



Условия и механизмы мезомасштабного циклогенеза над Чукотским морем 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*

Мезомасштабные полярные циклоны – короткоживущие интенсивные конвективные мезовихри, которые возникают в холодном воздухе над относительно теплой морской поверхностью. Они вызывают резкое ухудшение погоды, опасное для судоходства и прибрежных районов.

Сокращение арктического ледяного покрова и повышение температуры морской поверхности привело к интенсификации взаимодействия океана и атмосферы и, как следствие, к обострению мезоциклонической деятельности над **восточным сектором Евразийской Арктики (ВЕА)**.

В связи с активизацией хозяйственной деятельности в российском секторе Арктики растет актуальность исследований экстремальных погодных явлений в этом регионе, в число которых входят и полярные мезоциклоны.

Из-за крайне редкой сети стандартных гидрометеорологических наблюдений приоритет в их мониторинге и изучении принадлежит **мультисенсорным спутниковым измерениям, реанализам высокого разрешения и климатическим моделям.**

Цели исследования:

- типизация условий и механизмов возникновения и развития полярных мезоциклонов (ПМЦ) над окраинными морями ВЕА – Чукотским, Восточно-Сибирским и Лаптевых;
- выявление взаимосвязи интенсивности мезомасштабного циклогенеза с ледовым режимом морей в условиях меняющегося климата;
- статистические характеристики и климатические тренды мезоциклонической деятельности в ВЕА.

Задачи:

- создание архива полей приводного ветра и давления, приведенного к уровню моря, по данным реанализов высокого разрешения и скаттерометров за период 2000-2017 гг. – обнаружение ПМЦ;
- создание архива спутниковых ИК-изображений идентифицированных ПМЦ по данным спектрорадиометра MODIS (спутники Aqua и Terra) и радиометра VIIRS (спутник Suomi NPP) – идентификация, типизация по форме облачной системы и размерам, эволюция, жизненный цикл;
- создание электронных таблиц координат центров ПМЦ – районирование, траектории.

В настоящей работе исследовались условия и механизмы мезомасштабного циклогенеза над Чукотским морем и прилегающей к нему с севера свободной ото льда акваторией СЛО за период сентябрь-декабрь 2016 г.



Мезоциклоническая деятельность над Чукотским морем может наблюдаться до середины декабря, тогда как над морями Лаптевых и Восточно-Сибирским заканчивается в ноябре. Это обусловлено более поздним его замерзанием по сравнению с другими морями ВЕА из-за поступления относительно теплых вод из Берингова моря.

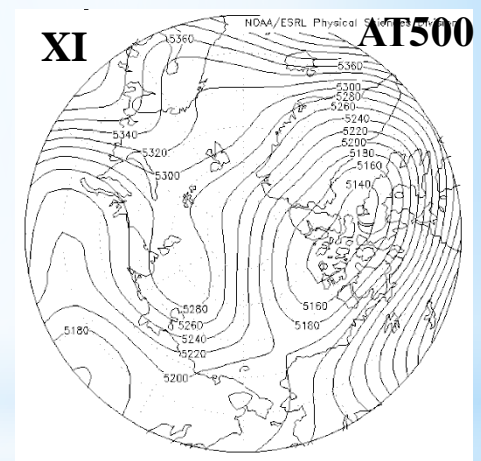
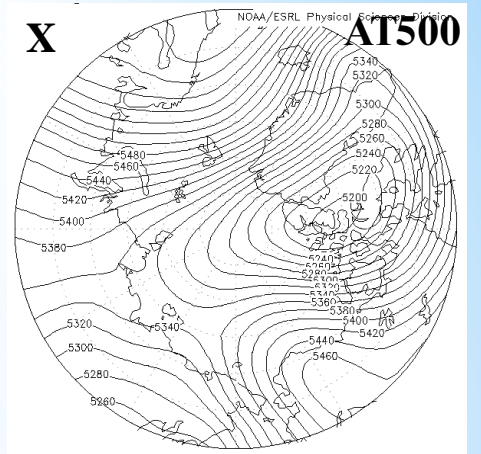
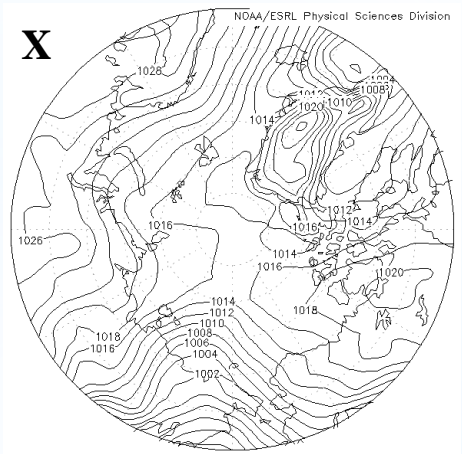
Ниже представлен детальный анализ синоптических условий и механизмов мезоциклогенеза на примере четырех ПМЦ в октябре и ноябре 2016 г. Предварительные оценки межгодовой и внутригодовой изменчивости сравнивались с аналогичными оценками, полученными ранее для 2007 и 2014 гг. Построена карта распределения ПМЦ в 2016 г.

Методы и данные

Исследование проводилось на основе комплексного анализа:

- полей вектора ветра на высоте 10 м и атмосферного давления, приведенного к уровню моря, по данным модели **CFSv2** (из оперативного анализа системы прогноза климата **Climate Forecast System, Version 2**) прогностического центра **National Centers for Environmental Prediction (NCEP)**;
- полей приводного ветра по измерениям скаттерометра **ASCAT** спутники (**MetOp-A/B**);
- полей приводного ветра, интегрального паросодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным микроволнового радиометра **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 спектрометрического радиометра **MODIS** (спутники **Aqua/Terra**) и радиометра **VIIRS** (спутник **Suomi NPP**);
- синоптических карт приземного анализа и барической топографии *Национального климатического центра данных NOAA (NOAA's National Climatic Data Center – **NCDC**) (<http://nomads.ncdc.noaa.gov/>).*

Мезомасштабный циклогенез над Чукотским морем (сентябрь-декабрь 2016 г.)

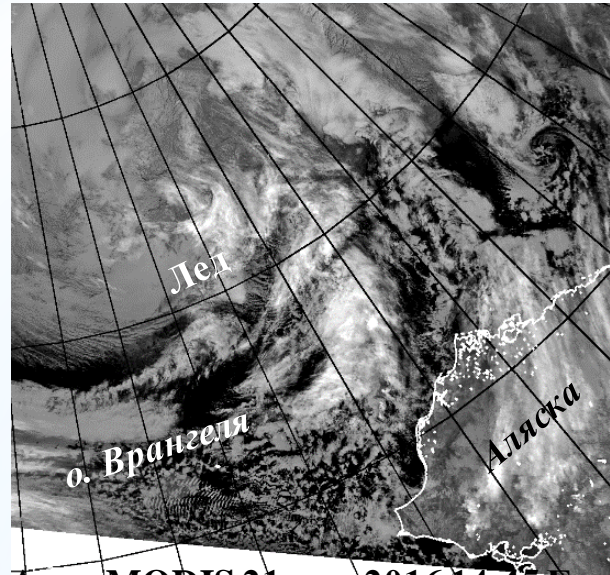
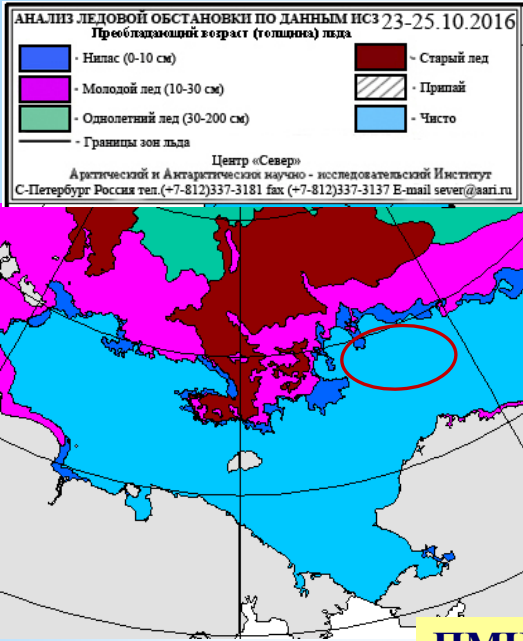


Среднемесячные карты атмосферного давления на уровне моря (слева) и AT500 (справа) по данным реанализа NCEP

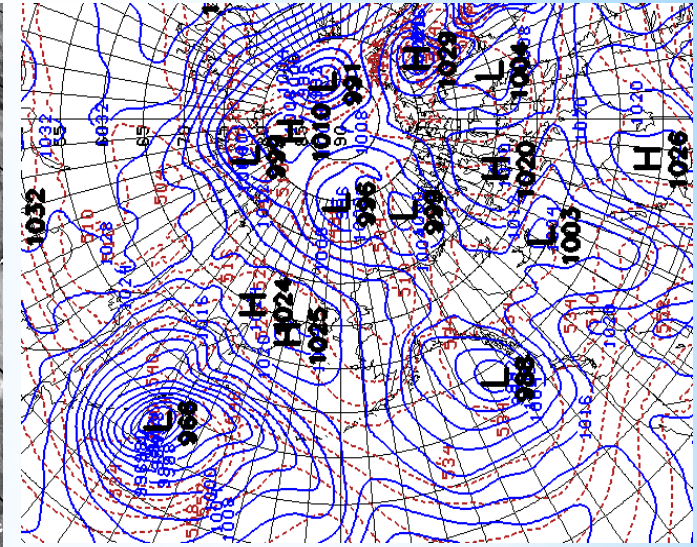
Октябрь - адвекция тепла в системе берингоморских циклонов.

Ноябрь - адвекция холода из приполюсных районов.

21-22 октября 2016 г. Облачная запятая за холодным фронтом

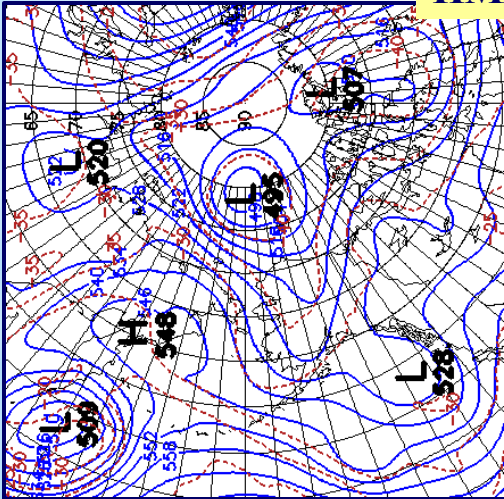


Аqua MODIS 21 окт. 2016 14:45 Gr.



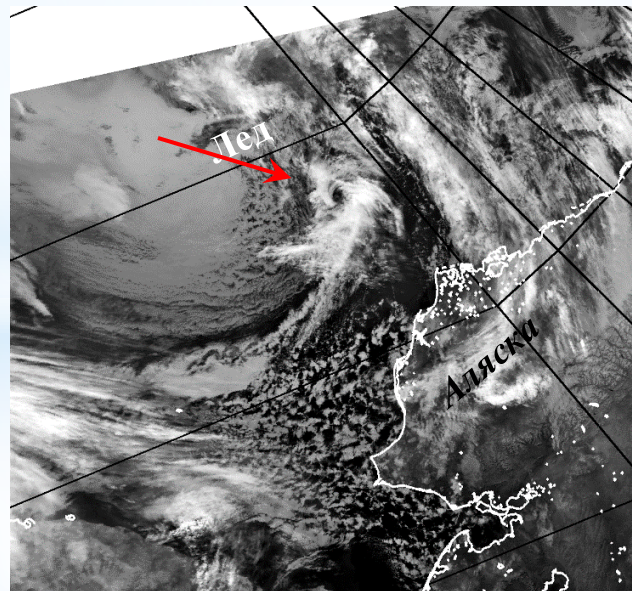
Анализ приземный 21 окт. 2016 12 Gr.

ПМЦ развился над морской поверхностью на вторичном холодном фронте.

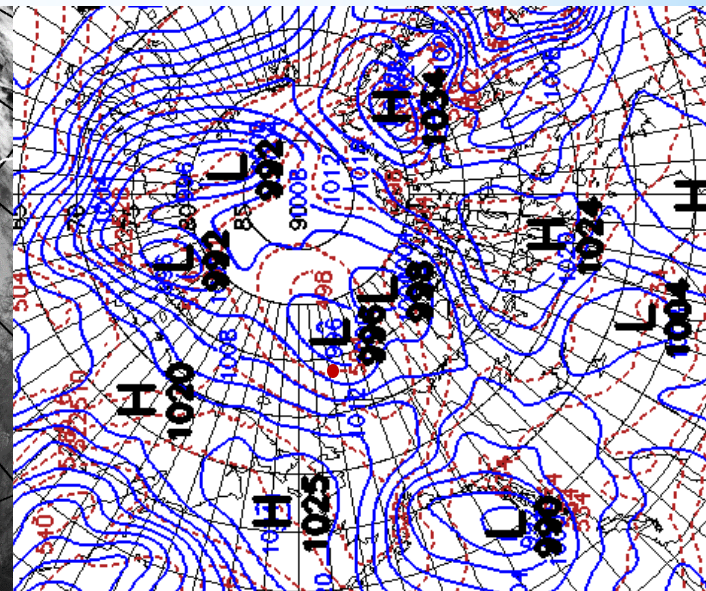


AT500 21 окт. 2016 12 Gr.

Заток холода по западной периферии высотной депрессии



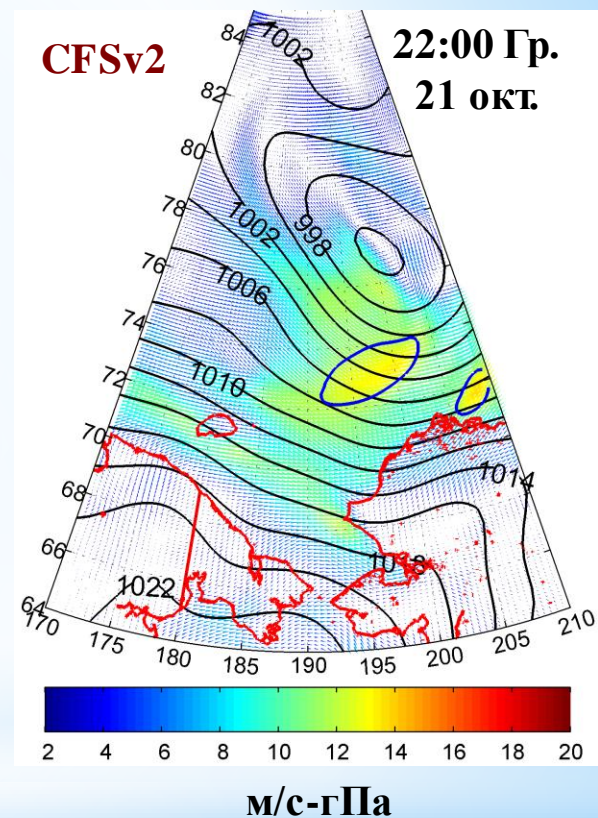
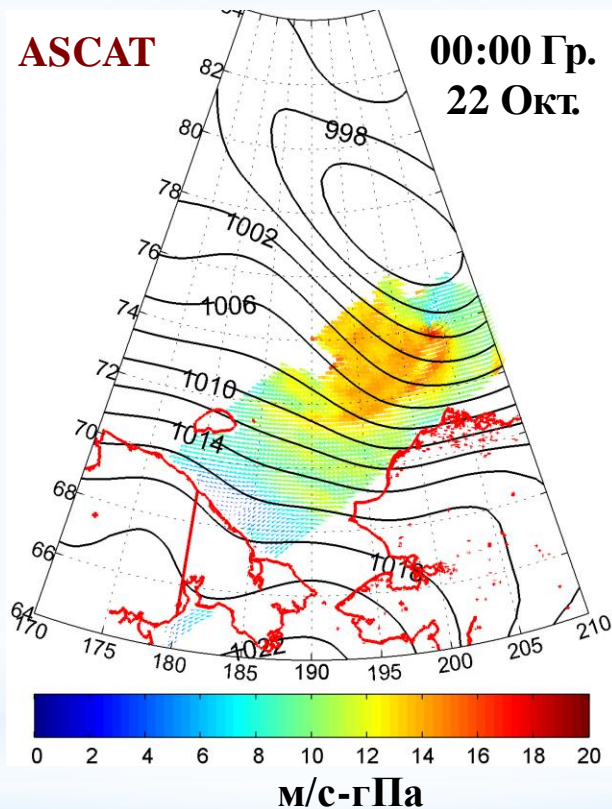
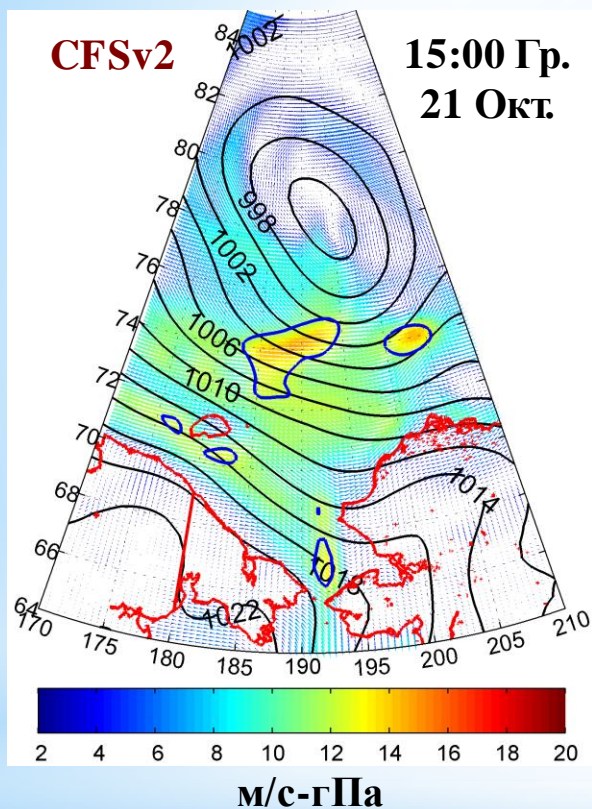
Аqua MODIS 21 окт. 2016 22:35 Gr.



Анализ приземный 2016 22 окт. 00 Gr.

21-22 октября 2016 г. Облачная запятая за холодным фронтом.

Эволюция поля приводного ветра по данным CFSv2 и скаттерометра ASCAT (спутники MetOp-A/B)



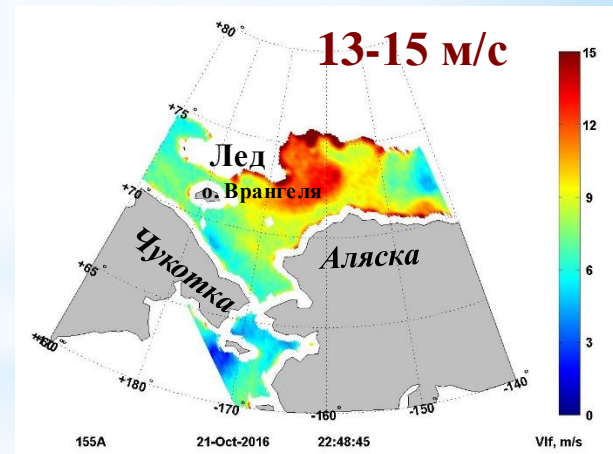
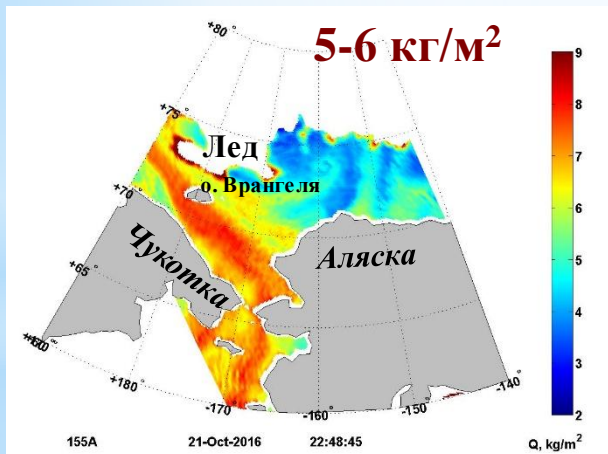
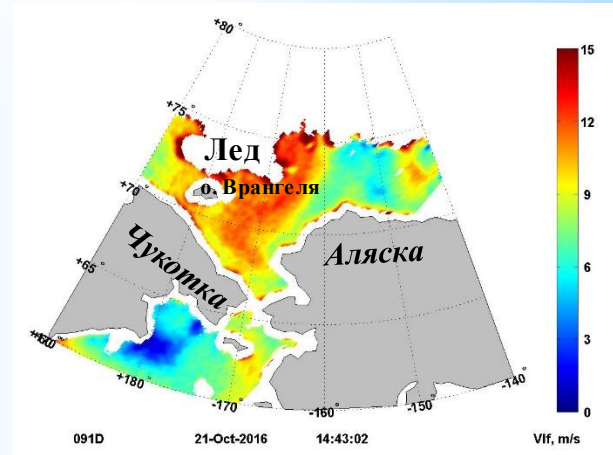
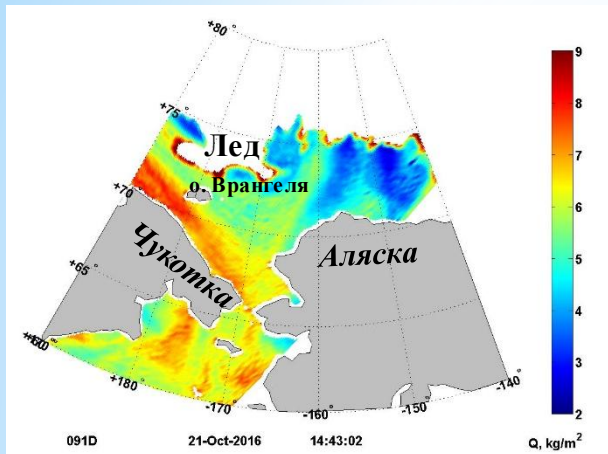
Облачная запятая мезо-β-масштаба выделяется в градациях скорости ветра по данным скаттерометра. Смещается на восток-юго-восток. «Хвост» идентифицируется как вторичный холодный фронт. Голова и хвост запятой характеризуются скоростями ветра $\approx 15-17$ м/с на фоне ≈ 14 м/с.

21-22 октября 2016 г. Поля гидрометеорологических параметров по данным AMSR2 (спутник GCOM-W1)

Паросодержание атмосферы

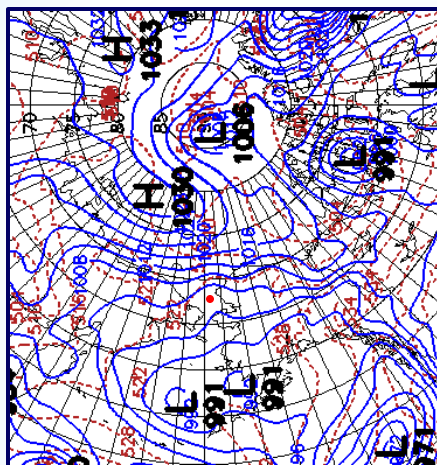
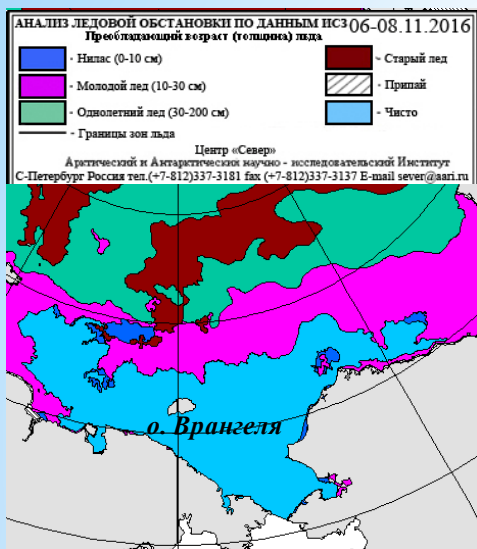
Водозапас облаков

Скорость приводного ветра

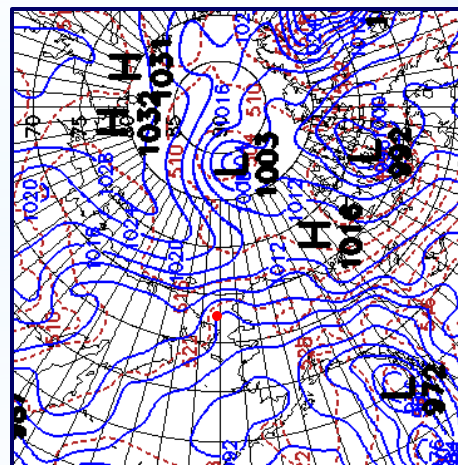


Структура облачной запытой хорошо видна в поле водяного пара в 22:48 Gr. 21 октября. В поле ветра – резкая граница вторичного холодного фронта с перепадом скоростей ветра ~ 4-5 м/с.

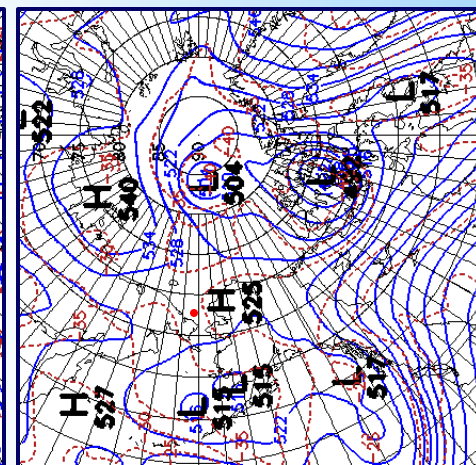
4-5 ноября 2016 г. Подветренные мезоциклоны. П-ов Лисберн, Аляска



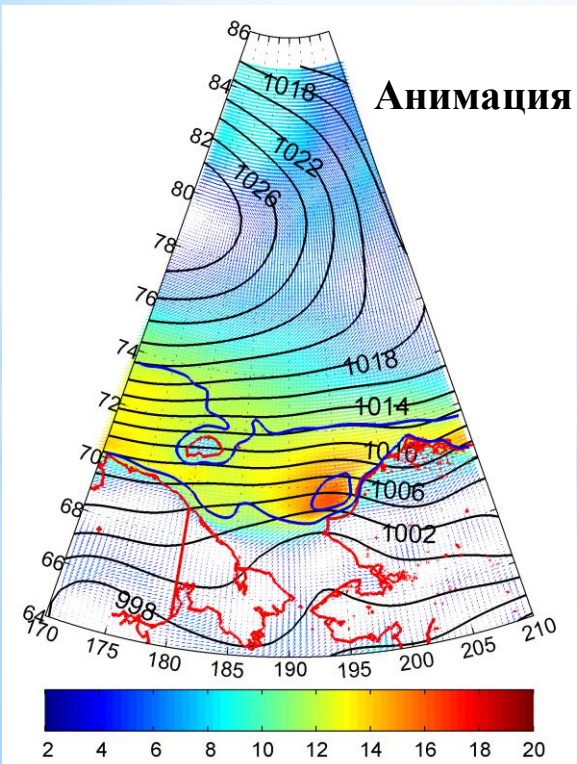
Анализ приземный
04 ноября 12 Гр.



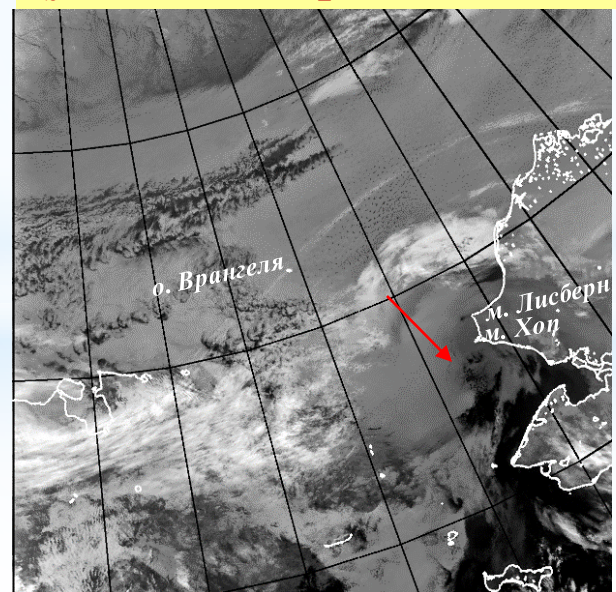
Анализ приземный
05 ноября 00 Гр.



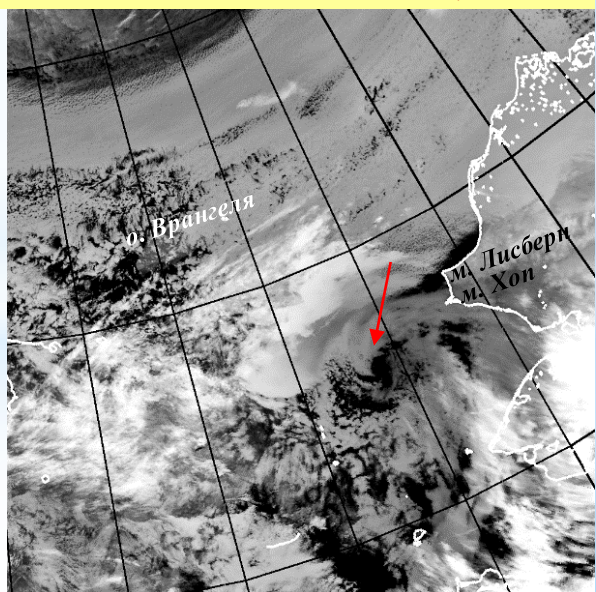
AT500 05 ноября 00 Гр.



$\Delta T = T_v - T_{AT500} \approx 32^\circ\text{C}$
(условие для развития конвекции: $\Delta T \geq 38-43^\circ\text{C}$)

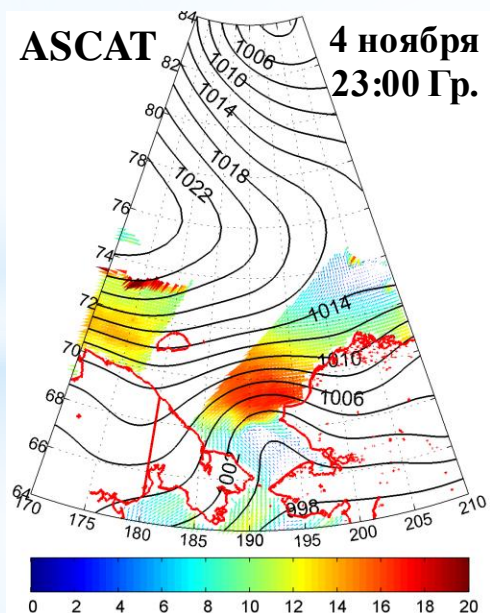
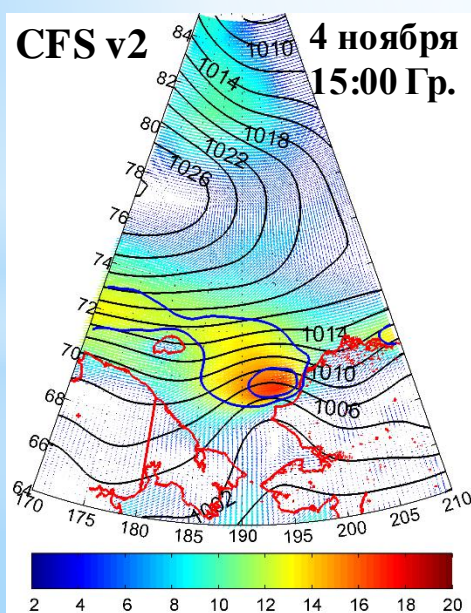
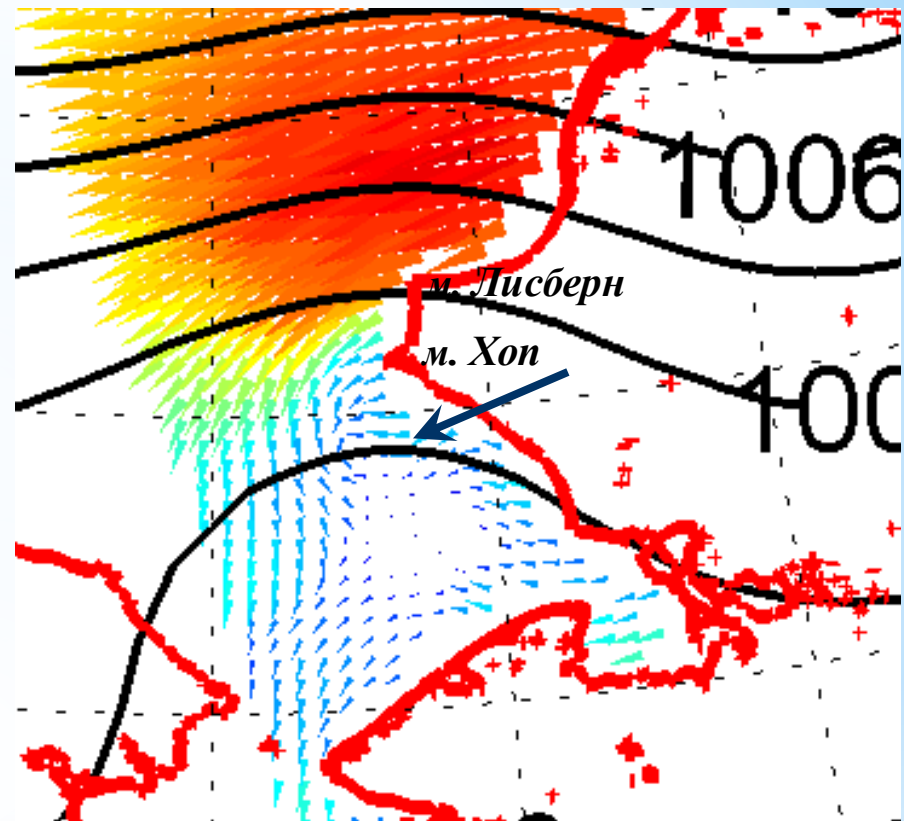
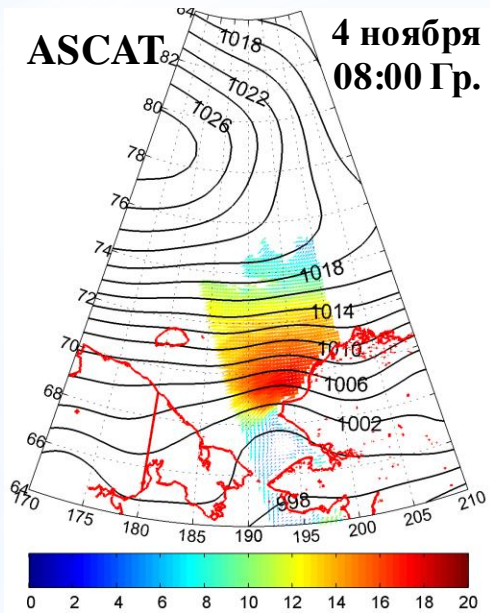
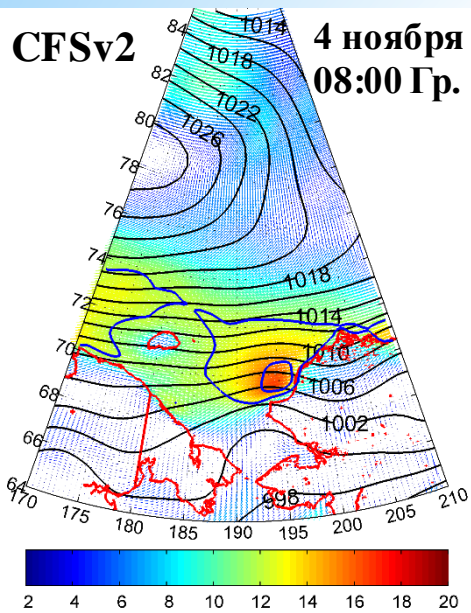


Aqua MODIS 15:00 Гр. 04 ноября



Terra MODIS 00:25 Гр. 05 ноября

4-5 ноября 2016 г. Формирование подветренного ПМЦ в поле ветра



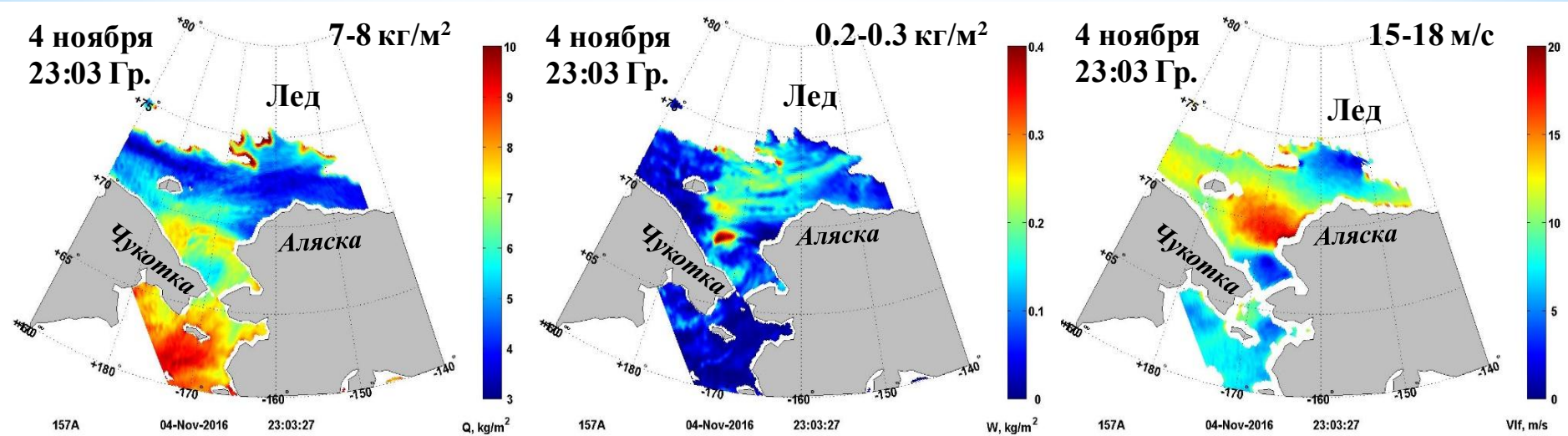
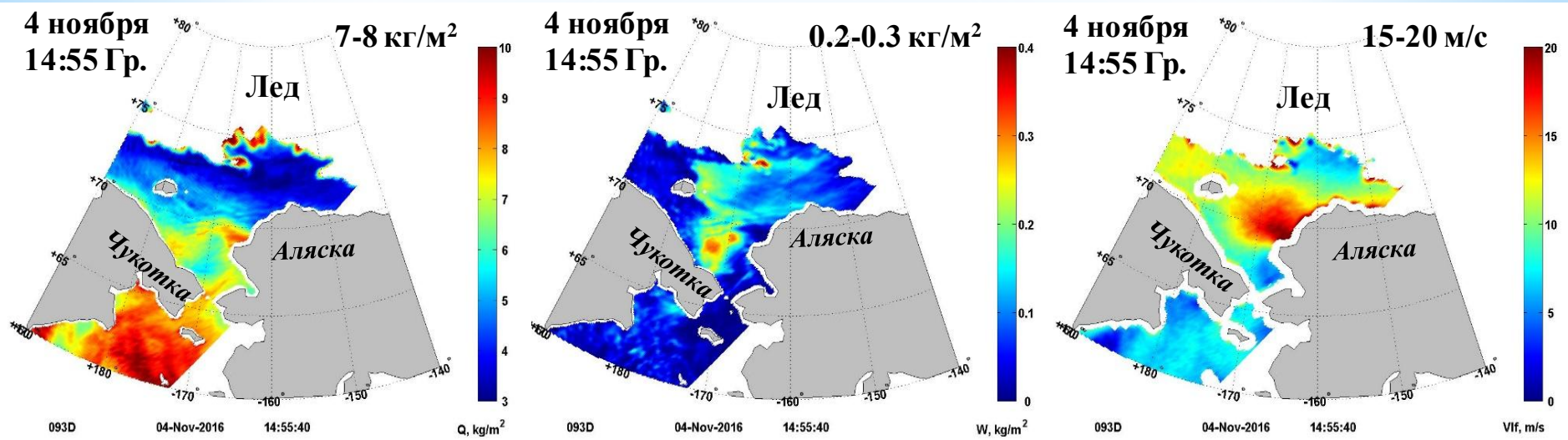
Фрагмент поля вектора ветра по данным ASCAT 4 ноября 08:00 Гр.

Локальное завихрение под влиянием орографии мысов Лисберн и Хоп при северо-восточном направлении натекающего потока.

Шкалы в м/с

4-5 ноября 2016 г. Поля паросодержания атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра по измерениям AMSR2 (спутник GCOM-W1)

Структура ПМЦ видна в полях водяного пара и капельной влаги. Максимальная скорость ветра в северном секторе ПМЦ, в зоне больших барических градиентов.

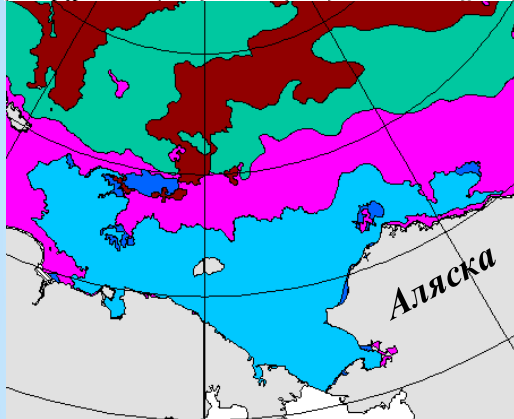


8-9 ноября 2016 г. ПМЦ в зоне конвергенции воздушных потоков

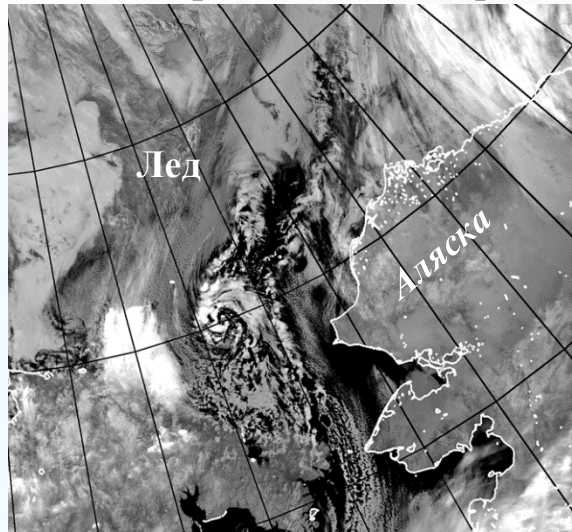
АНАЛИЗ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПО ДАННЫМ ИСЗ 06-08.11.2016
Преобладающий возраст (толщина) льда

- Нилас (0-10 см)	- Старый лед
- Молодой лед (10-30 см)	- Припай
- Однолетний лед (30-200 см)	- Чисто
- Границы зон льда	

Центр «Север»
Арктический и Антарктический научно-исследовательский Институт
С-Петербург Россия тел. (+7-812)337-3181 fax (+7-812)337-3137 E-mail seven@anir.ru

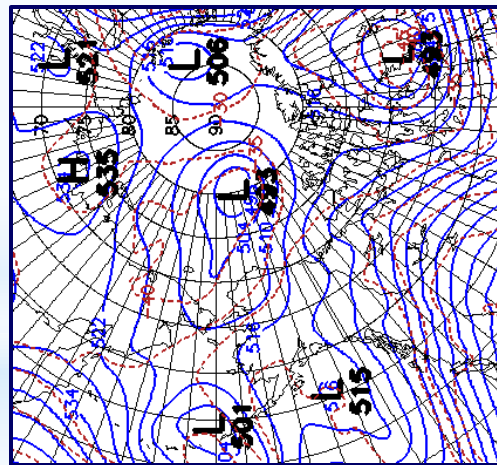
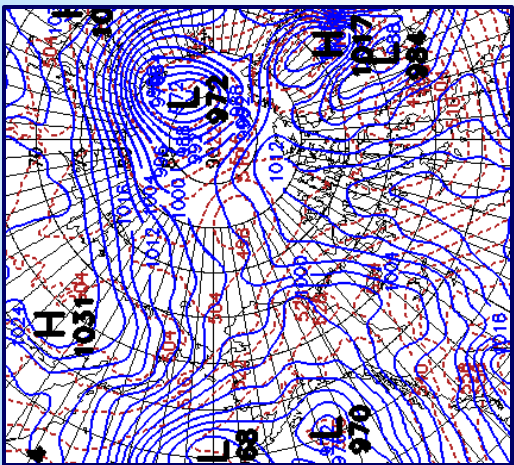
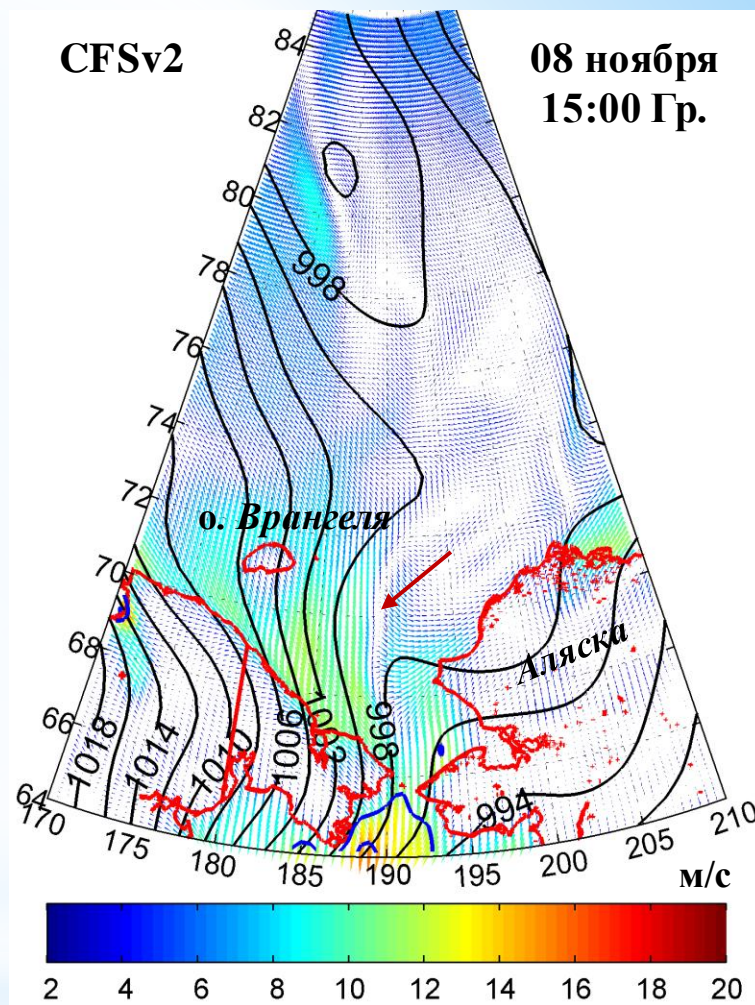


Aqua MODIS
08 ноября 2016 г. 14:35 Гр.



CFSv2

08 ноября
15:00 Гр.



Анализ приземный NCDC
08 ноября 2016 г. 12 Гр.

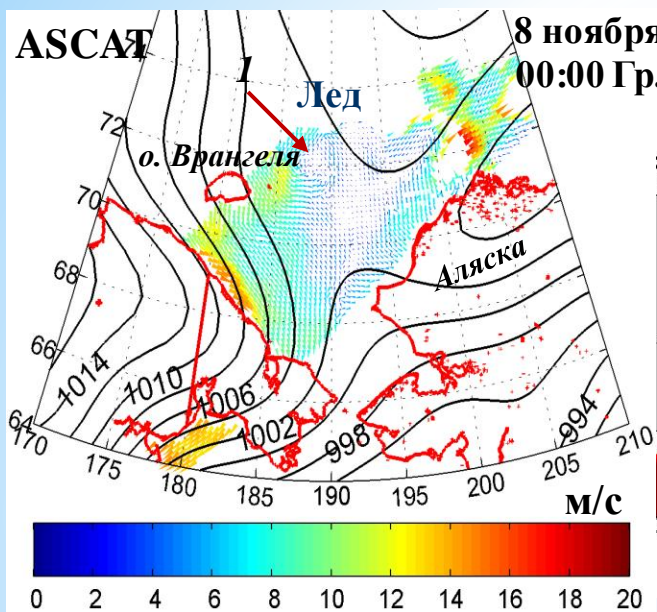
AT500 NCDC
08 ноября 2016 г. 12 Гр.

Выполняются условия для развития конвекции:

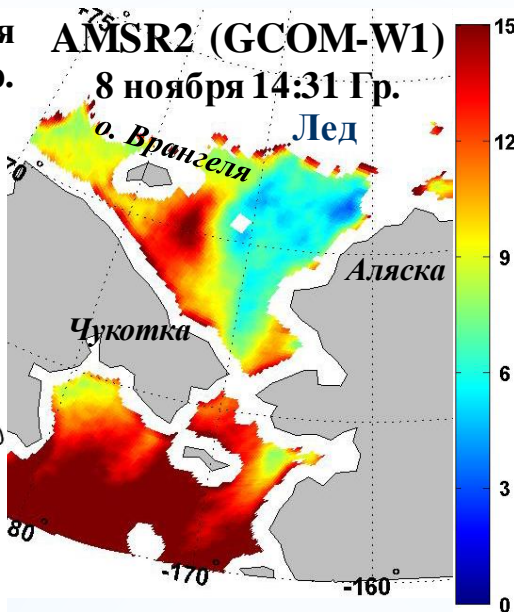
$$\Delta T_{\text{B-AT500}} \approx 40^\circ\text{C}$$

Модель CFSv2 воспроизводит конвергенцию воздушных потоков, но не воспроизводит мезоциклонический вихрь.

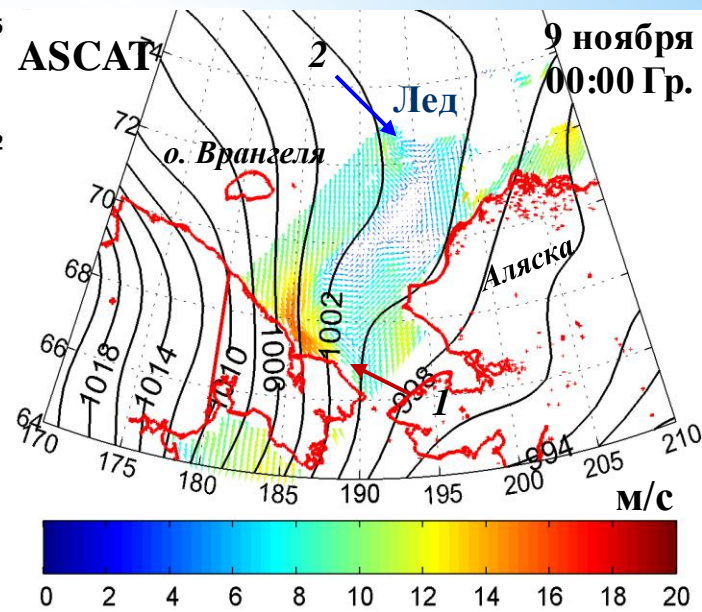
Эволюция ПМЦ. Корреляция полей приводного ветра W и облачности



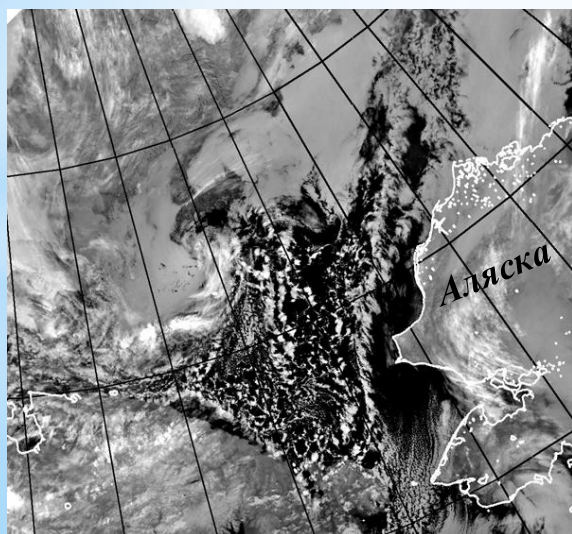
$W_{max} \approx 12$ м/с в ЮЗ секторе



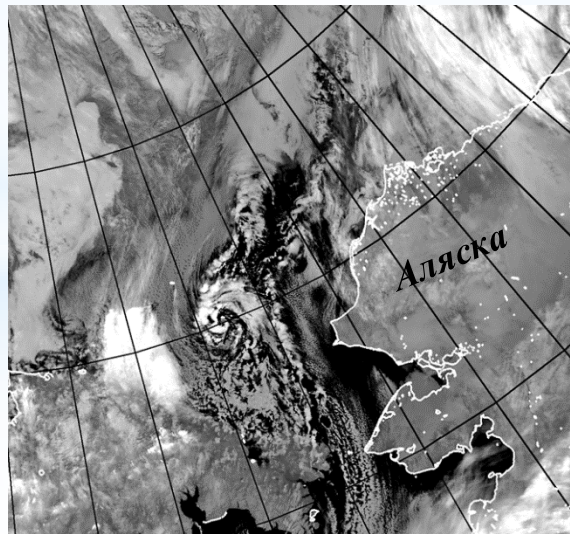
$W_{max} > 15$ м/с в 3 секторе



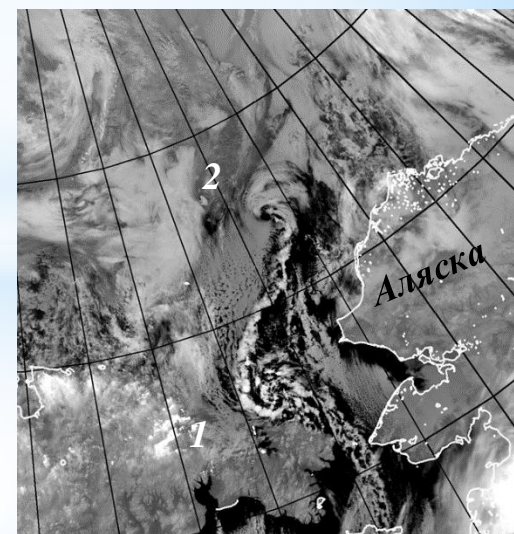
$W_{max} \approx 14-15$ м/с



Аqua MODIS 07 ноября 23:35 Гр.



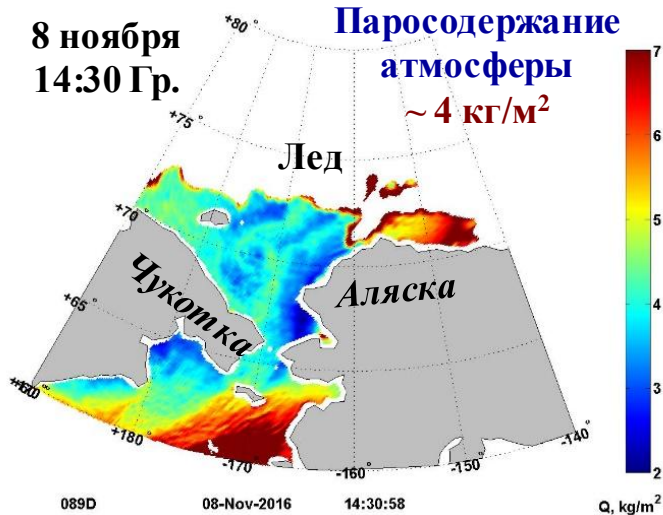
Аqua MODIS 08 ноября 14:35 Гр.



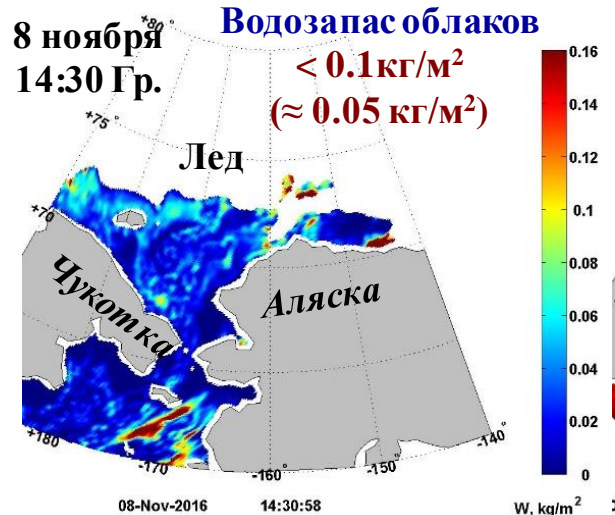
Terra MODIS 09 ноября 00:00 Гр.

ПМЦ в полях водяного пара, капельной влаги и приводного ветра по измерениям AMSR2 (спутник GCOM-W1)

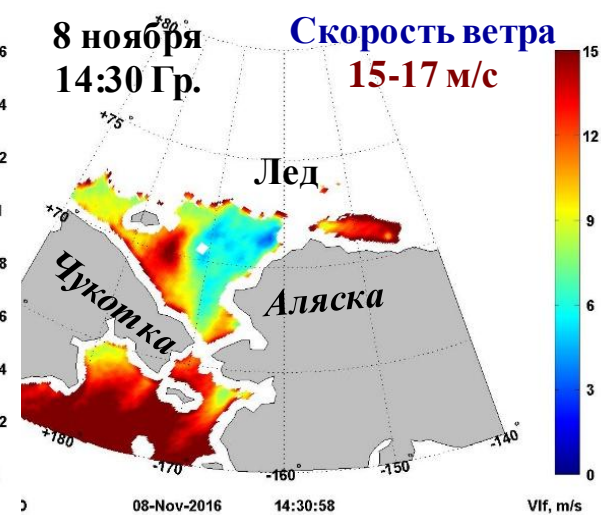
8 ноября
14:30 Гр.
Паросодержание
атмосферы
~ 4 кг/м²



8 ноября
14:30 Гр.
Водозапас облаков
< 0.1кг/м²
(≈ 0.05 кг/м²)

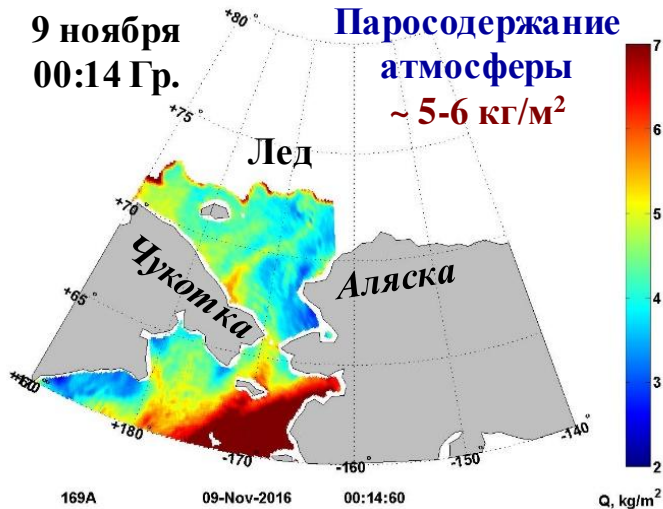


8 ноября
14:30 Гр.
Скорость ветра
15-17 м/с

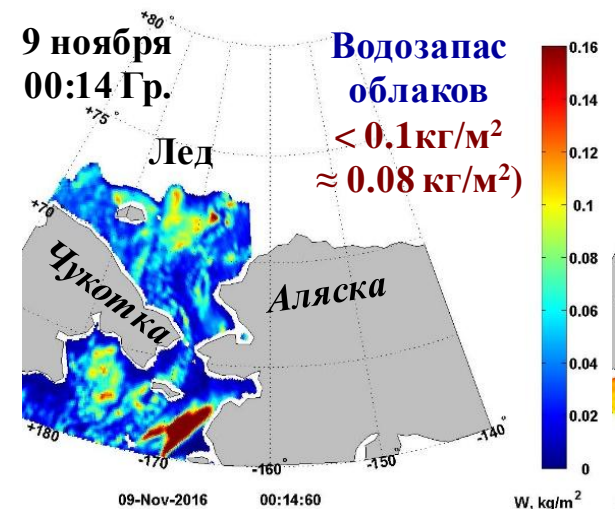


За 10 ч ПМЦ переместился на юг к побережью Чукотки. Появилась тенденция к увеличению паросодержания атмосферы и водозапаса облаков и к уменьшению скорости ветра

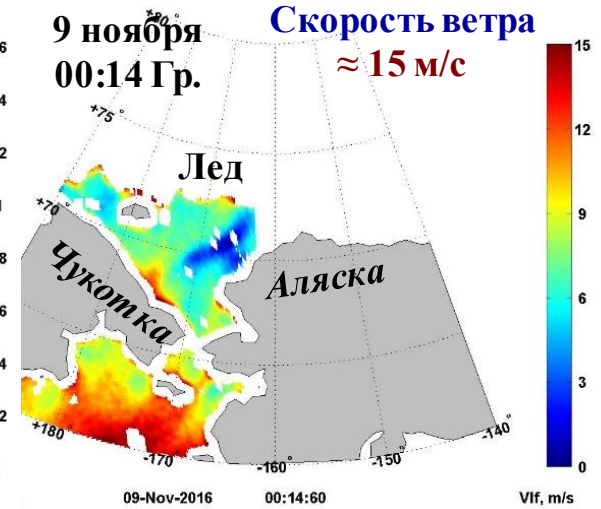
9 ноября
00:14 Гр.
Паросодержание
атмосферы
~ 5-6 кг/м²



9 ноября
00:14 Гр.
Водозапас
облаков
< 0.1кг/м²
(≈ 0.08 кг/м²)



9 ноября
00:14 Гр.
Скорость ветра
≈ 15 м/с

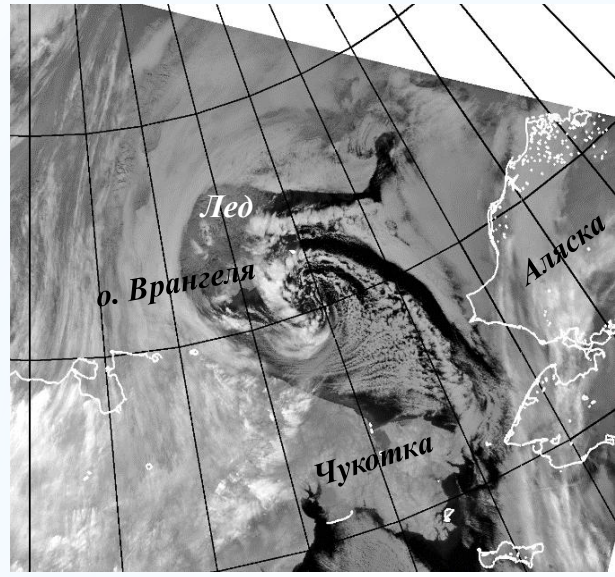
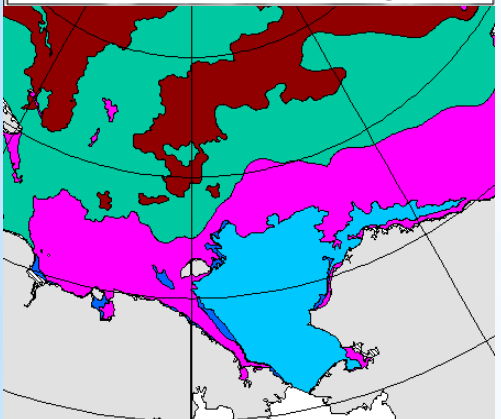


13-15 ноября 2016 г.: циклонический сдвиг ветра на оси барической ложбины, влияние орографии о. Врангеля (высота горного массива в восточной части 500-1000 м), бароклинная неустойчивость.

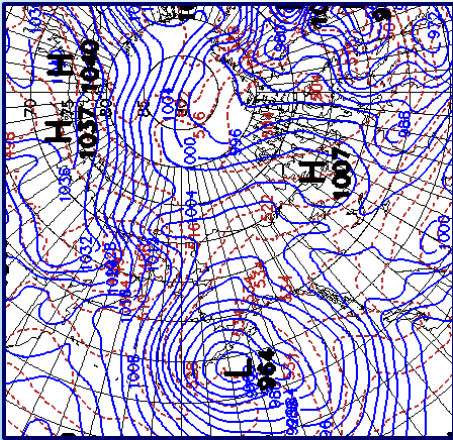
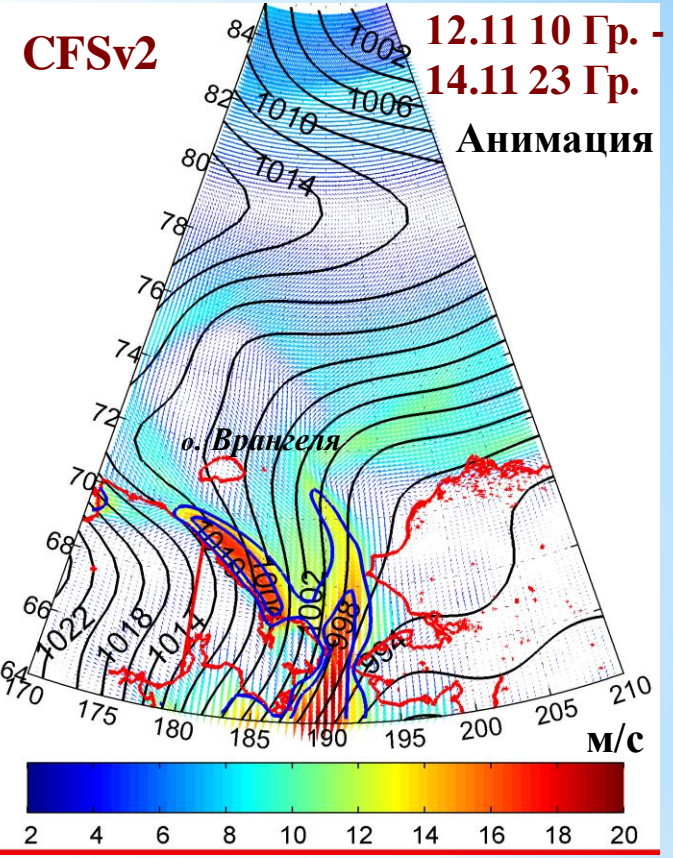
Ice Analysis from satellite imagery 13-15.11.2016
 Predominant stage(s) of development (thickness)

Nilas (0-10 cm)	Old ice (survived at least one summer's melt)
Young ice (10-30 cm)	Fast ice
First year ice (30-200 cm)	Ice free
Boundary analysed	

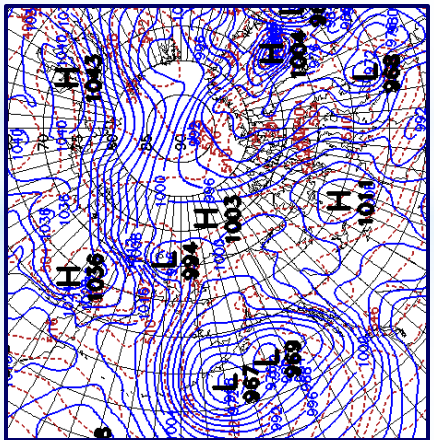
(c) Center «Sever», Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia
 Tel. (+7-812)337-3181. fax. (+7-812)337-31-37/ E-mail sever@aari.ru



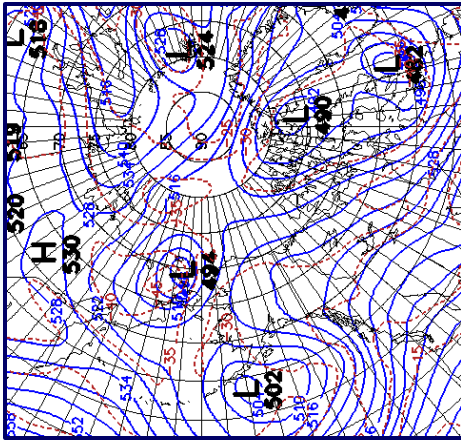
Terra MODIS 14 ноября 2016 00:20 Gr.



Анализ приземный NCDC 13 ноября 2016 г. 00 Gr.



Анализ приземный NCDC 13 ноября 2016 г. 12 Gr.



AT500 NCDC 13 ноября 2016 г. 12 Gr.

Холодная высотная депрессия – условия для развития конвекции вблизи о-ва Врангеля :

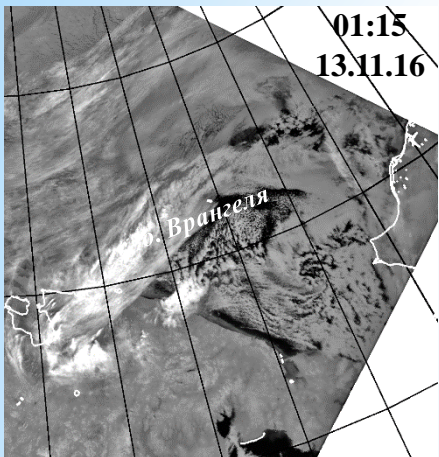
$\Delta T \geq 40^\circ C$

$(\Delta T = T_B - T_{AT500})$

13-15 ноября 2016 г. Эволюция ПМЦ в полях облачности и приводного ветра.

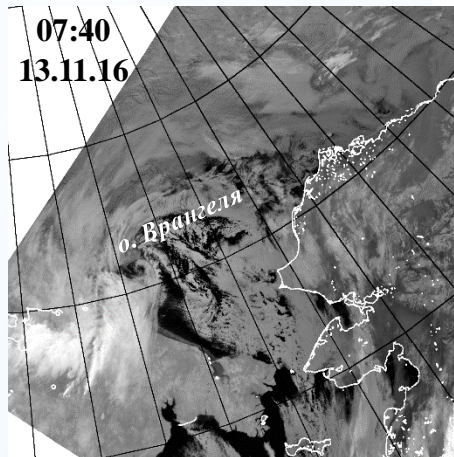
MODIS

01:15
13.11.16



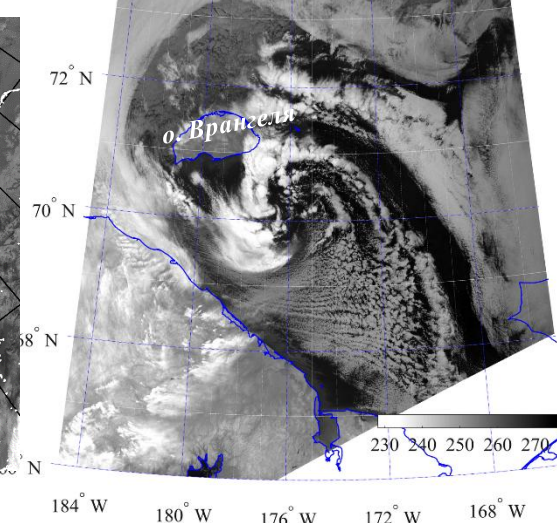
MODIS

07:40
13.11.16



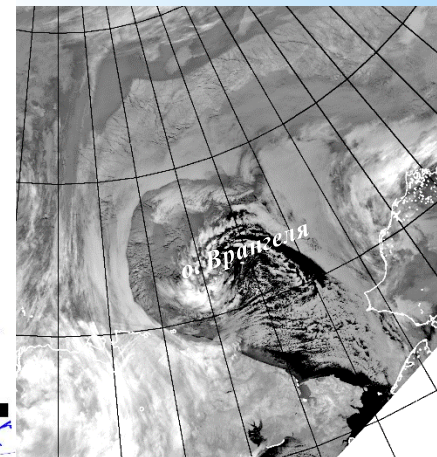
23:14^N
13.11.16

VIIRS



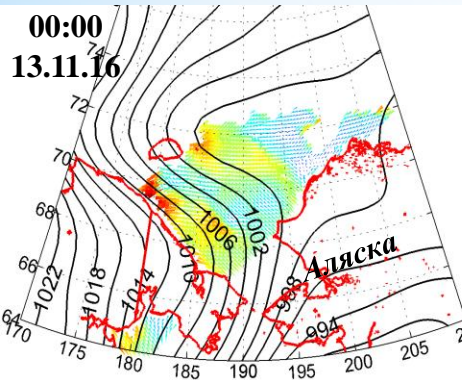
08:25
14.11.16

MODIS

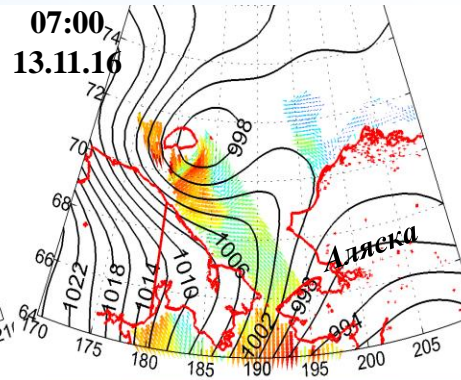


В стадии максимального развития скорость ветра в юго-западном секторе ПМЦ > 20 м/с по измерениям ASCAT в 22:00 Гр. 13 ноября.

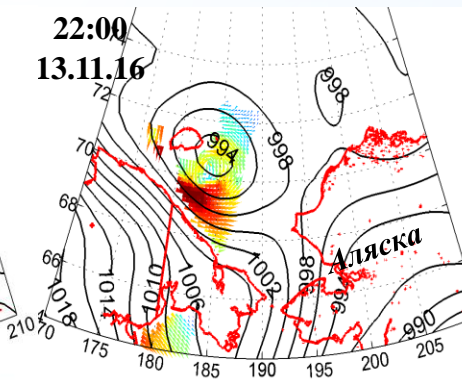
ASCAT



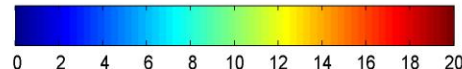
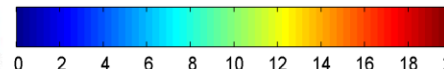
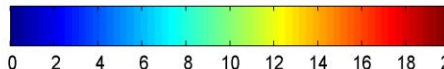
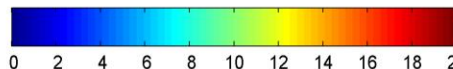
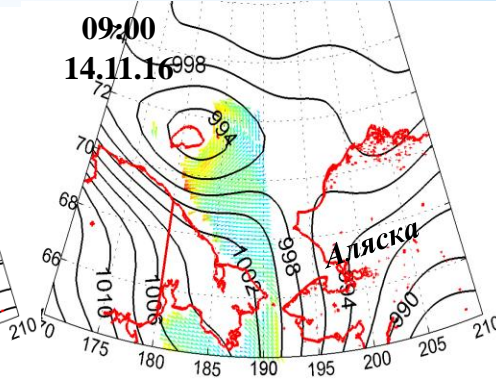
ASCAT



ASCAT



ASCAT

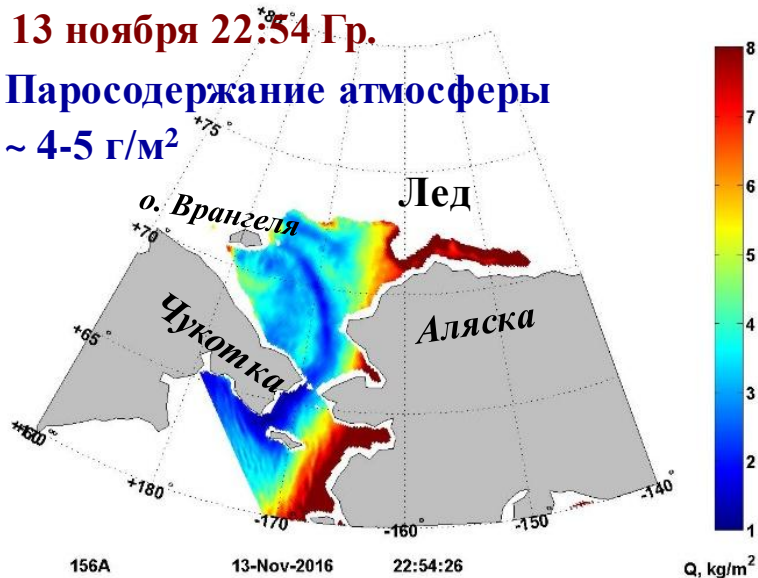


Шкалы в м/с

13-15 ноября 2016 г. Поля паросодержания атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра по данным радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1)

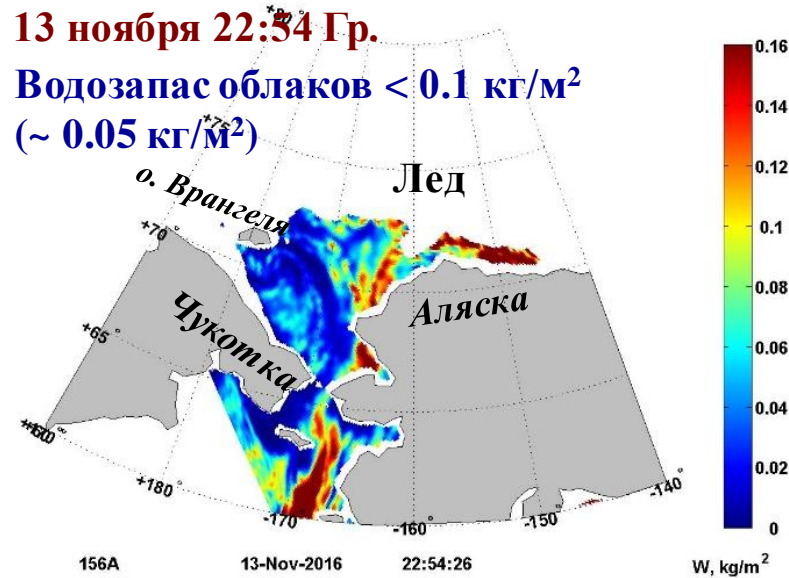
13 ноября 22:54 Гр.

Паросодержание атмосферы
~ 4-5 г/м²



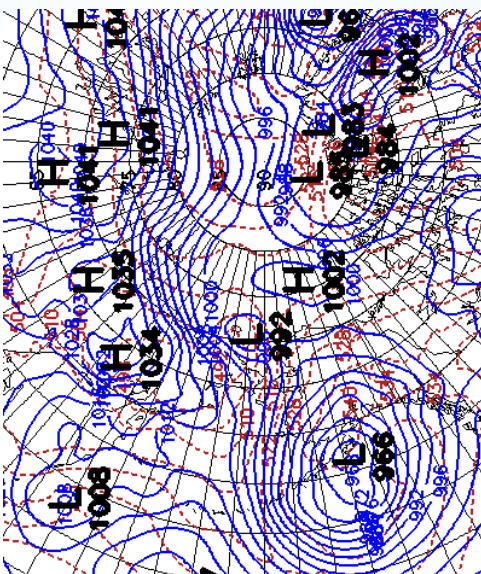
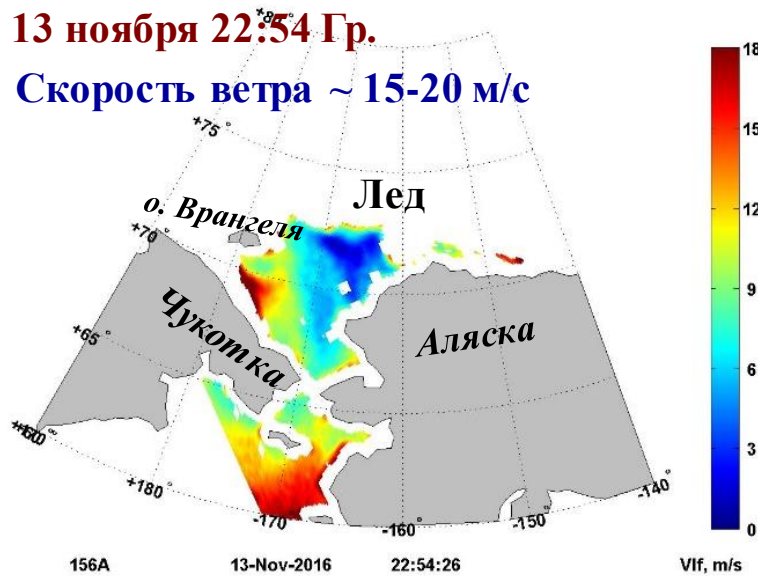
13 ноября 22:54 Гр.

Водозапас облаков < 0.1 кг/м²
(~ 0.05 кг/м²)

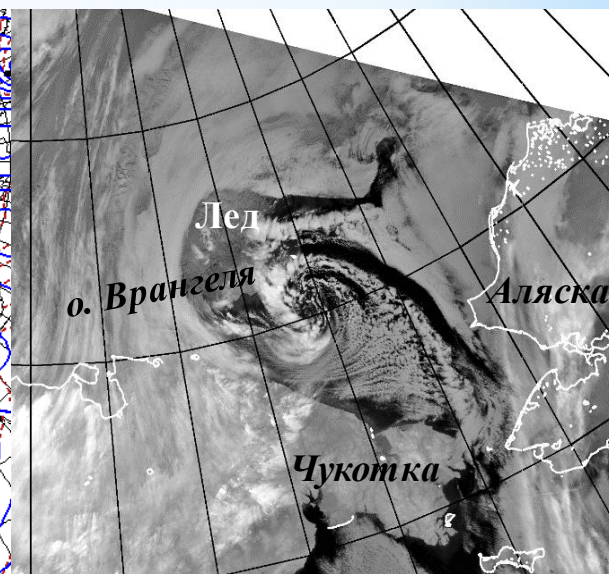


13 ноября 22:54 Гр.

Скорость ветра ~ 15-20 м/с

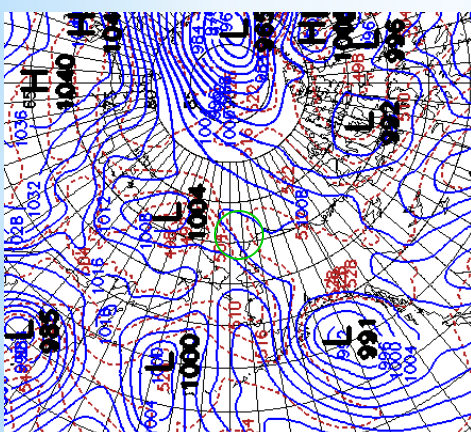
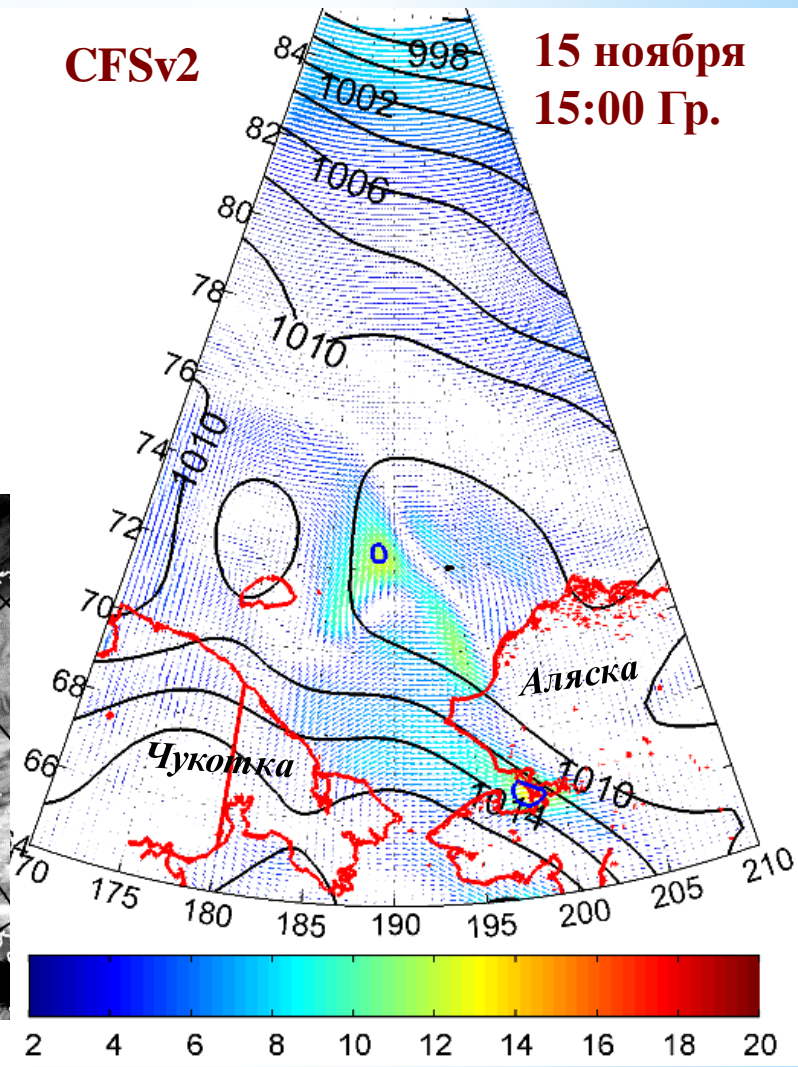
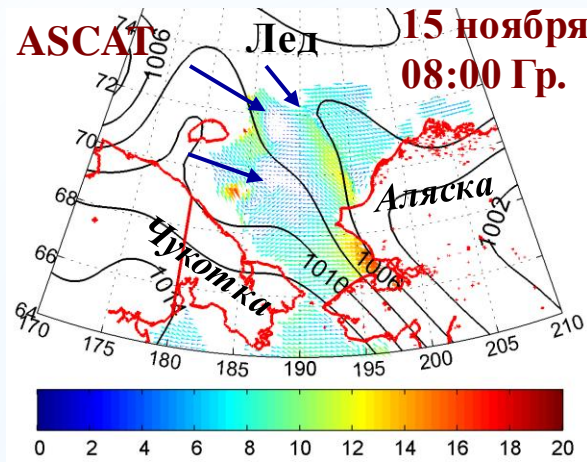
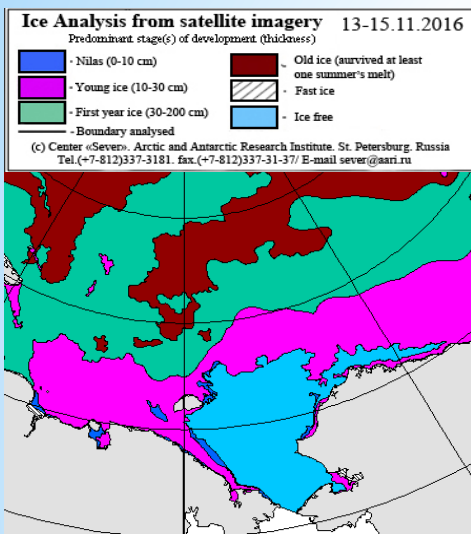


Карта приземного анализа
NCDC 14 нояб. 2016 00 Гр.

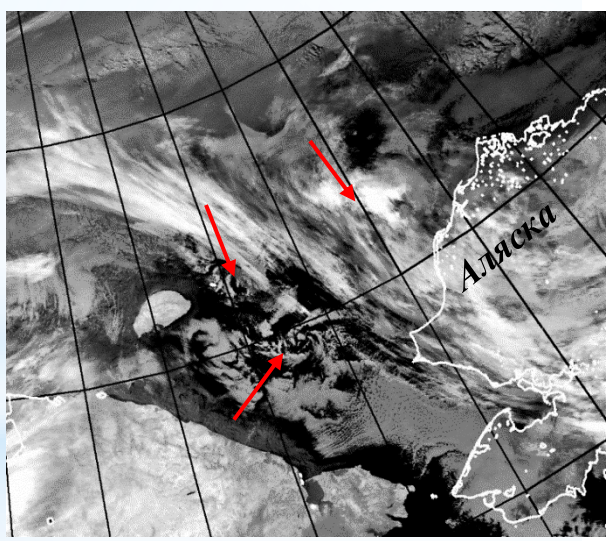


Terra MODIS 14 ноября 00:20 Гр.

15 ноября 2016 г. Мезовихри в мелкой бароклинной зоне пограничного слоя атмосферы вблизи кромки льда и на оси барической ложбины



Анализ приземный NCDC
15 ноября г. 12 Гр.

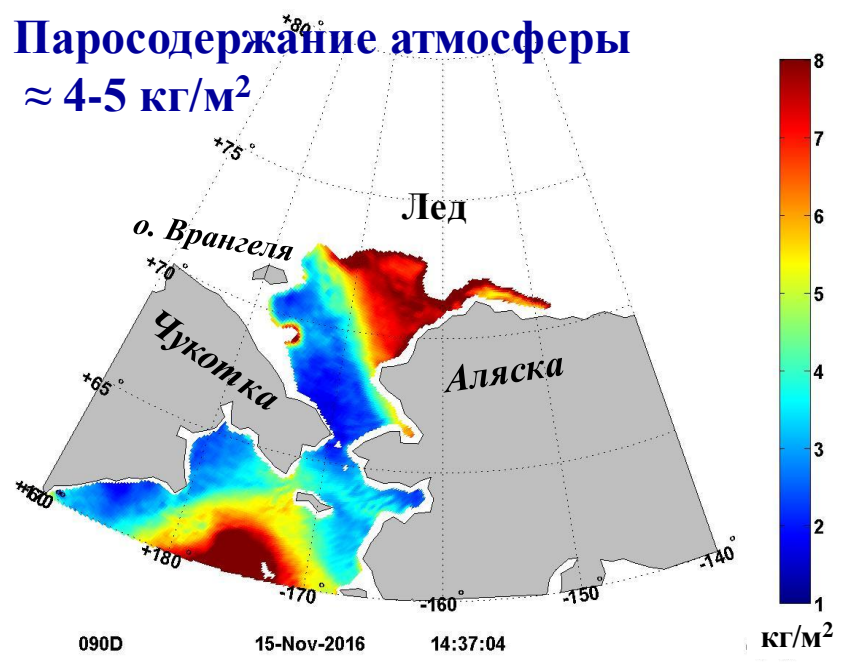


Aqua MODIS 15 ноября 14:40 Гр.

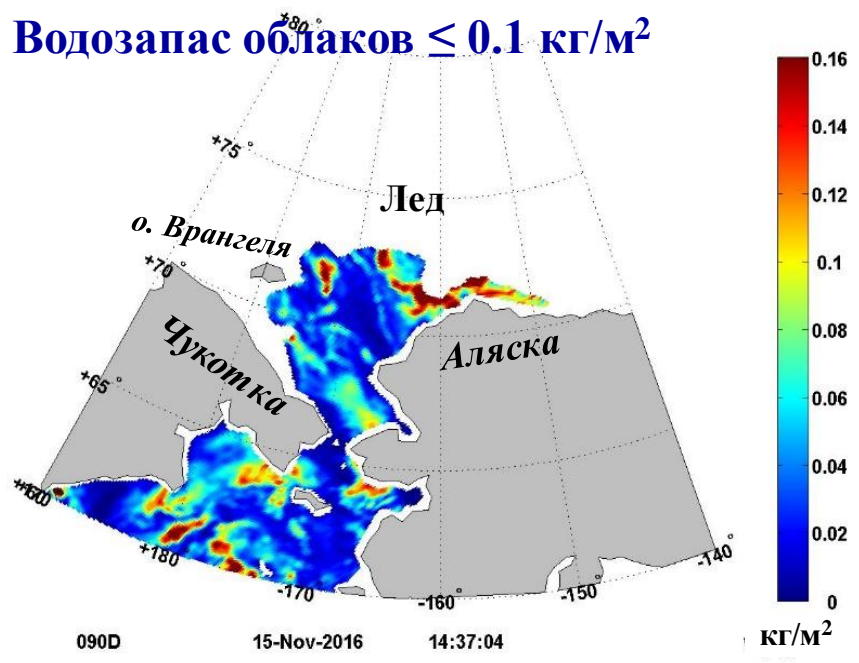
Максимальная скорость ветра по данным скаттерометра ASCAT (спутники MetOp-A/B) и климатической модели CFSv2 \approx 10-12 м/с.

Поля паросодержания атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра по измерениям AMSR2 (спутник GCOM-W1), 15:37 Гр. 15 ноября 2016 г.

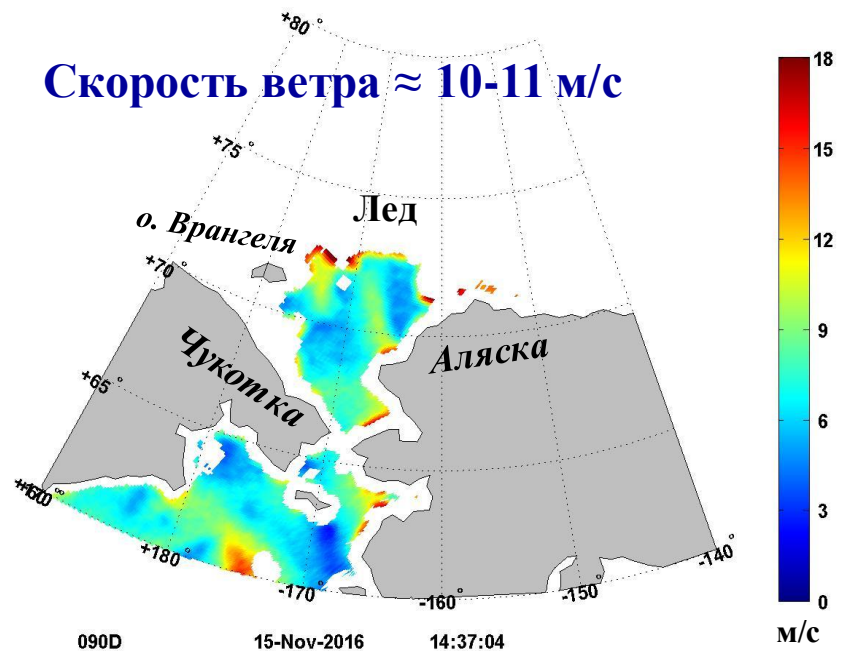
Паросодержание атмосферы
 $\approx 4-5 \text{ кг/м}^2$



Водозапас облаков $\leq 0.1 \text{ кг/м}^2$



Скорость ветра $\approx 10-11 \text{ м/с}$



Структура мезовихрей слабо выражена в полях водяного пара и капельной влаги. Максимальная скорость ветра **10-11 м/с.**

Выводы

Типичные механизмы мезоциклогенеза над Чукотским морем и прилегающей с севера акваторией СЛО:

- подветренные ПМЦ – влияние орографии;
- зоны конвергенции воздушных потоков;
- области сильного циклонического сдвига ветра на оси барической ложбины;
- облачная запятая за холодным фронтом в тылу циклона синоптического масштаба (вторичные вихри).

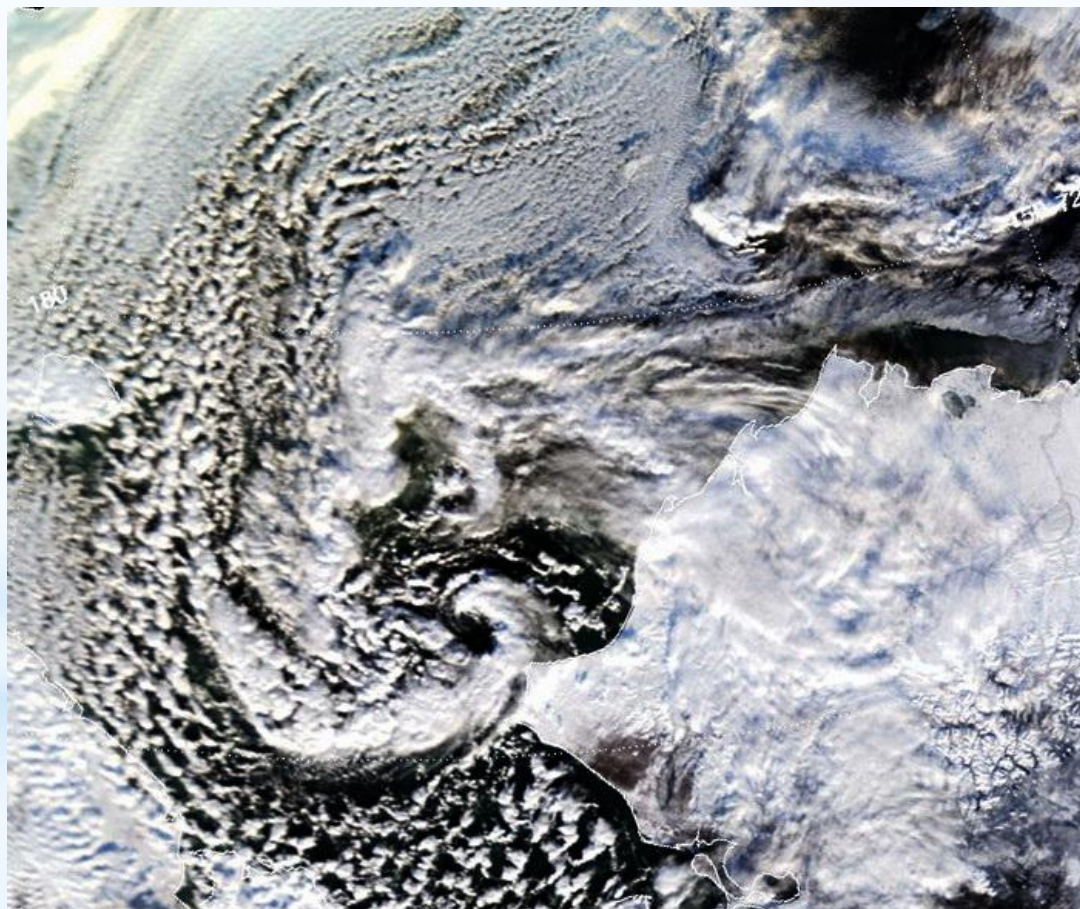
Формирование зон конвергенции и узких барических ложбин указывает на вероятность мезоциклогенеза – прогностический признак.

При наличии холодной высотной депрессии или ложбины и конвективной неустойчивости в тропосфере (разность температур вода-АТ500 $\Delta T \geq 38-43^\circ\text{C}$) формируются интенсивные мезоциклоны с мощной конвективной облачностью.

Если вклад бароклинной неустойчивости пограничного слоя атмосферы больше, чем конвективной ($\Delta T < 38^\circ\text{C}$), мезоциклоны менее интенсивны.

Работа выполнена при поддержке гранта

ДВО РАН 15-I-1-009_0



An aerial photograph of a river delta. The water is a mix of light blue and grey, indicating sediment. A small waterfall or dam is visible in the upper right quadrant. The land is a mix of brown and green, showing agricultural fields and some vegetation. The number '72' is printed in the center of the image.

72

Спасибо за внимание!