



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

Гурвич И.А.¹, Пичугин М.К.¹, Заболотских Е.В.²

*1 Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, gurvich@poi.dvo.ru, pichugin@poi.dvo.ru*

*2 Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, 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.

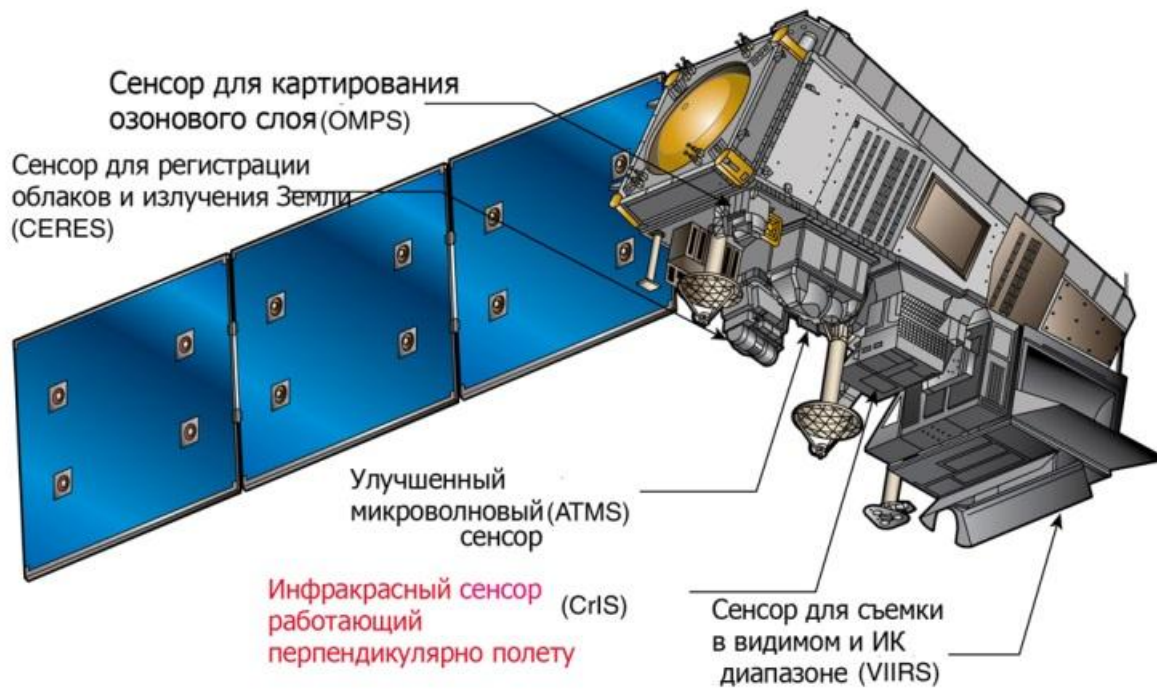
Для решения задачи обнаружения и достоверной идентификации МЦ в исследовании применялся синергетический подход, основанный на комплексном использовании мультисенсорных спутниковых измерений и современных реанализов высокого разрешения.

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 радиоярких 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.

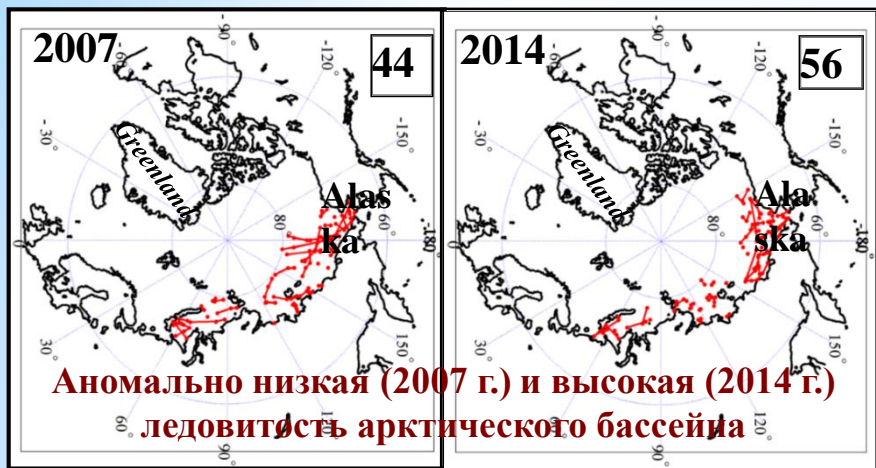
Cross-track Infrared Sounder (CrIS) – интерферометр для определения влажности.

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

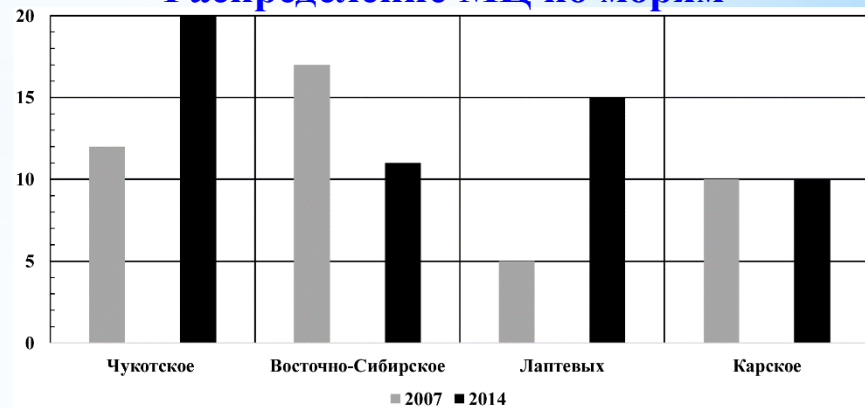
Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) – 22-х полосный радиометр с пространственным разрешением 750 м и 375 м, работающий в УФ, ИК и видимом диапазонах длин волн.

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

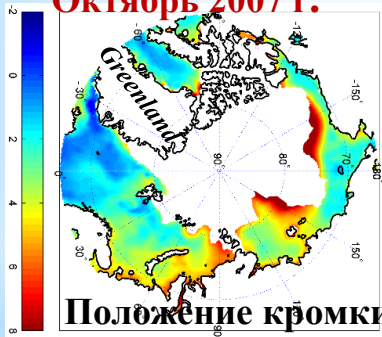
Сравнительные оценки межгодовой и внутригодовой изменчивости мезоциклонической деятельности над восточным сектором Евразийской Арктики в 2007 и 2014 гг. (по данным реанализа NCEP-CFSR и изображениям MODIS)



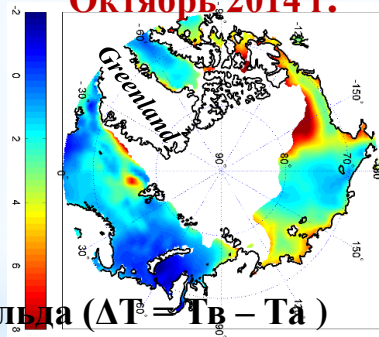
Распределение МЦ по морям



Октябрь 2007 г.



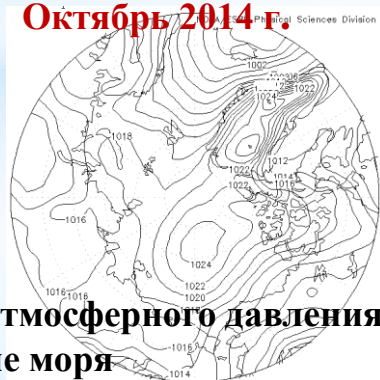
Октябрь 2014 г.



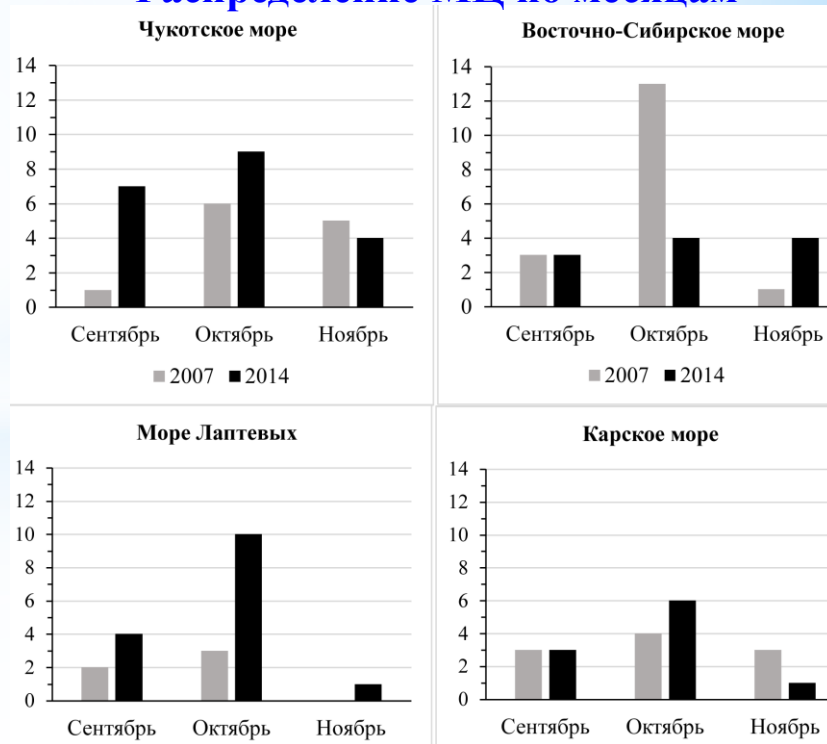
Октябрь 2007 г.



Октябрь 2014 г.



Распределение МЦ по месяцам



Характеристики используемых реанализов

Реанализ	Пространственное разрешение	Временной период (гг.)	Шаг
NCEP-CFSR (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
ERA Interim ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)	0,125° x 0,125° разрешение модели 79 км	1979- настоящее время	3 ч
MERRA (The Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications)	0,5° x 0,5° разрешение модели 50 км	1979- настоящее время	1 ч
ASR (Arctic System Reanalysis Project)	0,25 x 0,25° разрешение модели 30 км	2000-2012	3 ч

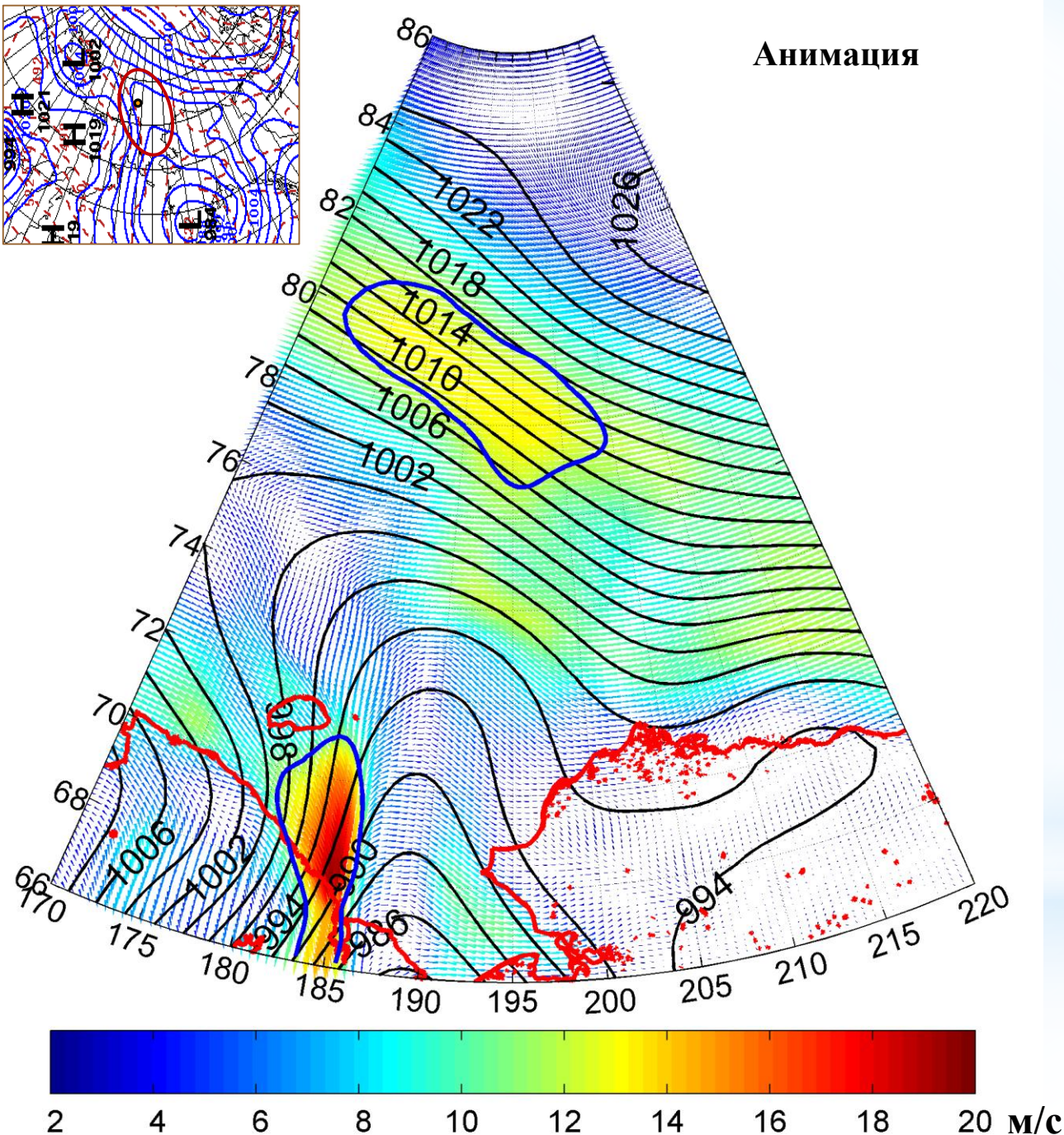
Анимация

1

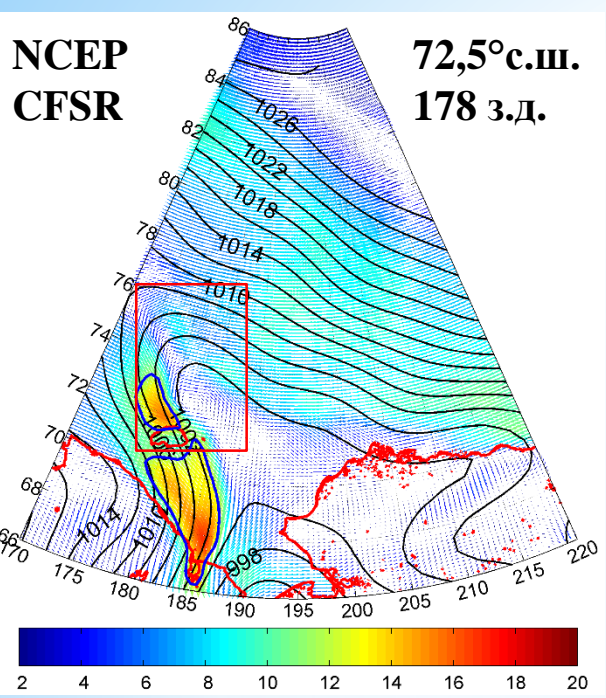
Мезомасштабный
циклогенез над
Чукотским морем
13-16 ноября 2007 г.

Динамика процесса

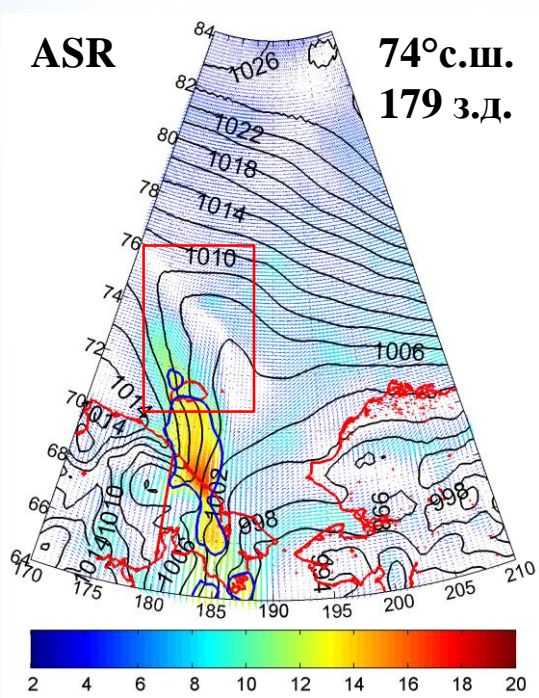
Реанализ
NCEP CFSR



**NCEP
CFSR** **72,5°с.ш.
178 з.д.**



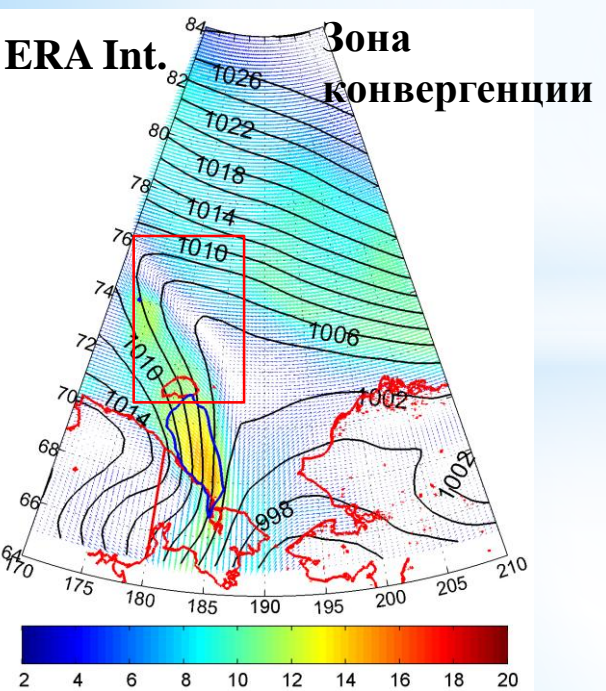
ASR **74°с.ш.
179 з.д.**



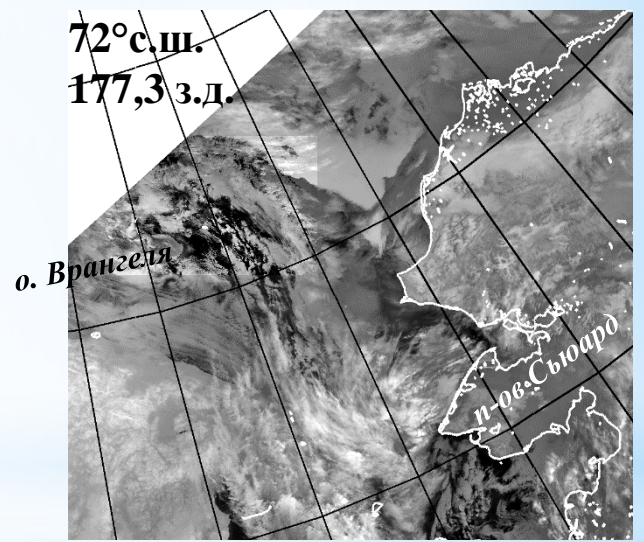
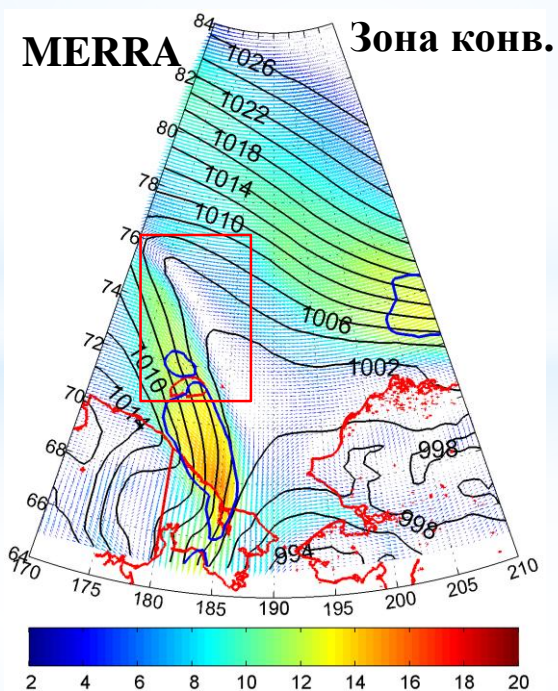
**МЦ над Чукотским морем
14 ноября 2007 г. 00 Гр.**

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

ERA Int. **Зона
конвергенции**

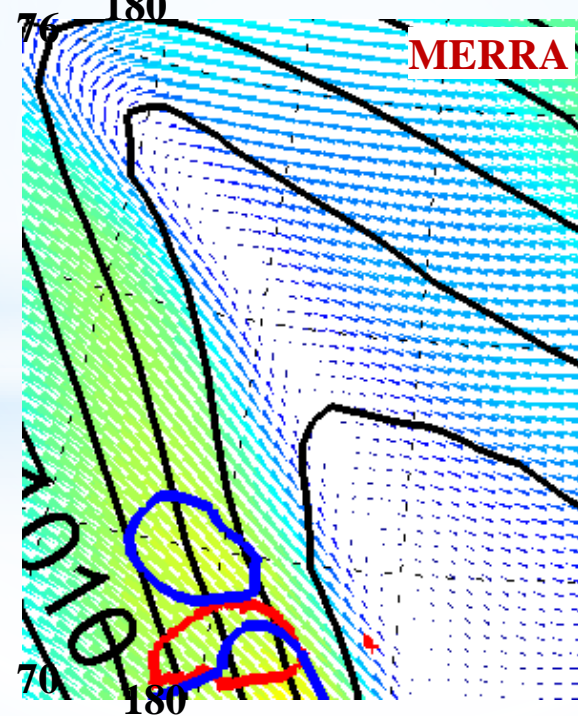
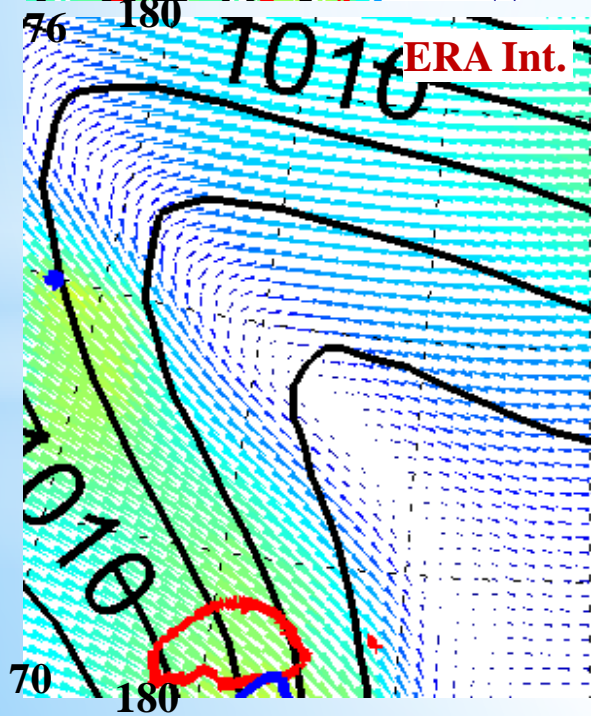
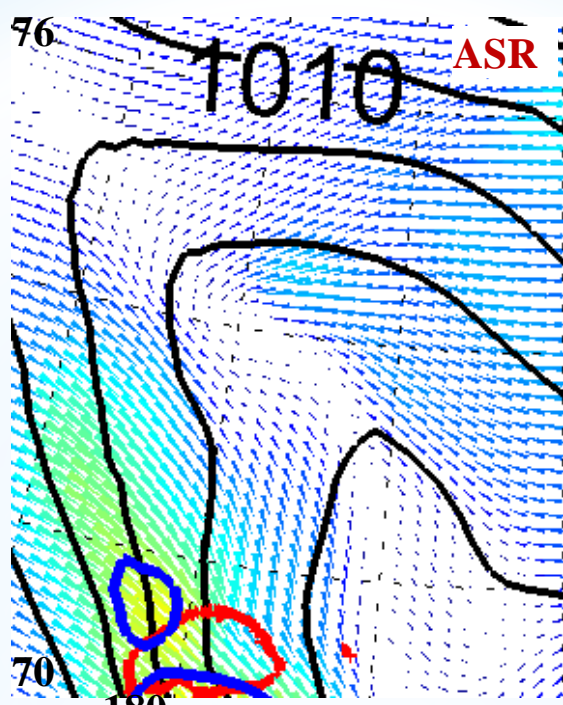
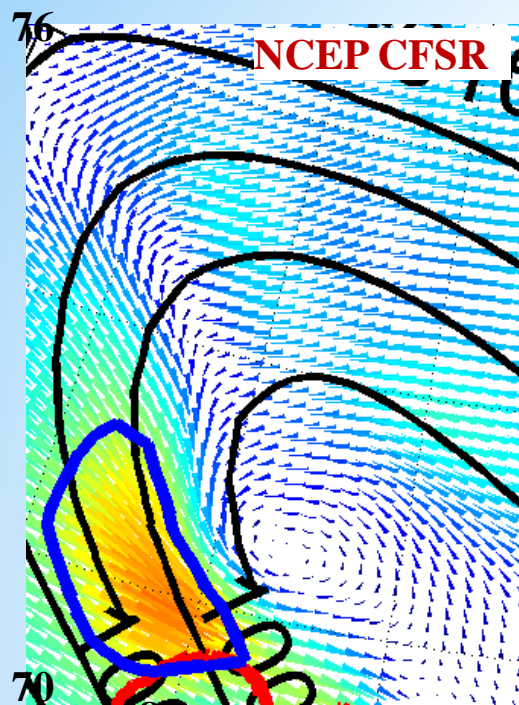


MERRA **Зона конв.**



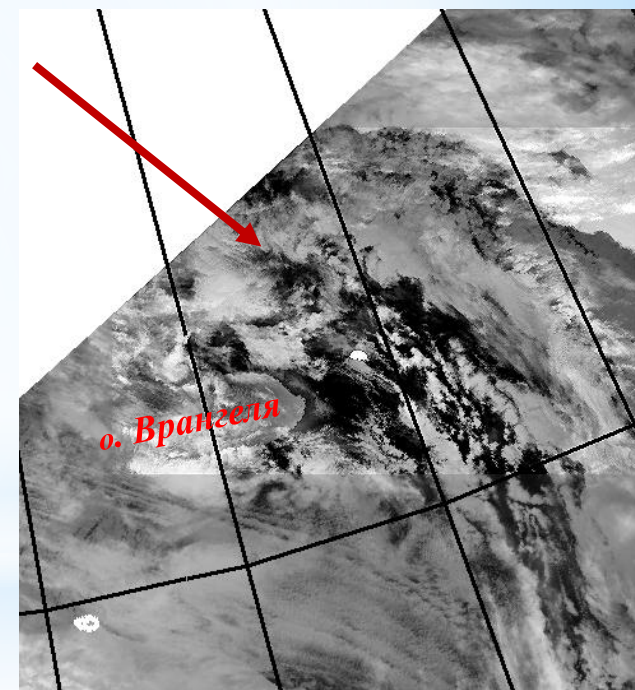
Aqua MODIS 13.11.2007 23:45 Гр.

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



14 ноября 2007 г.
00 Гр.

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



Аqua MODIS
13.11.2007 23:45 Гр.
Фрагмент

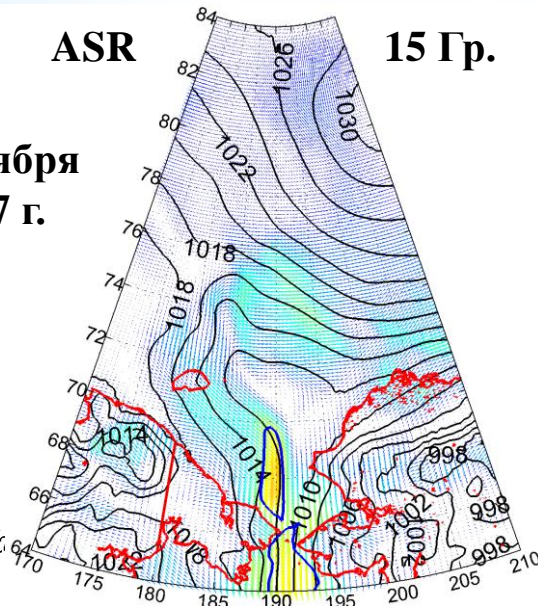
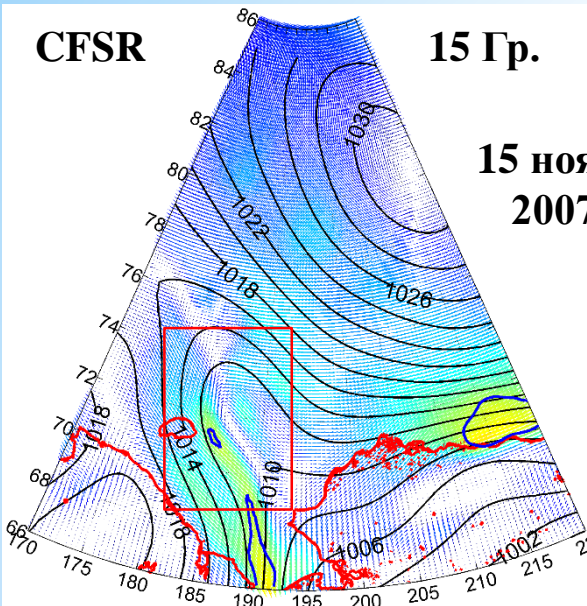
CFSR

15 Гр.

ASR

15 Гр.

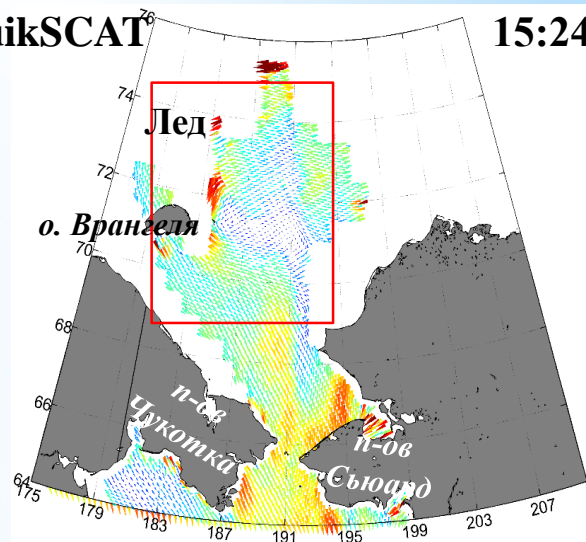
15 ноября
2007 г.



Поля вектора ветра (шкалы в м/с)

QuikSCAT

15:24 Гр.



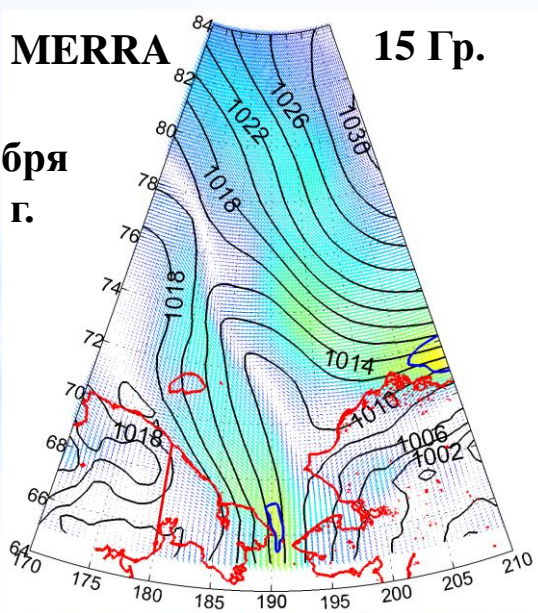
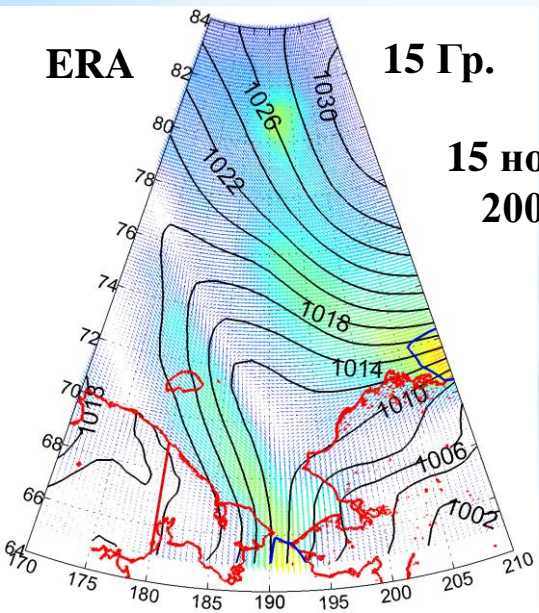
ERA

15 Гр.

MERRA

15 Гр.

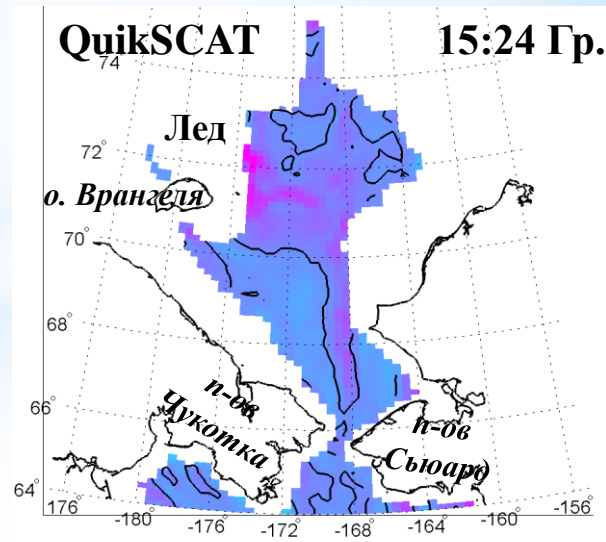
15 ноября
2007 г.



Поле завихренности

QuikSCAT

15:24 Гр.



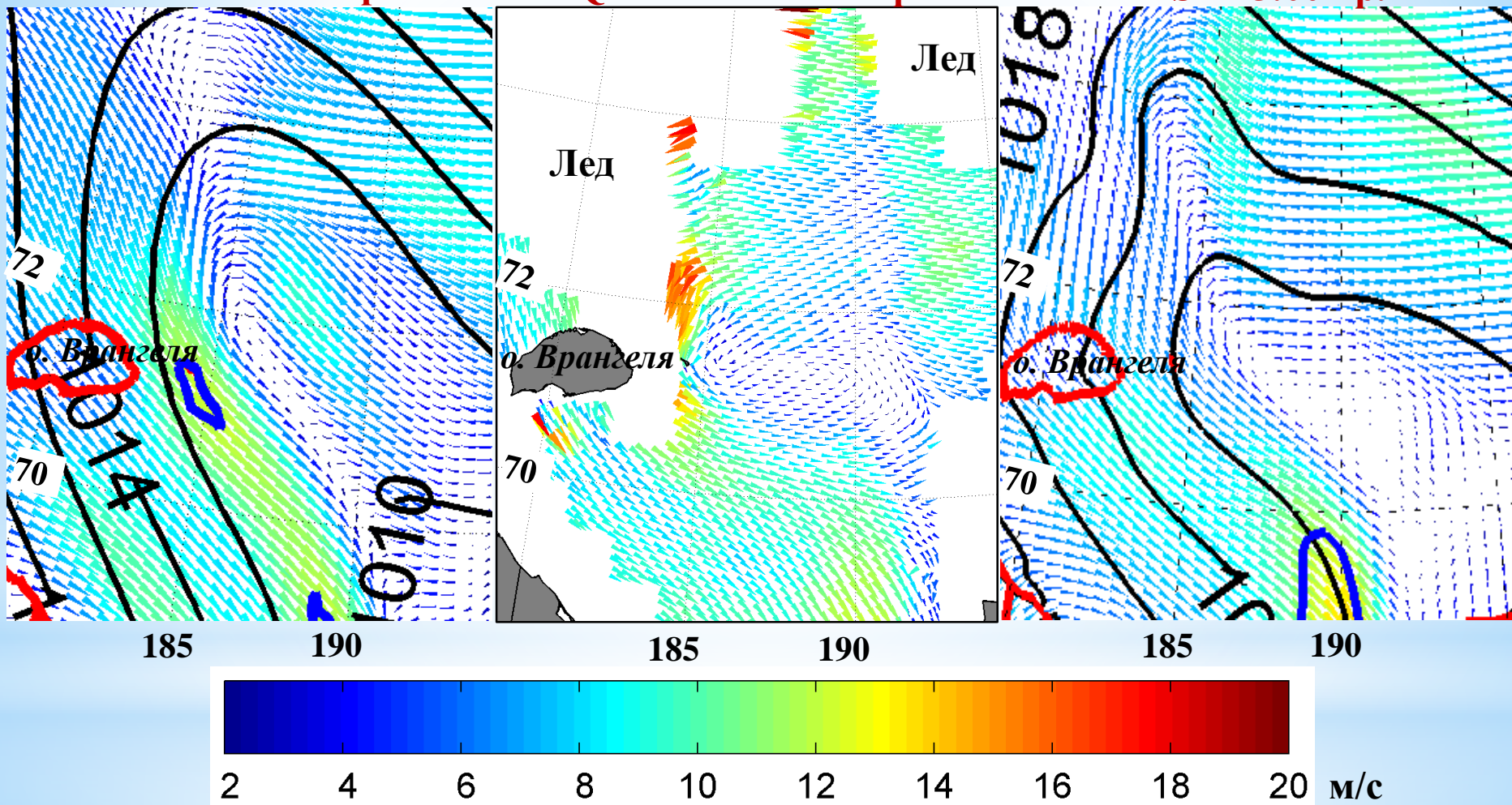
$10^{-4}/с$

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.

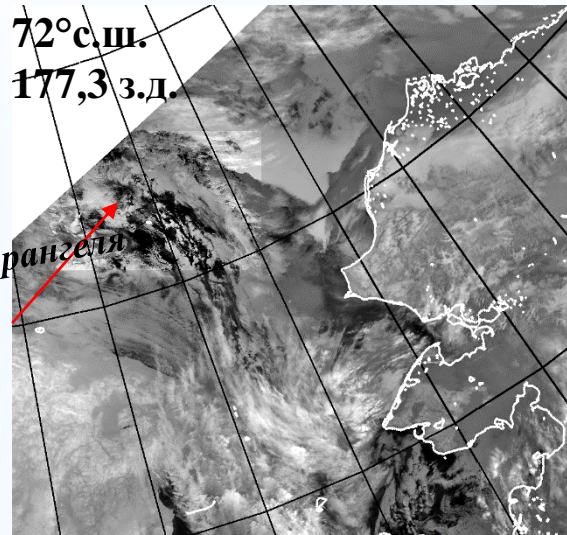
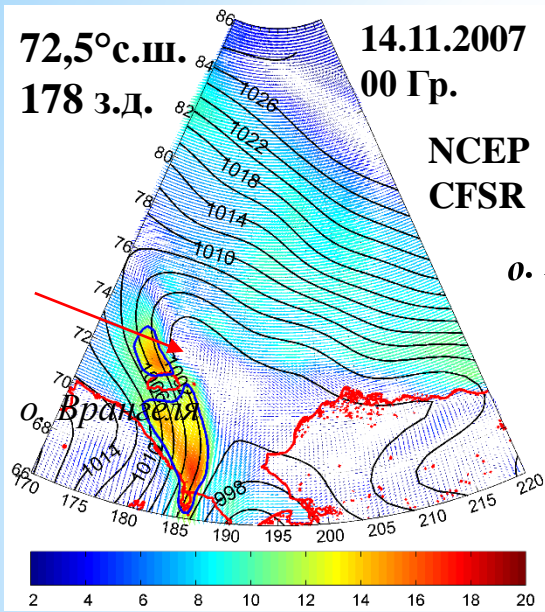
ASR 15:00 Гр.



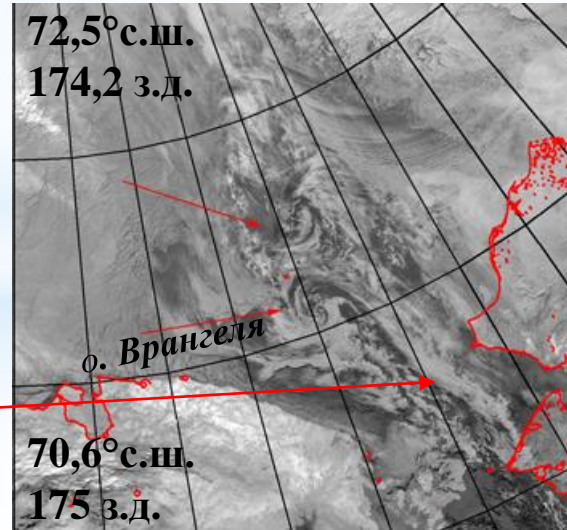
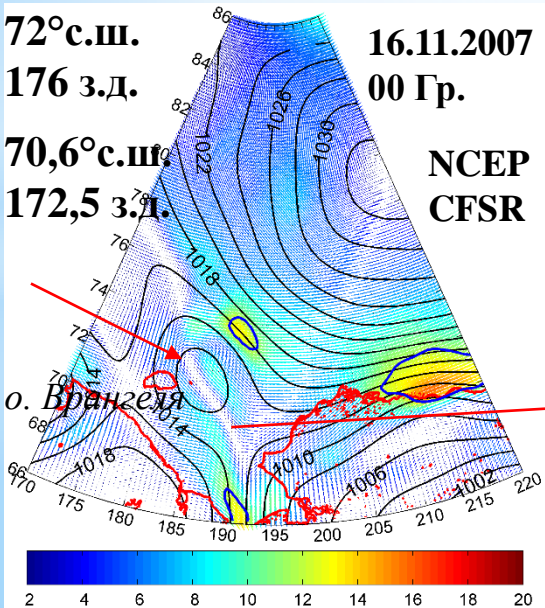
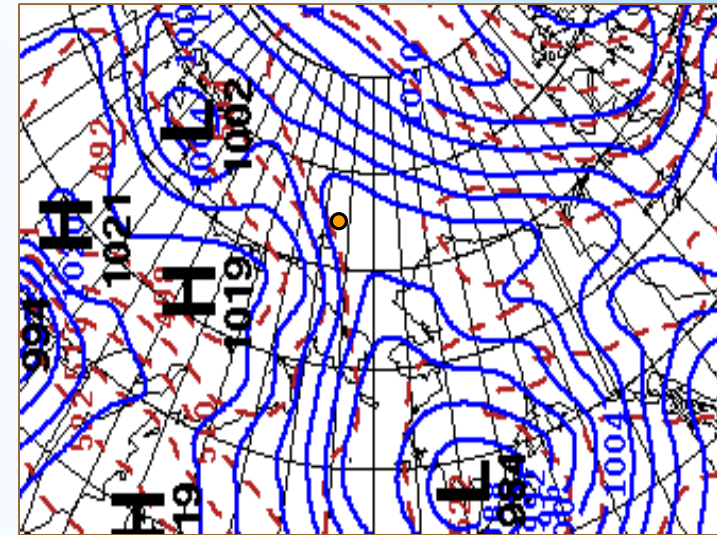
Соответствие скорости ветра по данным **QuikSCAT** и **CFSR**.

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

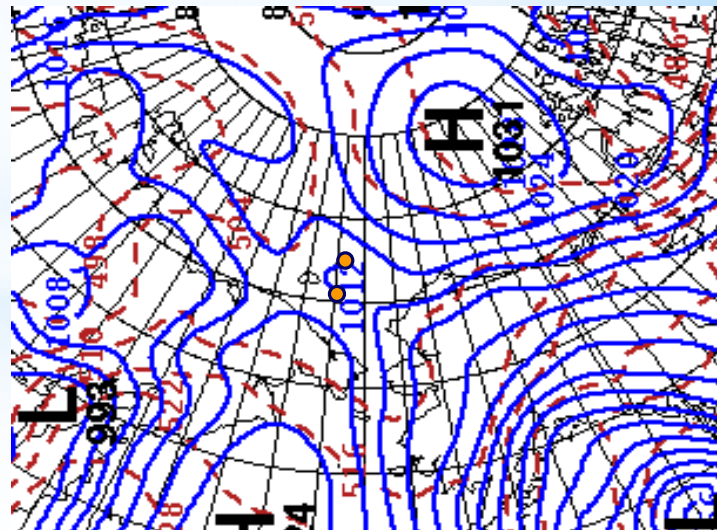
Эволюция мезоциклонического процесса над Чукотским морем за 48 ч (00 Гр. 14-16 ноября 2007 г.) в полях вектора ветра (CFSR) и облачности (MODIS)



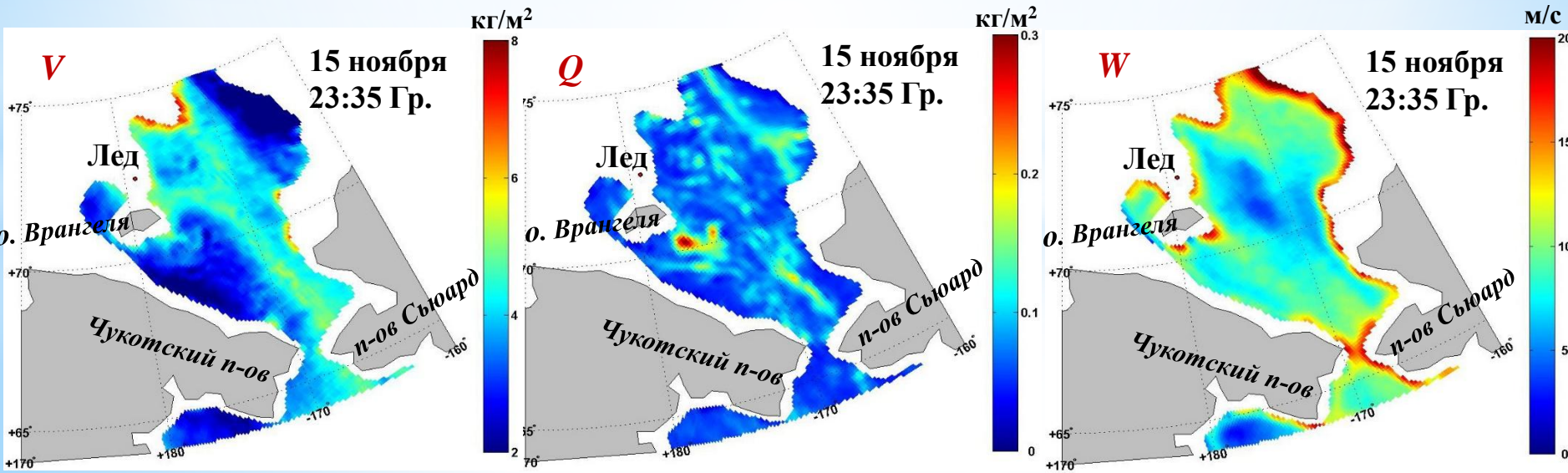
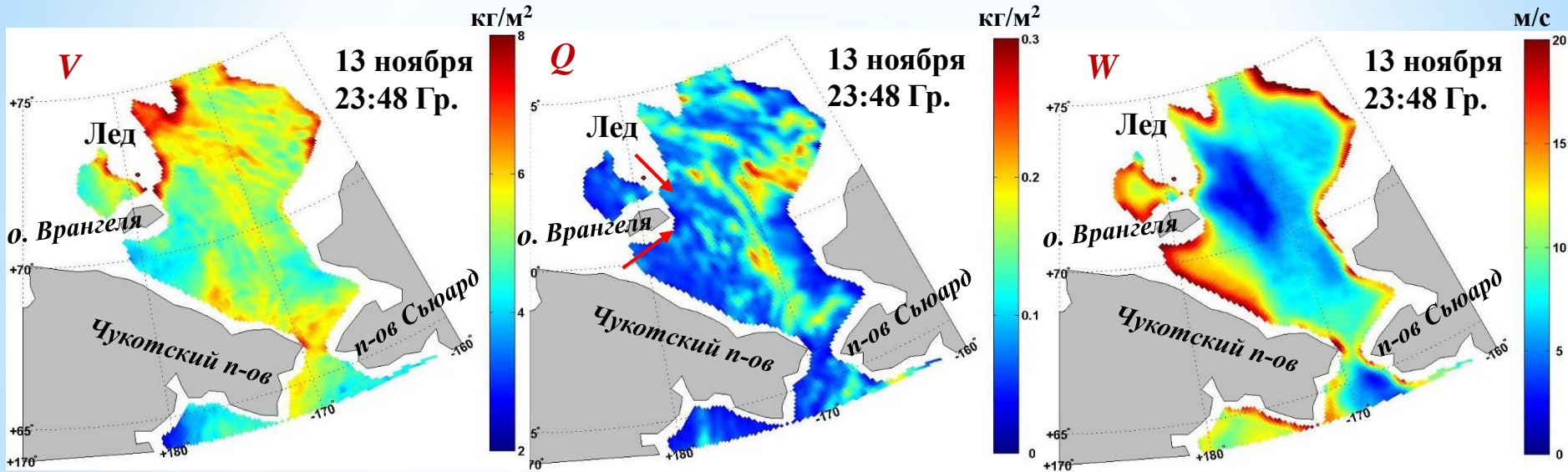
Aqua MODIS
23:45 Гр. 13.11.2007



Aqua MODIS
23:35 Гр. 15.11.2007



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.

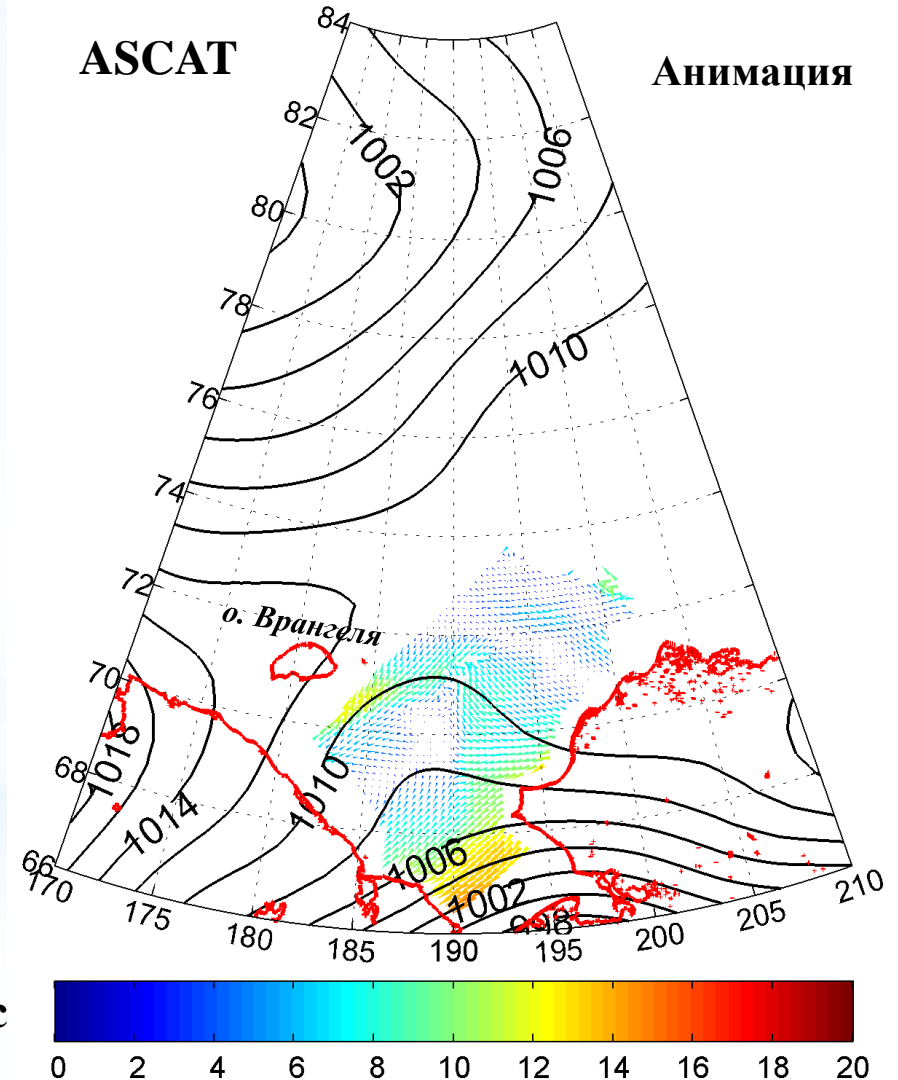
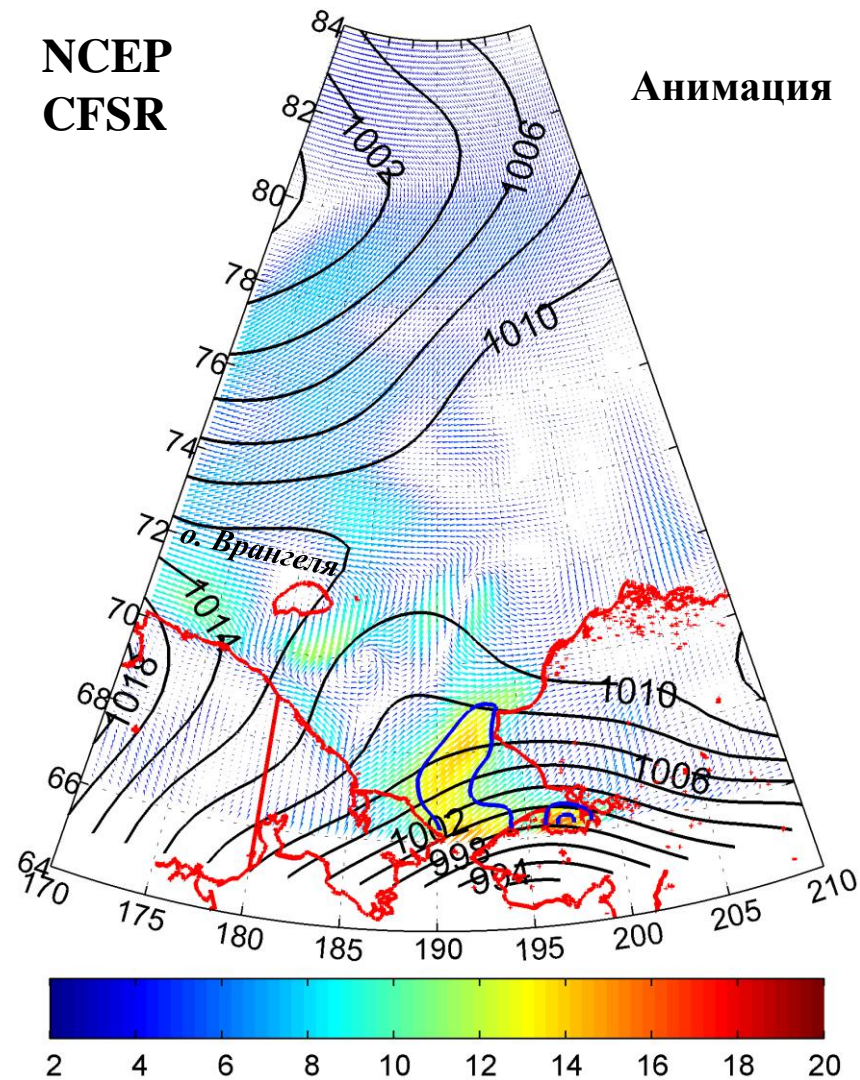


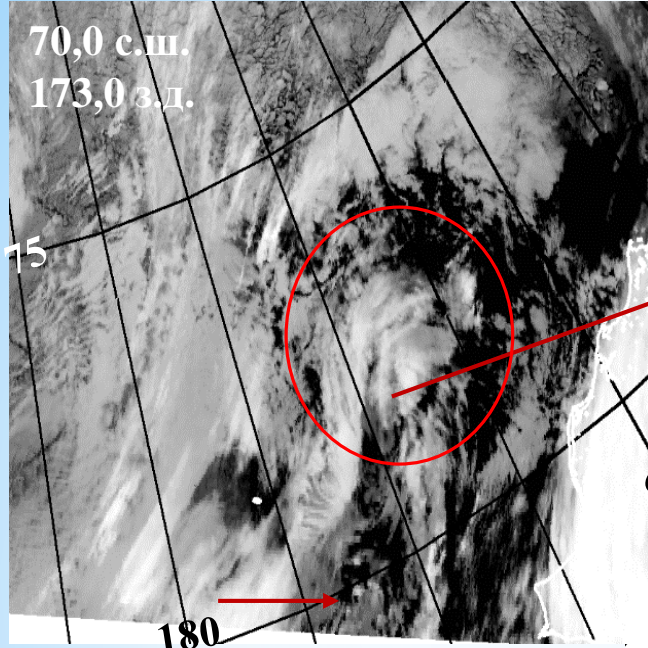
Мезомасштабный циклогенез над Чукотским морем

4-6 ноября 2011 г.

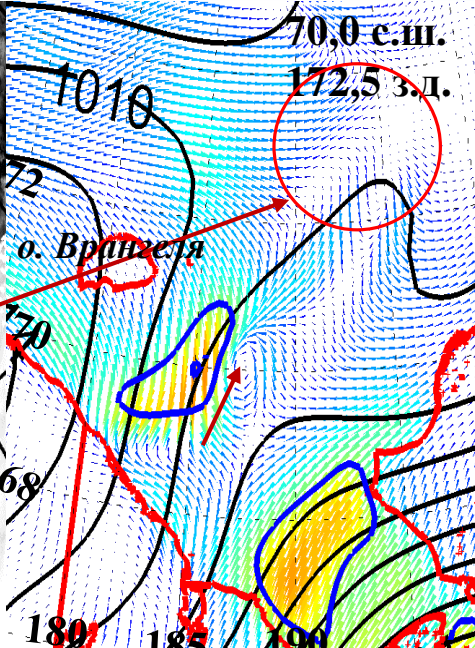
2

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

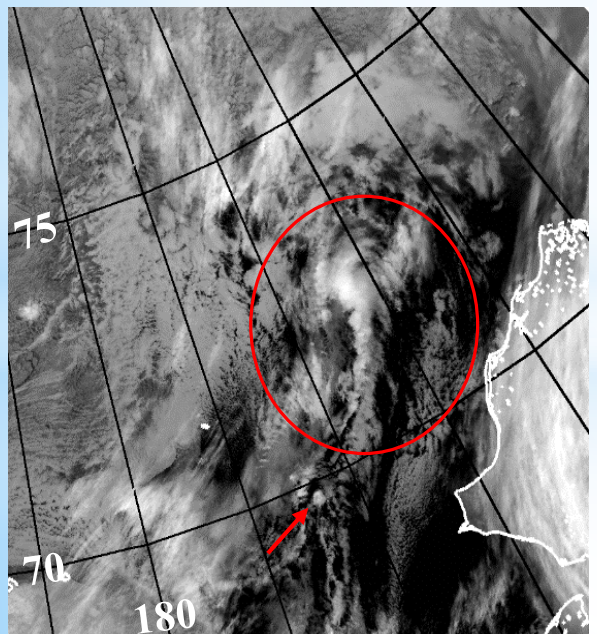
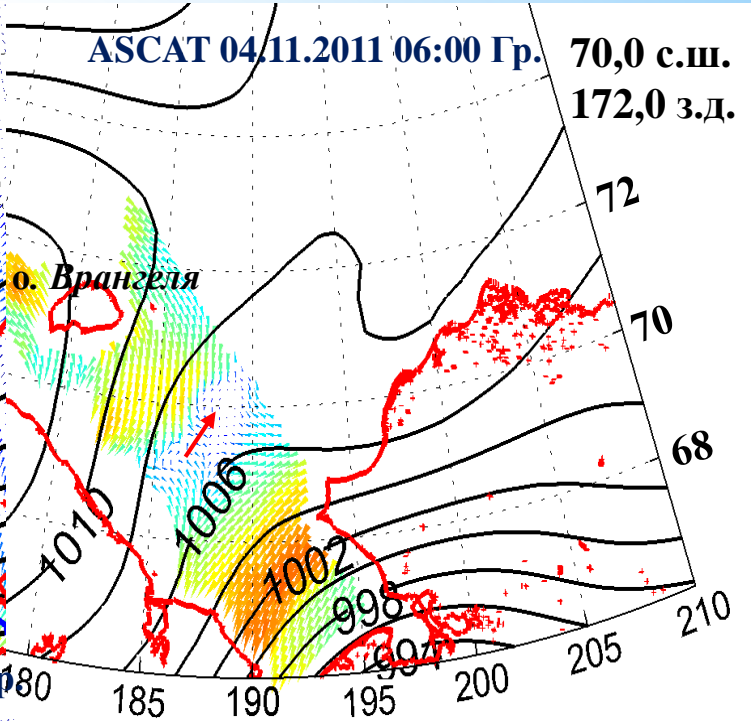




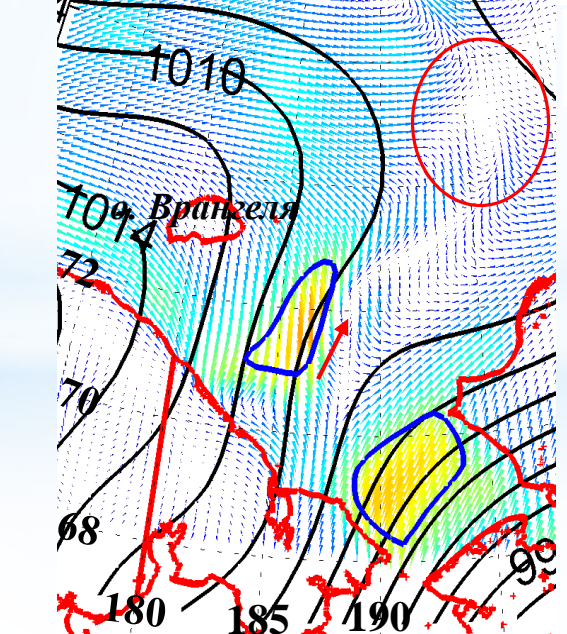
Terra MODIS 04.11.2011 05:40 Гр.



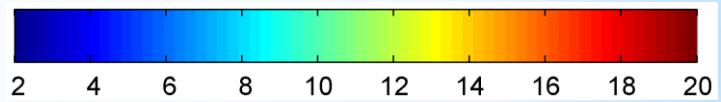
NCEP CFSR 04.11.2011 06:00 Гр.



Terra MODIS 04.11.2011 08:55 Гр.



NCEP CFSR 04.11.2011 09:00 Гр.

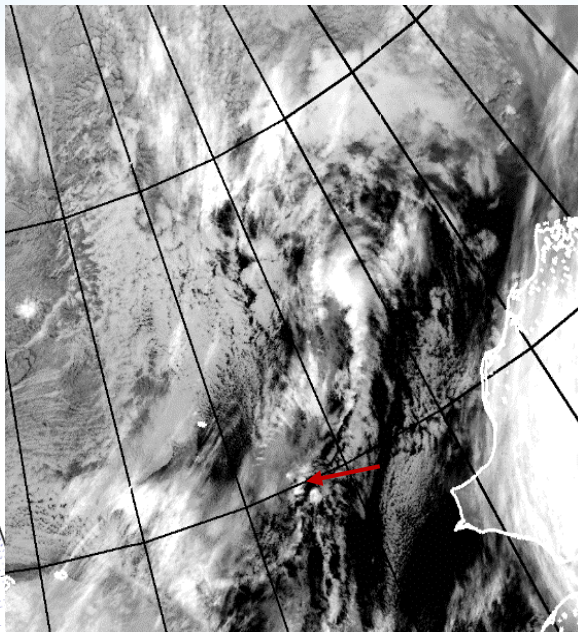


**Чукотское море
04-06 ноября 2011 г.**

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

Северный МЦ – поле облачности не согласуется с полем ветра.

Terra MODIS



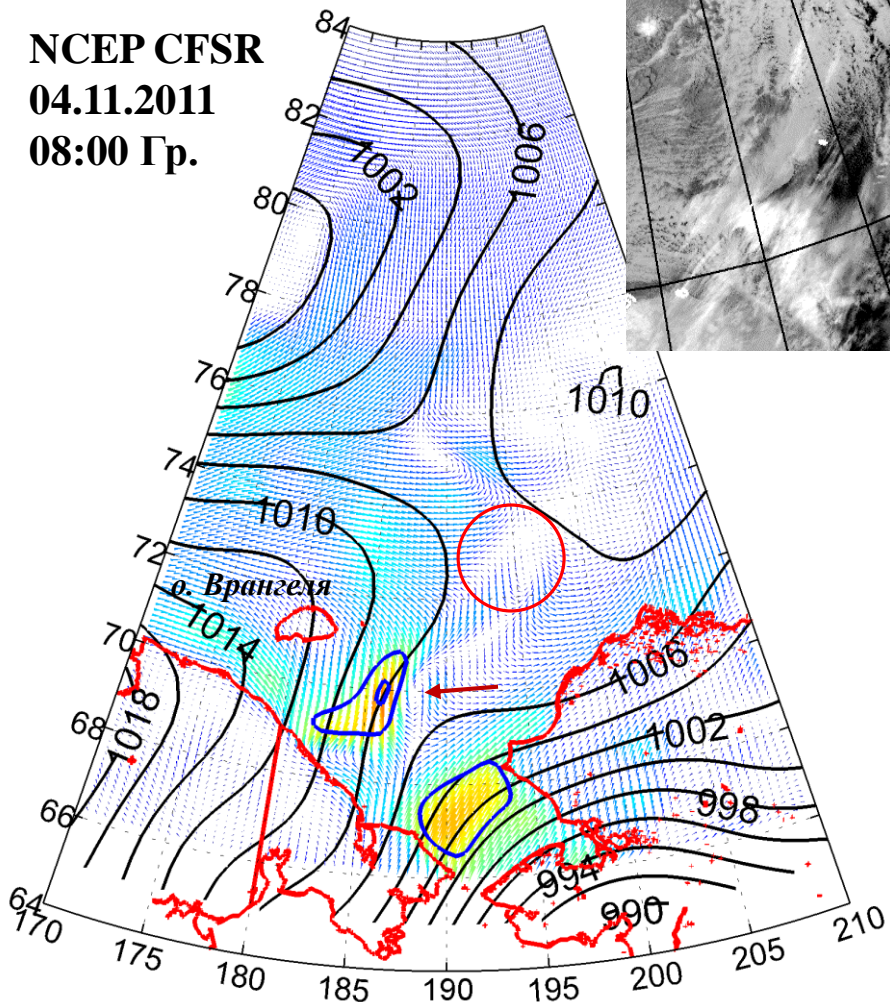
04.11.2011

08:55 Гр.

NCEP CFSR

04.11.2011

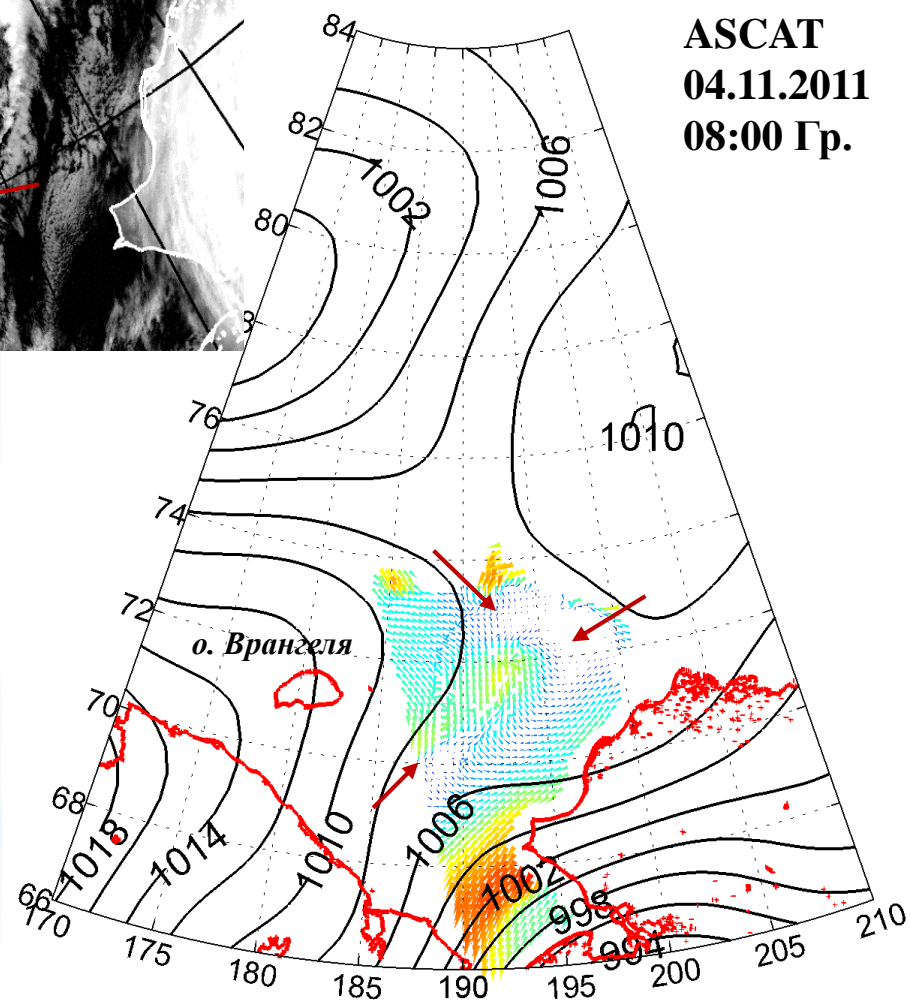
08:00 Гр.



ASCAT

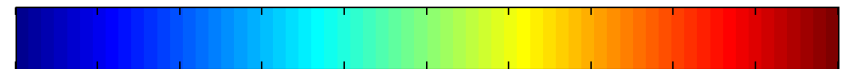
04.11.2011

08:00 Гр.



2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

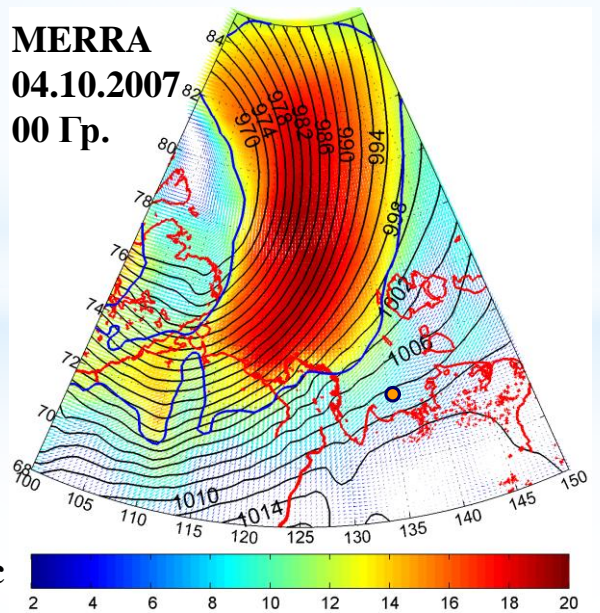
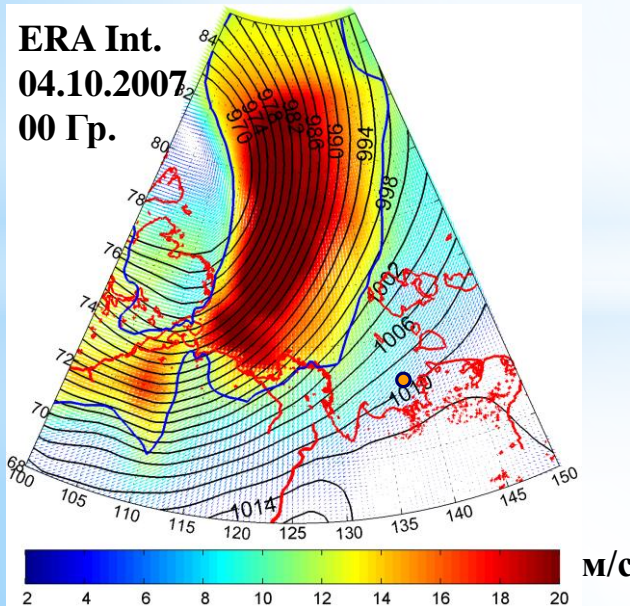
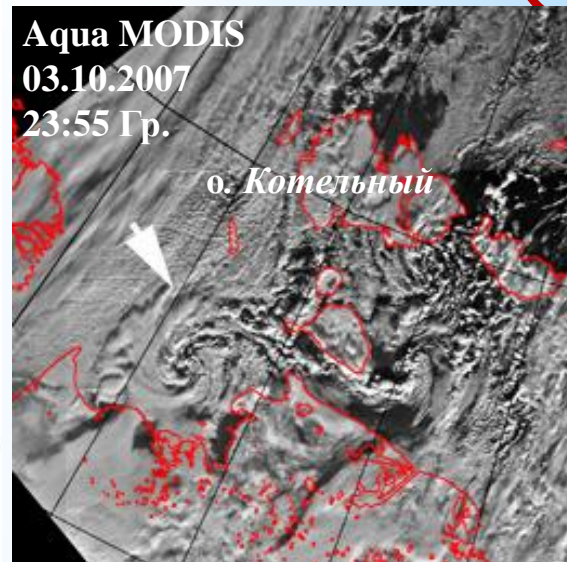
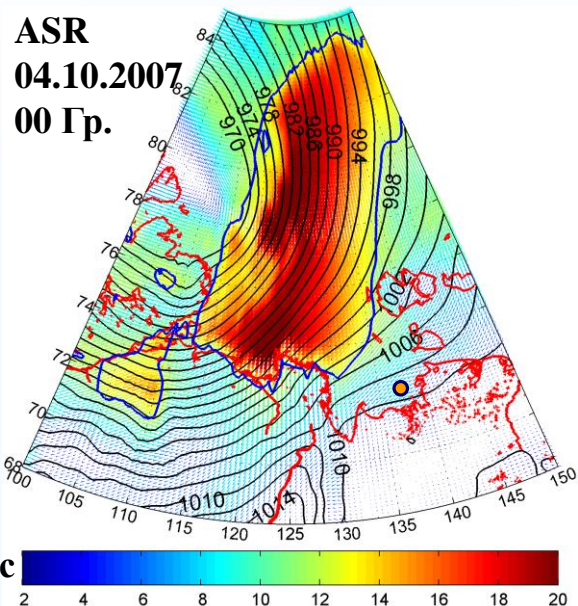
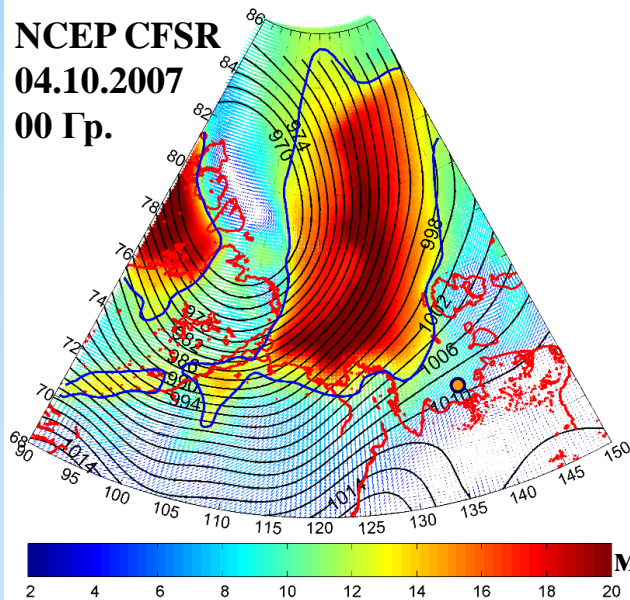
м/с



0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

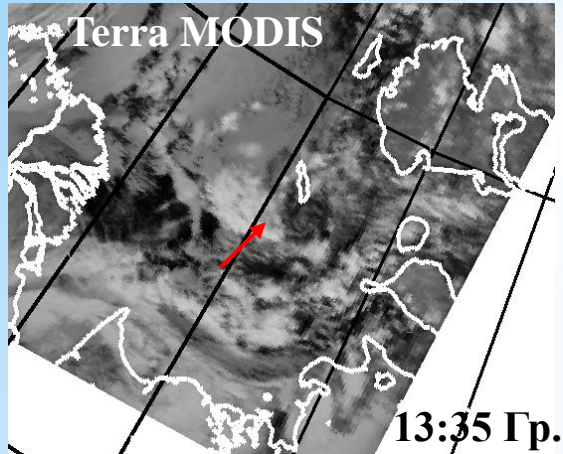
Мезо- β -циклон над морем Лаптевых 3-4 октября 2007 г.

3

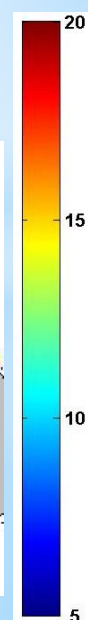
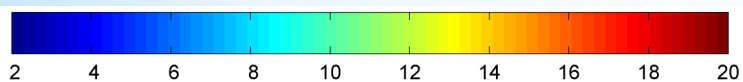
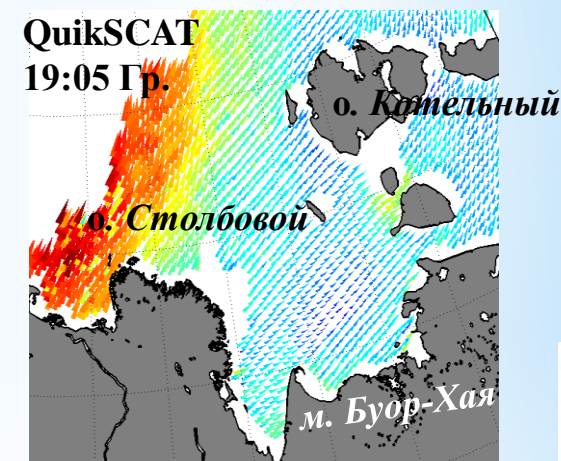
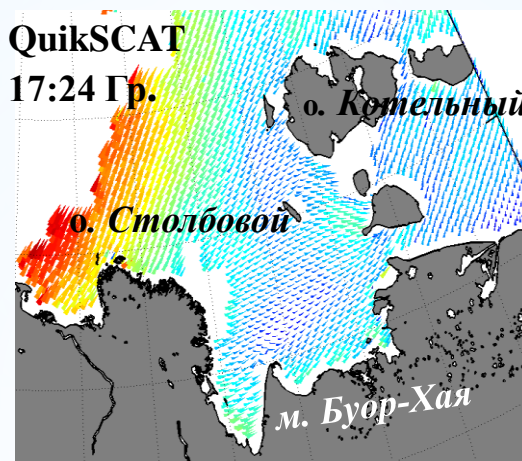
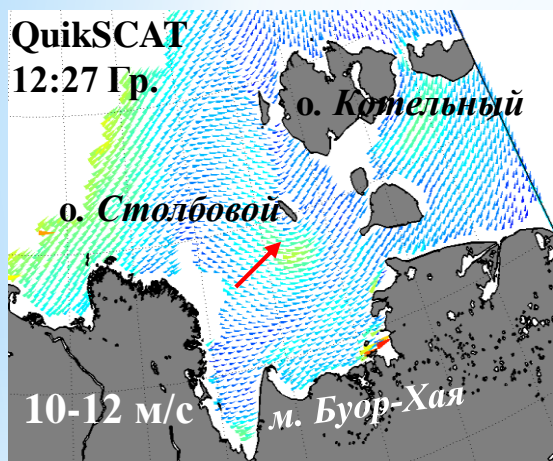
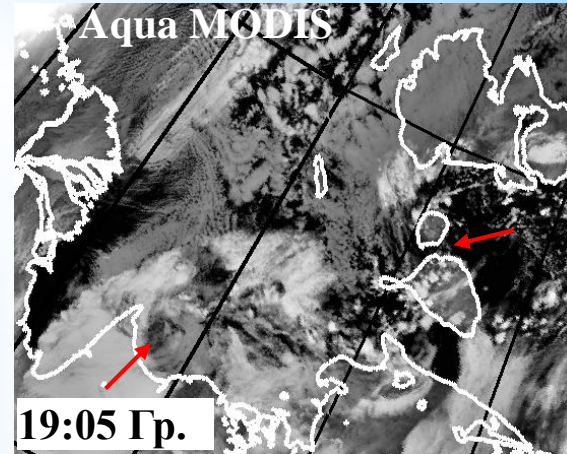


**МЦ спиральной формы
на ИК-изображении
MODIS.**

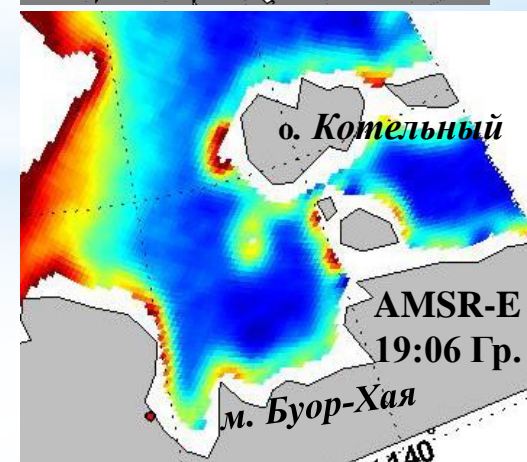
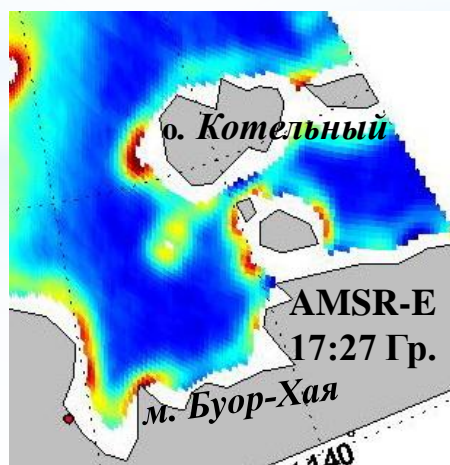
**Мезоциклоническая
циркуляция не
воспроизводится в полях
вектора ветра по данным
реанализов.**



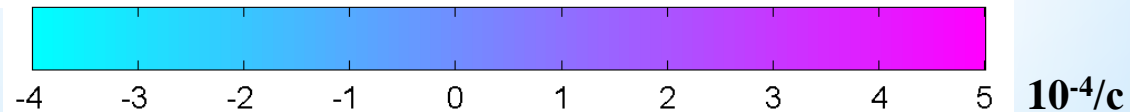
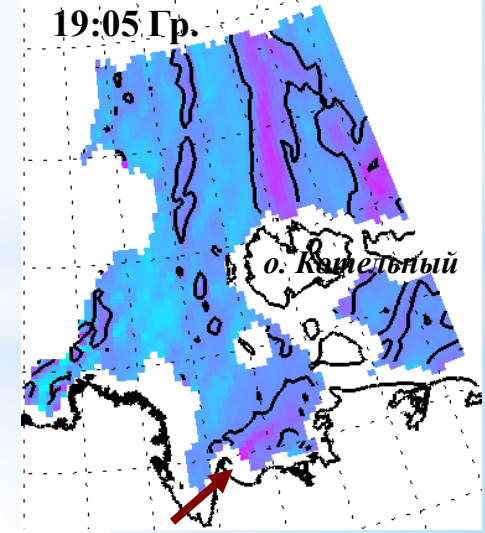
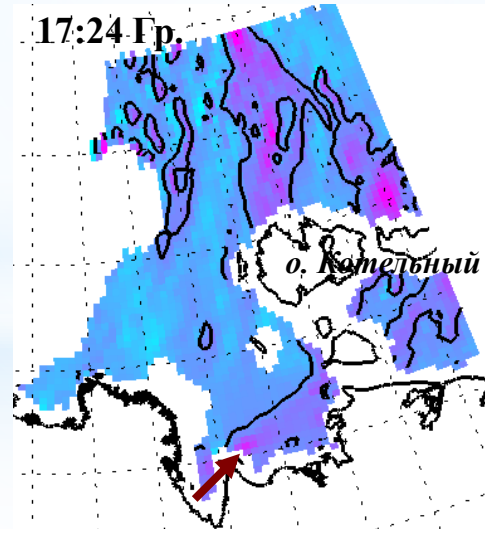
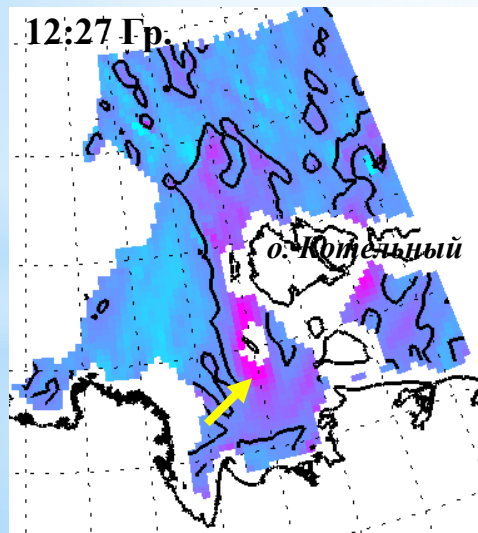
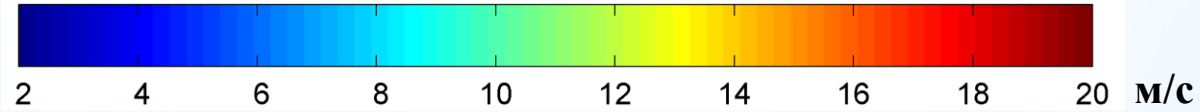
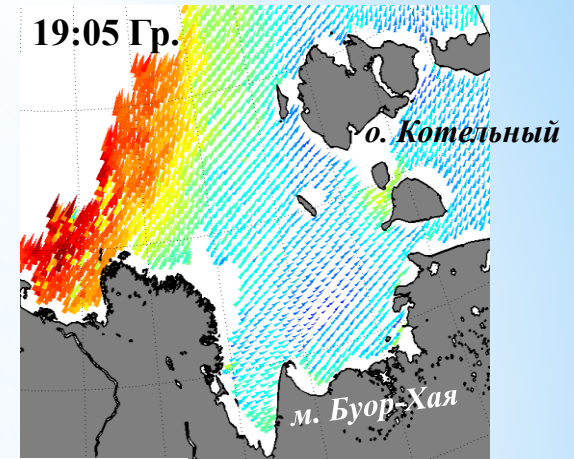
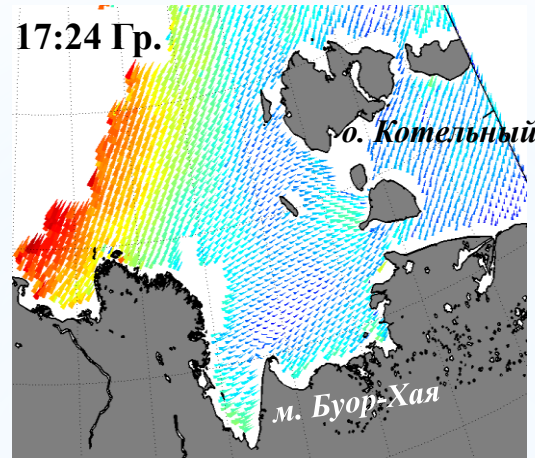
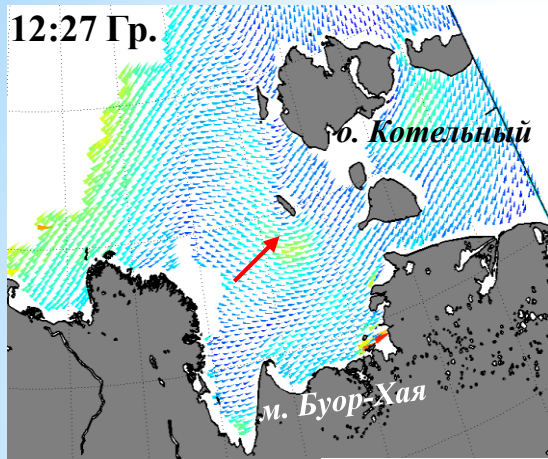
**Мезоциклоническая
деятельность над морем
Лаптевых 3 октября 2007 г.
Поля облачности (MODIS)
и приводного ветра (м/с)
(QuikSCAT, AMSR-E)**



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

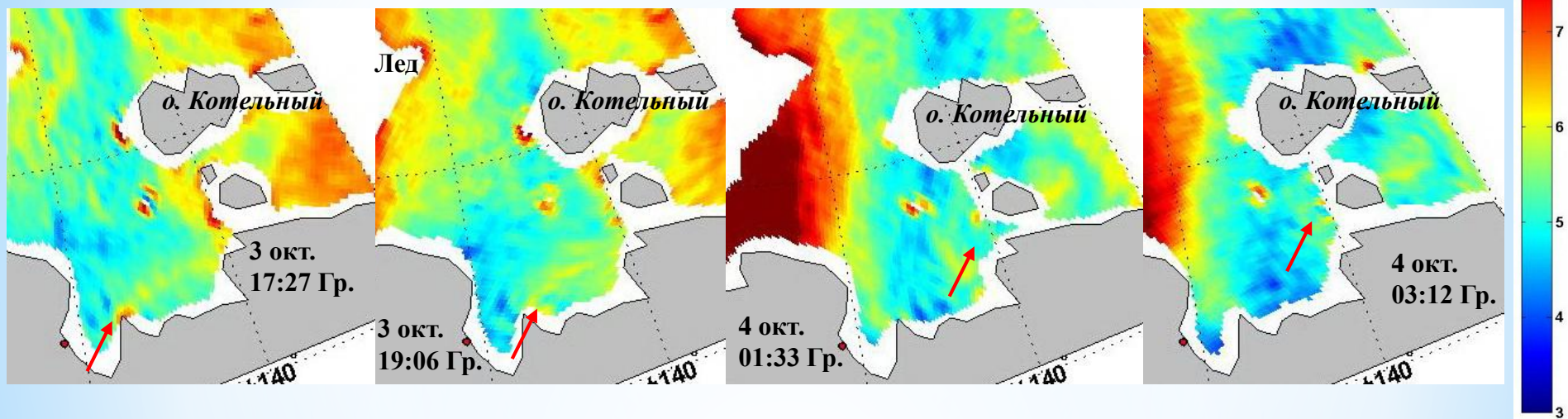


Поля при водного ветра (верхний ряд) и завихренности (нижний ряд) по данным скаттерометра **SeaWinds** (спутник **QuikSCAT**) за 17:24 Гр. 3 октября 2007 г.

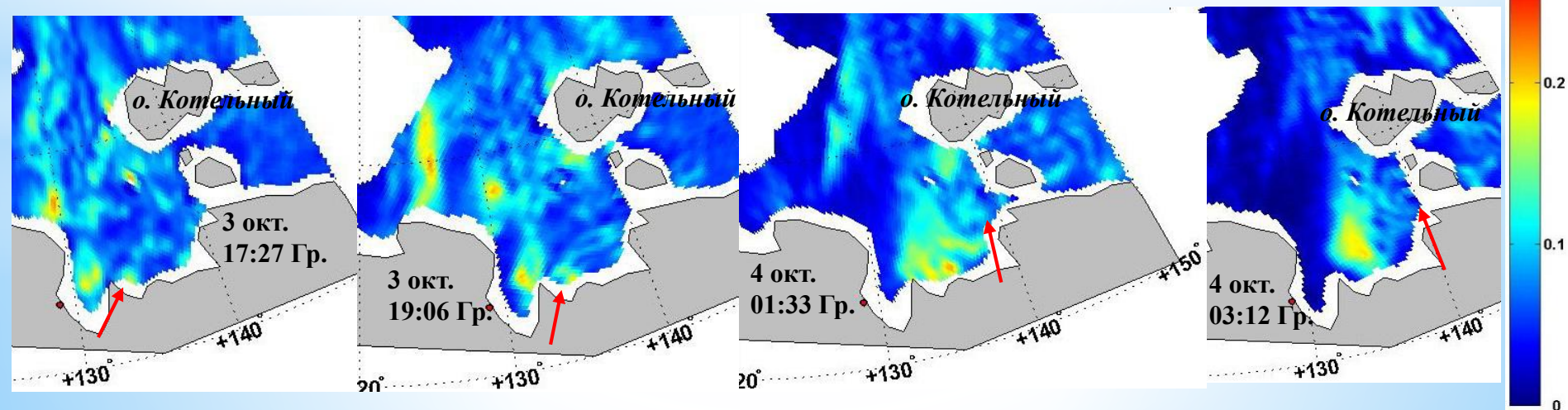


Эволюция и траектория МЦ в полях водяного пара (сверху) и капельной влаги (снизу) по данным AMSR2 за 3-4 октября 2007 г. Шкалы в кг/м²

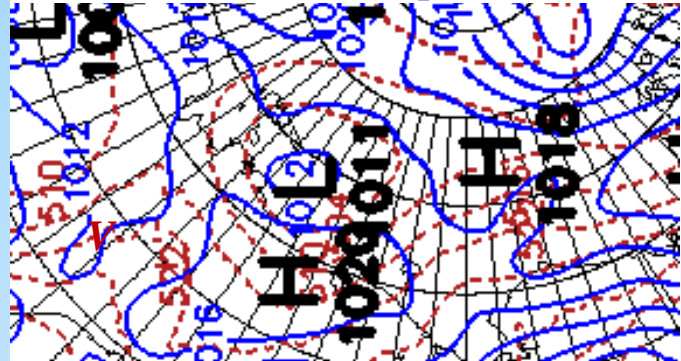
Мезовихри слабо выделяются в полях водяного пара



Структура мезовихрей хорошо видна в полях капельной влаги



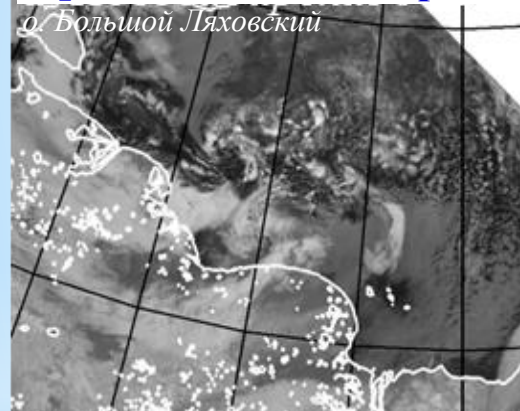
Приземный анализ и OT500/1000
NCEP 17.10.2015 00 Гр.



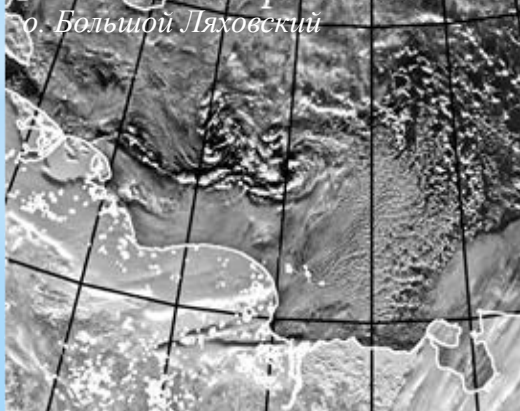
Мезоциклоническая деятельность над
Восточно-Сибирским морем в полях
облачности(слева), водяного пара V
(середина) и капельной влаги Q
(справа) 16-17 октября 2015 г.

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

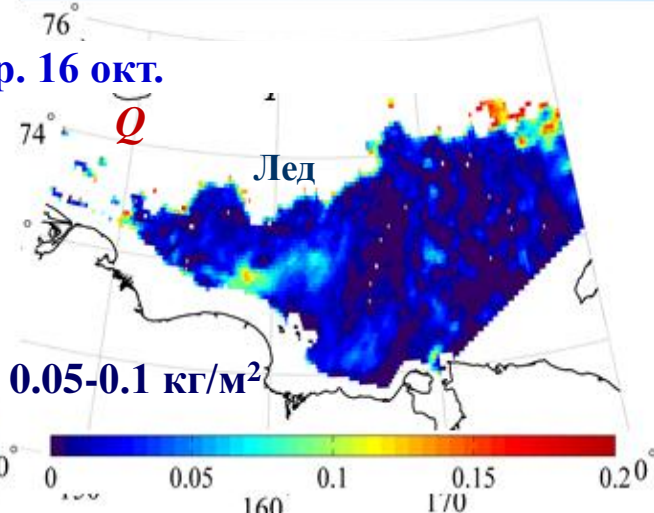
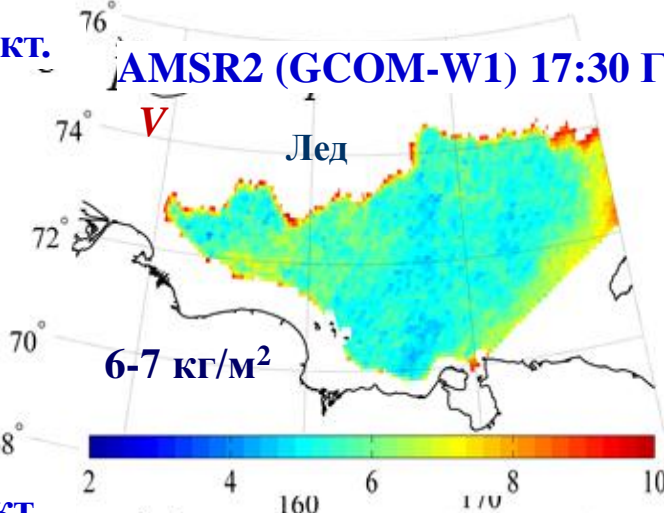
Aqua MODIS 17:35 Гр. 16 окт.



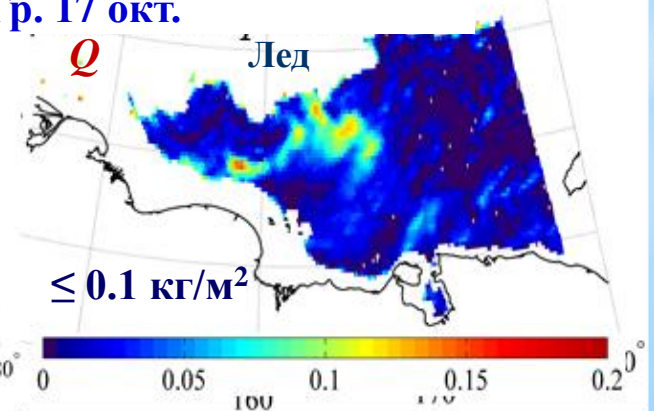
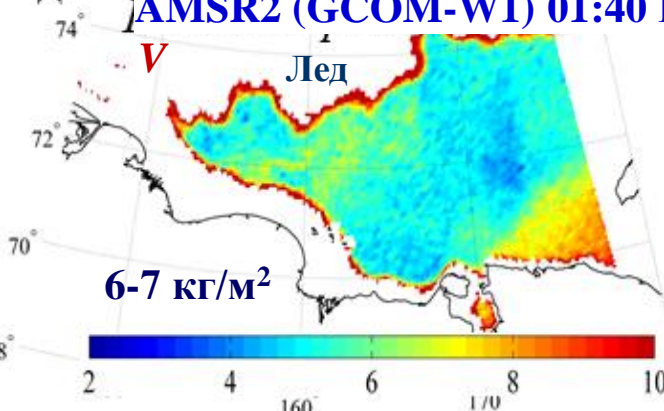
Aqua MODIS 01:40 Гр. 17 окт.



AMSR2 (GCOM-W1) 17:30 Гр. 16 окт.

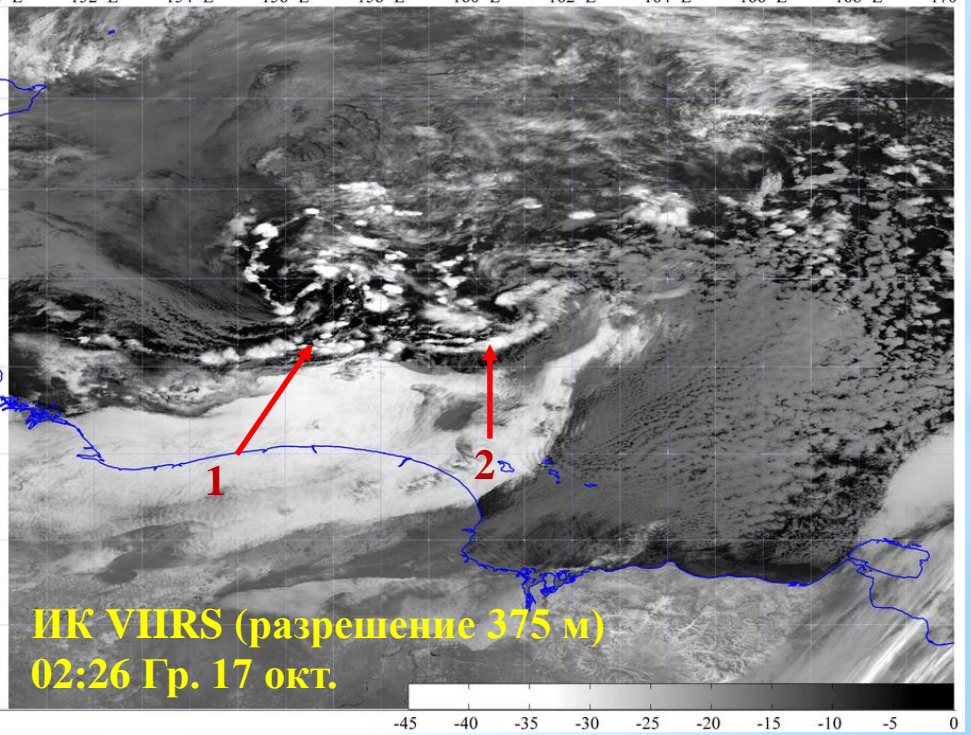
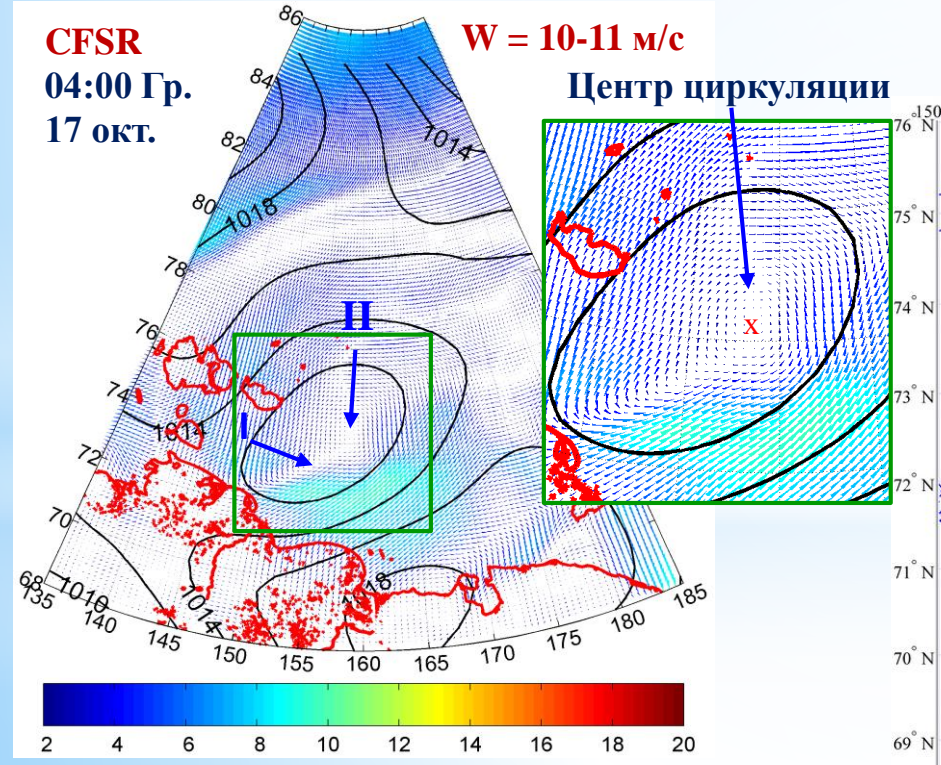
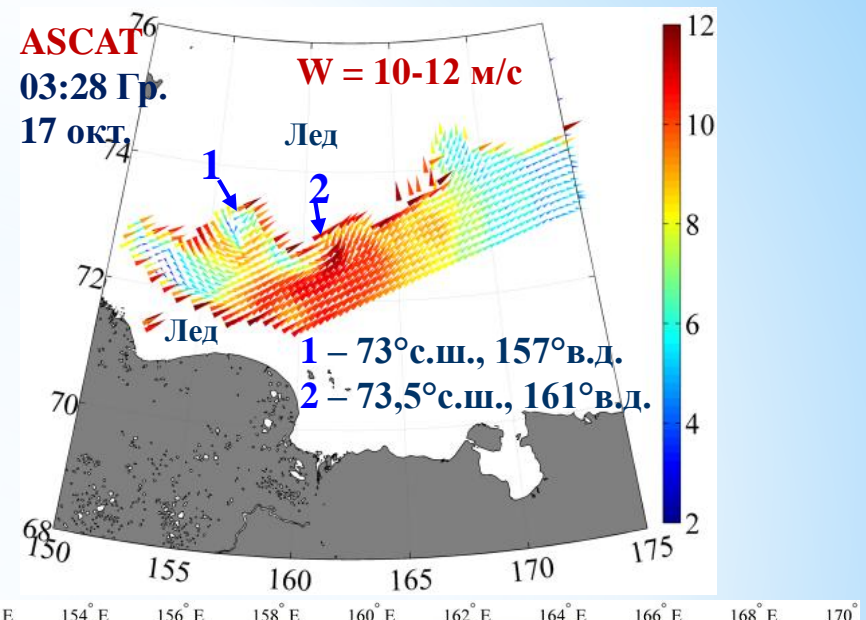
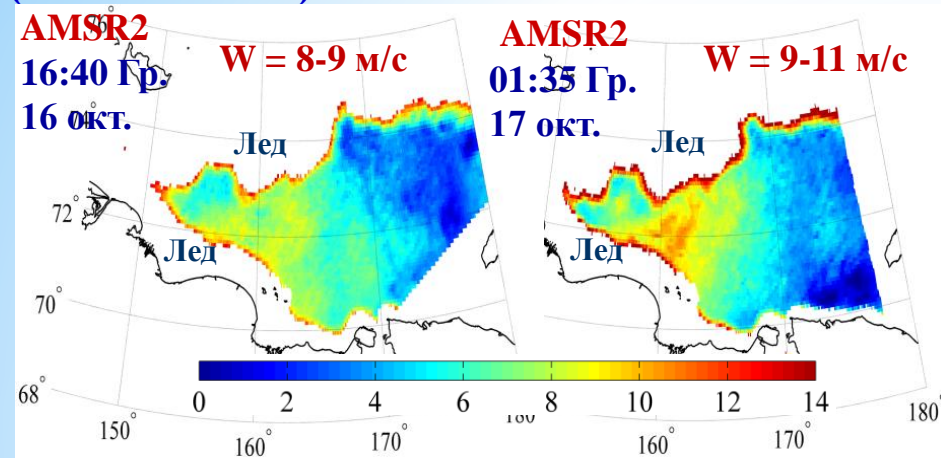


AMSR2 (GCOM-W1) 01:40 Гр. 17 окт.



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!