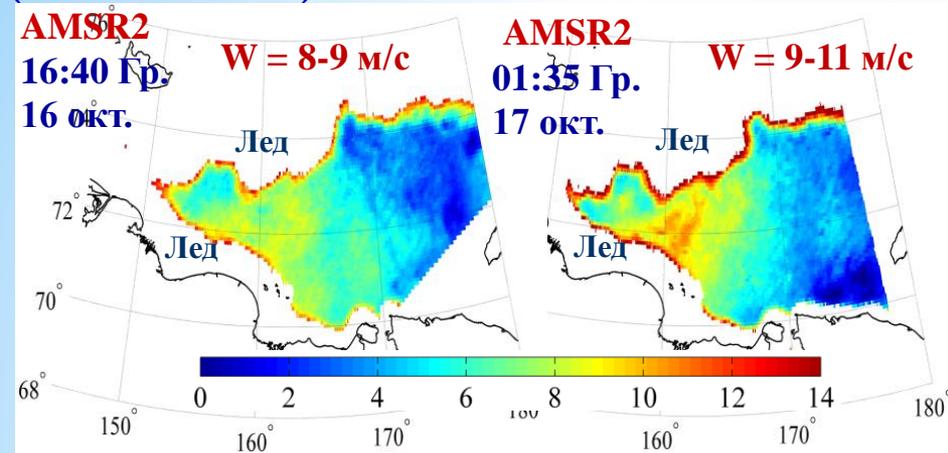


AMSR2 (GCOM-W1) 01:40 Гр. 17 окт.



# МЦ над Восточно-Сибирским морем 16-17 октября 2015 г. в полях приводного ветра (шкалы в м/с) и облачности

(шкалы в м/с) и облачности



## Выводы

- ❑ Реанализ **NCEP CFSR** достоверно выявляет районы, охваченные мезоциклонической деятельностью. В пределах этих районов адекватно воспроизводятся отдельные МЦ в полях вектора ветра.
- ❑ Часть МЦ из-за недостатка ассимилируемых данных не воспроизводится в поле вектора ветра или воспроизводится как слабая мезоциклоническая циркуляция.
- ❑ Для получения достоверных статистических характеристик и климатических трендов мезоциклонической деятельности над **ВЕА** планируется создать архив идентифицированных МЦ на основе:
  - массивов полей вектора ветра по данным реанализов и скаттерометров;
  - массивов ИК-изображений **VIIRS** с разрешением **375 м**;
  - массивов полей интегрального паросодержания атмосферы и водозапаса облаков и полей приводного ветра, восстановленных из измерений **AMSR-E** и **AMSR2** с применением алгоритмов, адаптированных к условиям разреженного морского льда.



Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН 15-I-1-009\_о

**Спасибо за внимание!**