



# **Условия и характеристики продолжительной мезоциклонической деятельности над Японским морем**

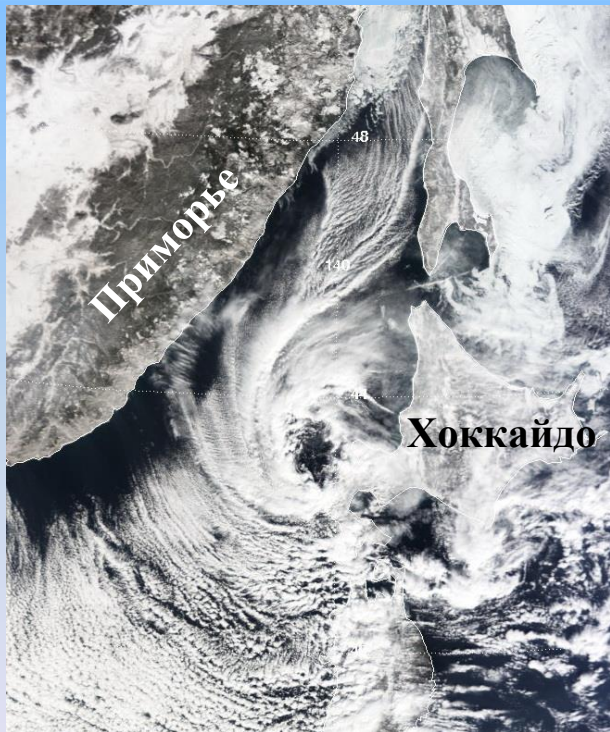
**И.А. Гурвич, М.К. Пичугин**

*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)*

**Полярные мезоциклоны (ПМЦ)** – короткоживущие мезомасштабные конвективные вихри высоких широт, которые развиваются в холодном воздухе над относительно теплой морской поверхностью в тылу глубоких циклонов синоптического масштаба и вызывают внезапное ухудшение погоды. Типичные горизонтальные размеры ПМЦ 200-600 км. Дальневосточные (ДВ) моря являются одним из регионов активного мезомасштабного циклогенеза в северном полушарии.



Terra MODIS 01:40 11.02.2013 г.

**Японское море**, несмотря на более южное географическое положение, характеризуется интенсивным мезомасштабным циклогенезом благодаря зимнему муссону. Холодные вторжения (ХВ) в тылу глубоких циклонов очень интенсивны, особенно при меридиональном типе циркуляции. При соприкосновении холодного сухого континентального воздуха с теплой морской поверхностью взаимодействие между океаном и атмосферой интенсифицируется, неустойчивость пограничного слоя атмосферы возрастает. Развивается упорядоченная конвекция, которая визуально проявляется в формировании облачных гряд, ячеек и мезоциклонических вихрей.

Характерной особенностью Японского моря является продолжительная мезоциклоническая деятельность, которая охватывает несколько периодов от нескольких часов до 2-3 сут каждый и сопровождается формированием полярных мезо- $\alpha$ - и мезо- $\beta$ -циклонов над различными районами моря.

## **Задачи исследования:**

- I. Статистические характеристики мезоциклонической деятельности над Японским морем по данным архива спутниковых изображений периода за 15 холодных сезонов (октябрь-апрель) 2003-2018 гг.**
- II. Анализ циркуляционных условий продолжительной мезоциклонической деятельности и появления долгоживущих полярных мезоциклонов над Японским морем.**

**Для уточнения полученных ранее (за период 2003-2011 гг.) статистических характеристик использовался архив видимых и ИК изображений с ПМЦ по данным спектрорадиометра MODIS на спутниках Terra и Aqua за 15 холодных сезонов (октябрь-апрель) 2003-2018 гг. Архив ежегодно пополняется.**

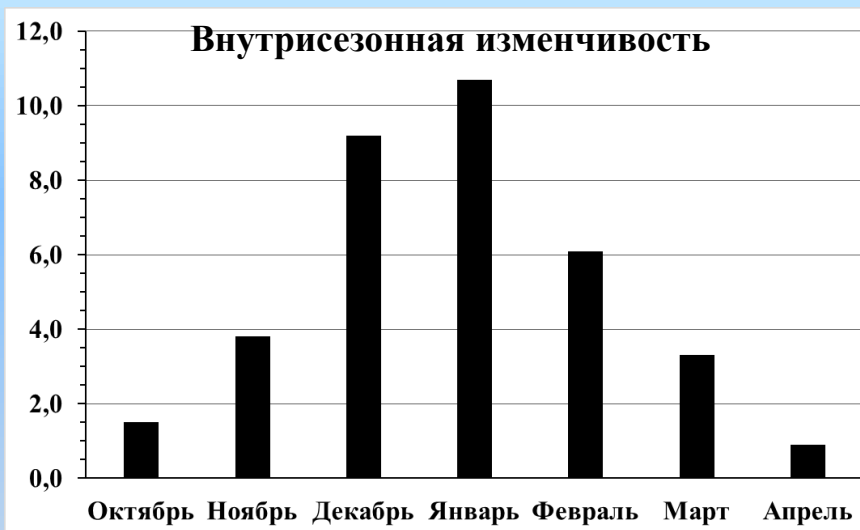
**Для детального анализа отдельных случаев мезоциклонической деятельности использовались ИК изображения с геостационарного спутника COMS KMA с дискретностью 1 ч.**

## Данные и методы

**Исследование проводилось на основе комплексного анализа:**

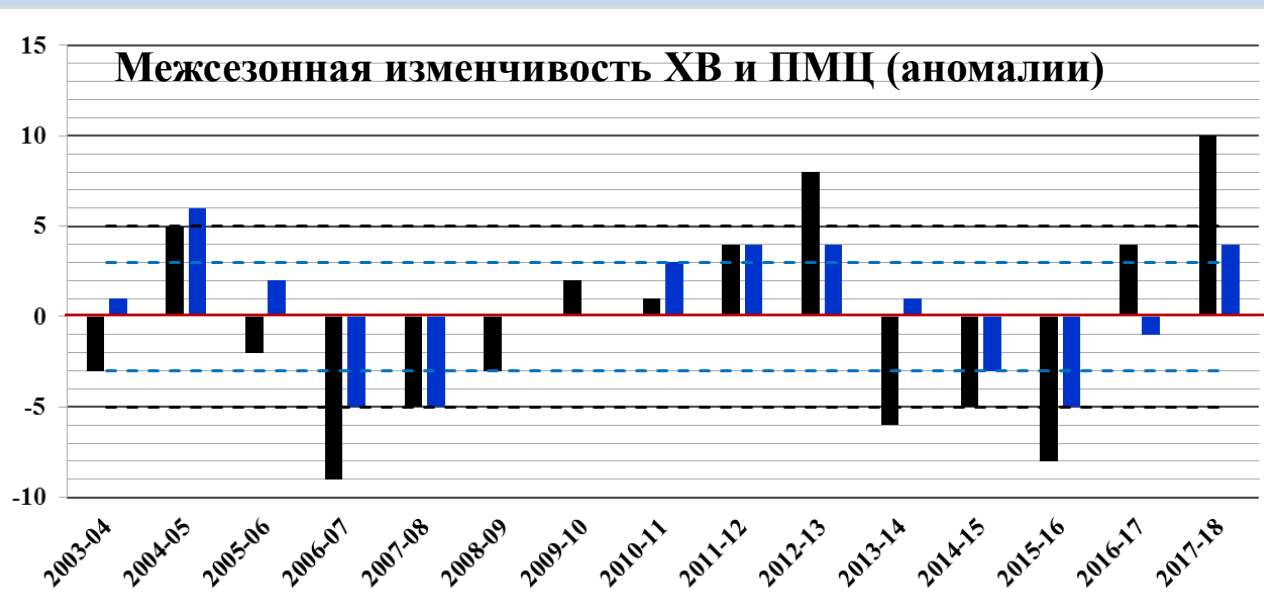
- видимых и инфракрасных (ИК) изображений облачности по данным спектрорадиометра **MODIS** (спутники **Aqua/Terra**) и геостационарного спутника **COMS** Корейской метеорологической администрации (**КМА**);
- полей приводного ветра по измерениям скаттерометра **ASCAT** (спутники **MetOp-A/B**);
- полей приводного ветра, интегрального паросодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным микроволнового радиометра **AMSR2** (спутник **GCOM-W1**), для восстановления которых применялись алгоритмы, основанные на физическом моделировании радиояркостных температур уходящего излучения системы океан-атмосфера и их последующем обращении в геофизические параметры при помощи нейронных сетей (*Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Reul N., Chapron B. New possibilities for geophysical parameter retrievals opened by GCOM-W1 AMSR2 // IEEE J. of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2015. Vol. 8. N. 9. P. 4248-4261*);
- синоптических карт приземного анализа и барической топографии Японского метеорологического агентства (**ЯМА**);
- полей вектора ветра на высоте 10 м и атмосферного давления, приведенного к уровню моря, по данным модели **CFSv2** (Climate Forecast System, Version 2) прогностического центра National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

# Статистические характеристики мезоциклонической деятельности над Японским морем за 15 холодных сезонов (октябрь-апрель) 2003-2018 гг.



В холодный сезон над Японским морем возникает в среднем **36 ПМЦ** со скоростью ветра  $\geq 12$  м/с. Преобладают ПМЦ с горизонтальными размерами **100-600 км**. Пик мезоциклогенеза приходится на зимние месяцы (**декабрь-февраль**).

По классификации Orlandi:  
мезо- $\alpha$ -  $> 200$  км;  
мезо- $\beta$ - 20-200 км.

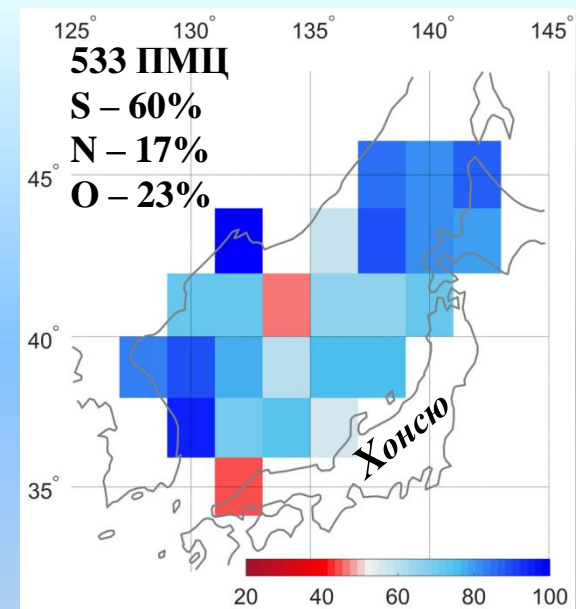
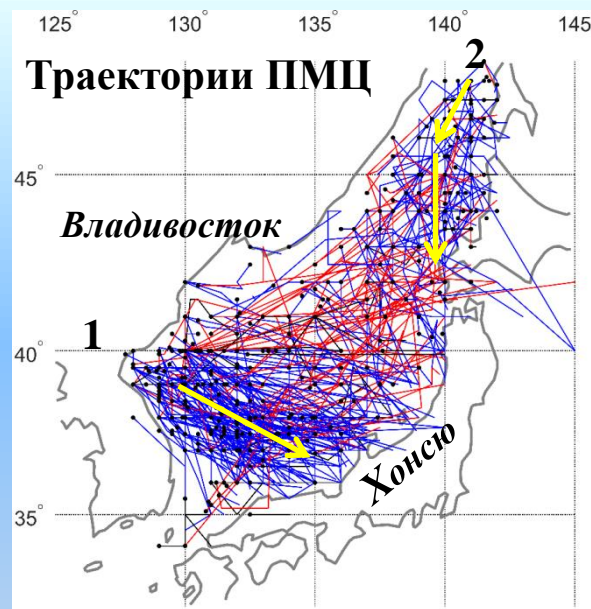
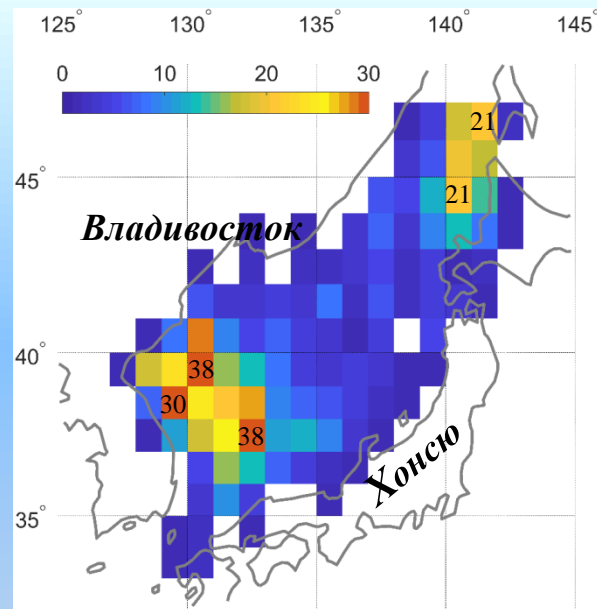


Обнаружена значимая корреляция между количеством ХВ и ПМЦ

$$R = 0,79$$

$$\text{ХВ: } \sigma = 3$$

$$\text{ПМЦ: } \sigma = 5$$

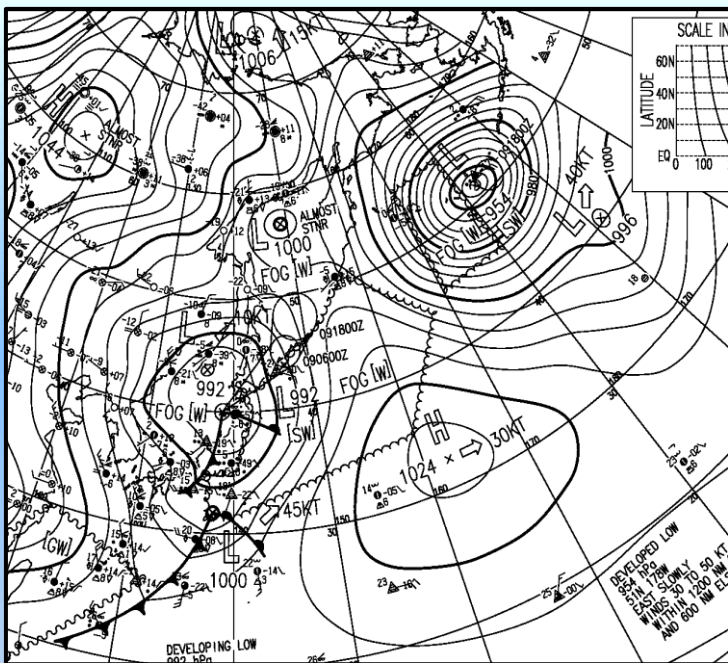


**Основные районы мезоциклогенеза: распределение повторяемости ПМЦ на сетке 1x1 град. (начальная стадия развития). Цифрами обозначено количество ПМЦ в квадрате.**

**Синие линии - доминирует южная составляющая траектории, красные – северная. 1 – ВЮВ – под зональным переносом умеренных широт; 2 – Ю – под северным потоком в нижней тропосфере в тыловой части циклонов.**

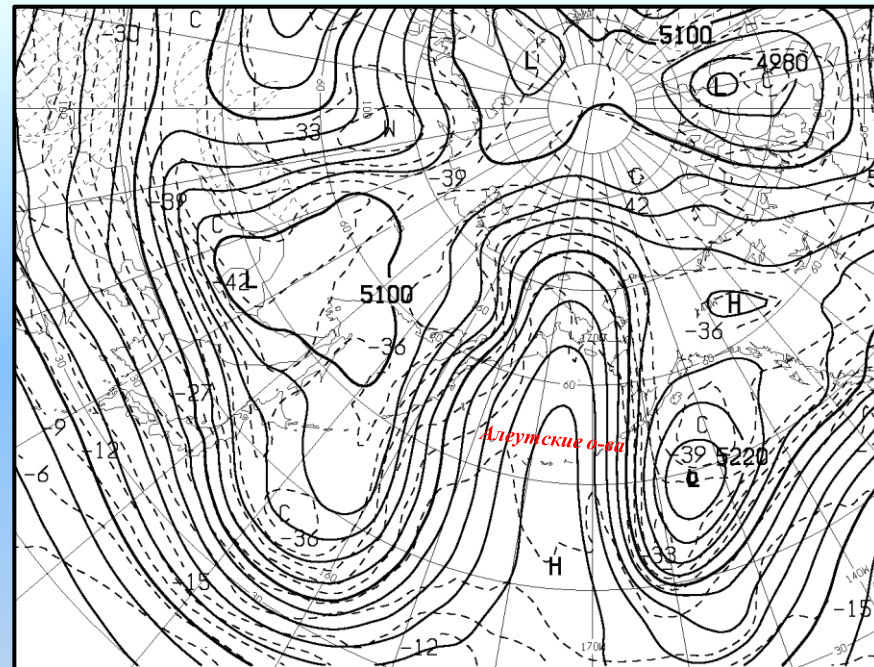
**Процентное распределение ПМЦ с доминированием южной составляющей траектории на сетке 2x2 град. (начальная стадия развития) S – южная составляющая N – северная составляющая O – другие**

**ПМЦ в общей циркуляции с циклоном синоптического масштаба первоначально перемещаются на северо-восток, над северной частью моря их траектория делает петлю, после чего направление перемещения меняется на юго-восточное. Одновременно над южной частью моря, в т.н. зоне конвергенции полярных воздушных масс (JPCZ), формируется серия короткоживущих мезо-β-циклонов, которые пересекают море с северо-запада на юго-восток.**



**Фрагмент карты приземного анализа ЯМА 08 янв. 2018 г. 18 Гр.**

При обычном зимнем положении алеутской депрессии (с центром над Алеутскими о-вами), когда южные циклоны перемещаются на северо-восток и выходят на Берингово море, мезоциклоническая деятельность над Японским морем продолжается от нескольких часов до нескольких суток. За этот период возникает от одного до нескольких ПМЦ мезо- $\alpha$ - и мезо- $\beta$ -масштаба.

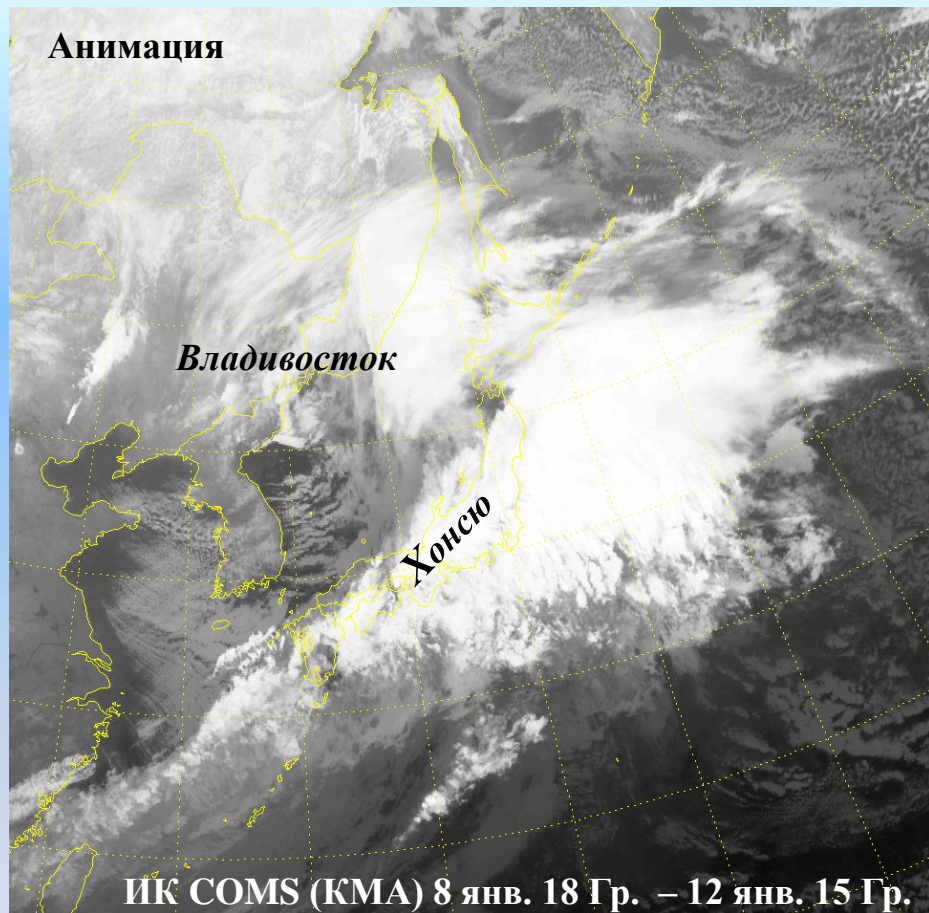


**Фрагмент карты АТ500 ЯМА, СП 27 янв. 2018 г. 12 Гр.**

В случае формирования над северной частью Тихого океана аномального тропосферного гребня и связанными с ним продолжительными холодными вторжениями циклоны выходят на Охотское море и стационарируют там длительное время. Продолжительность мезомасштабного циклогенеза при этом значительно возрастает.

# Мезомасштабный циклогенез над Японским морем 8-12 января 2018 г.

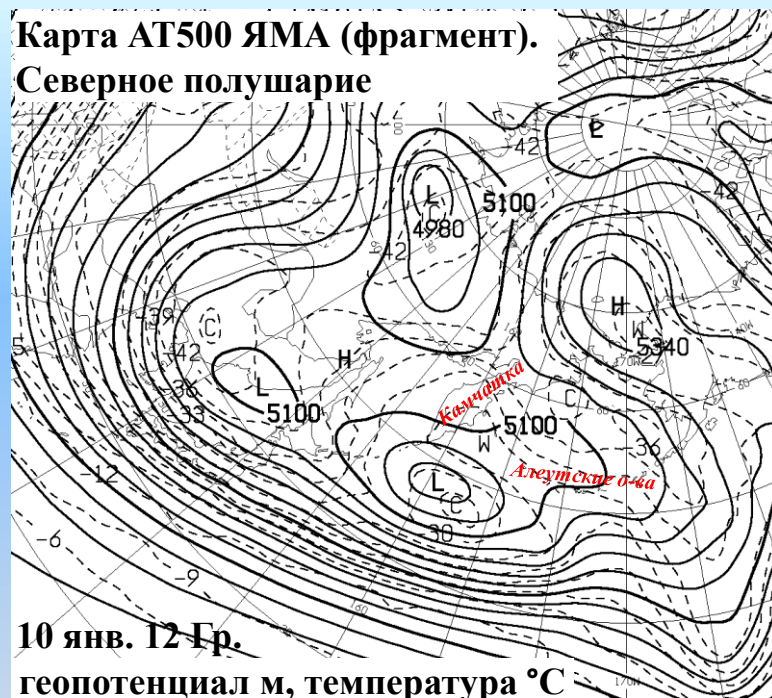
Анимация



Южный (внетропический) циклон перемещался под ведущим потоком на северо-восток, в направлении Берингова моря.

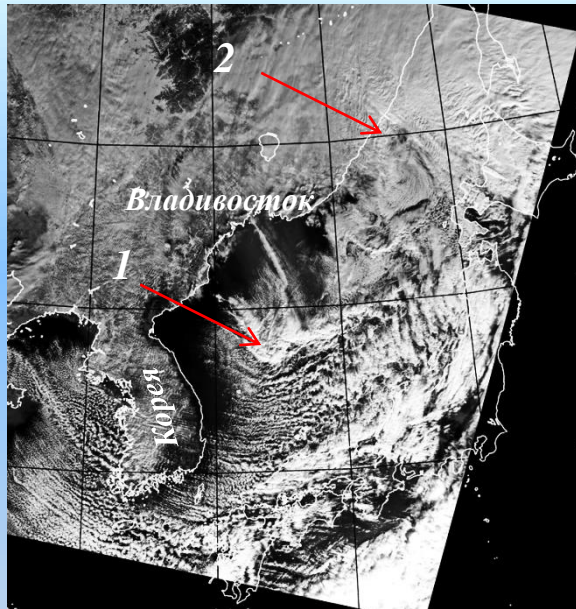
Мезомасштабный циклогенез над Японским морем продолжался почти 5 суток. За период 8-12 января возникли 2 мезо- $\alpha$ - и 4 мезо- $\beta$ -циклона.

Карта AT500 ЯМА (фрагмент).  
Северное полушарие

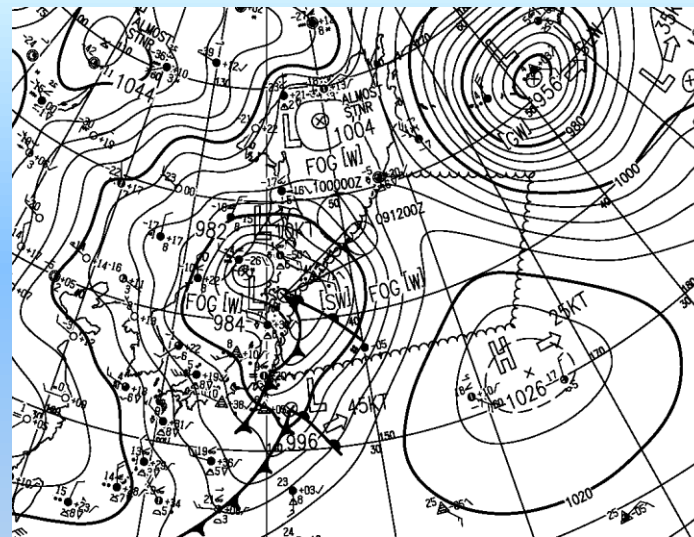




# Мезо- $\alpha$ - и мезо- $\beta$ -циклоны над Японским морем 9 января 2018 г.



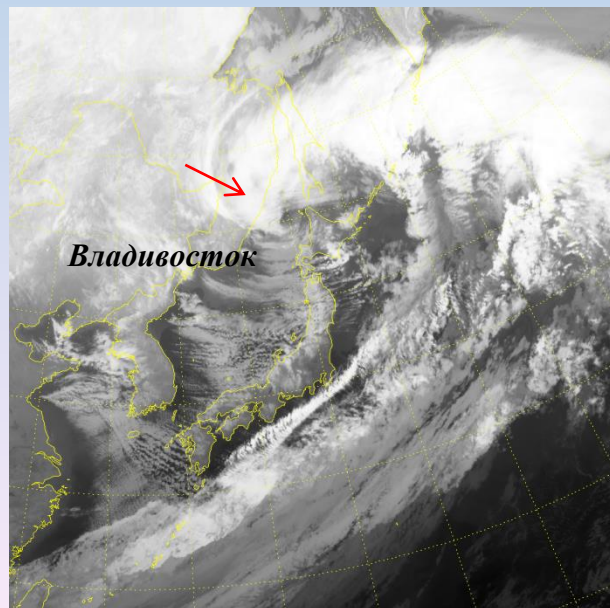
Terra MODIS 9 янв. 02:25 Гр.



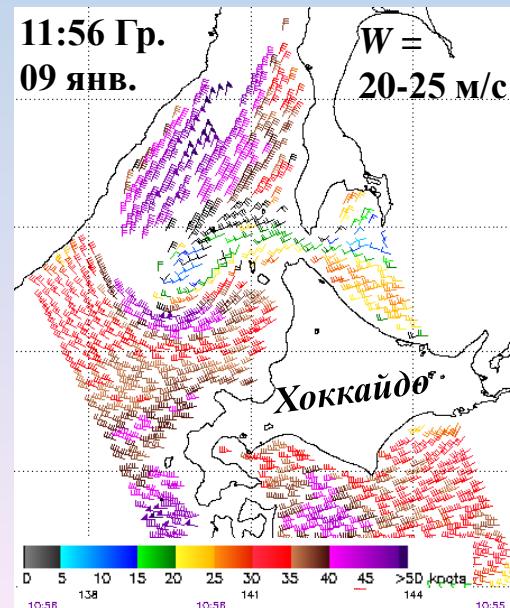
Карта приземного анализа ЯМА  
09 января 00 Гр.

1 – короткоживущий подветренный мезо- $\beta$ -циклон над южной частью моря. На карте отсутствует.

2 – центр мезо- $\alpha$ -циклона (структура плохо видна в поле облачности).



ИК COMS (КМА) 09 янв. 12 Гр.



Скаттерометр ASCAT (MetOp-A)

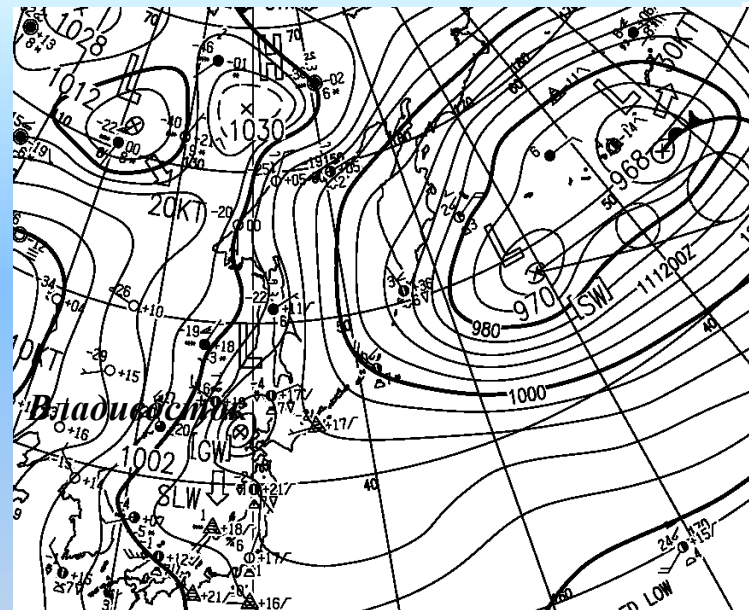
Мезо- $\alpha$ -циклон возник над центральной частью моря.

Жизненный цикл  $\approx 2$  сут.

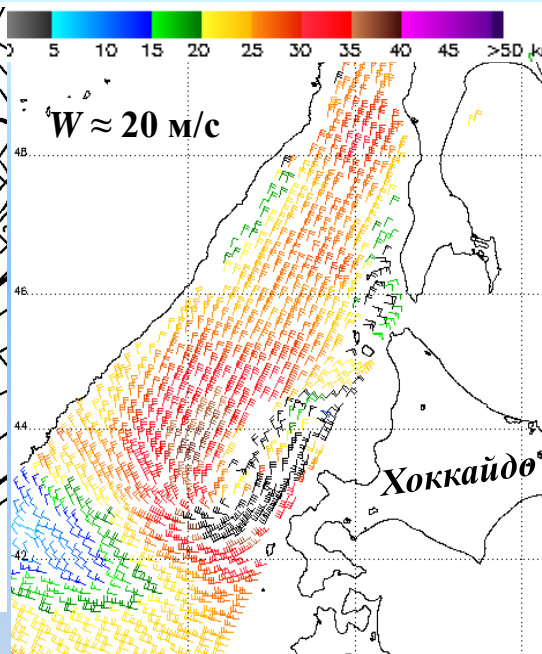
Перемещался на СВ в общей циркуляции с южным циклоном.

Повернул на ЮВ над северной частью моря.

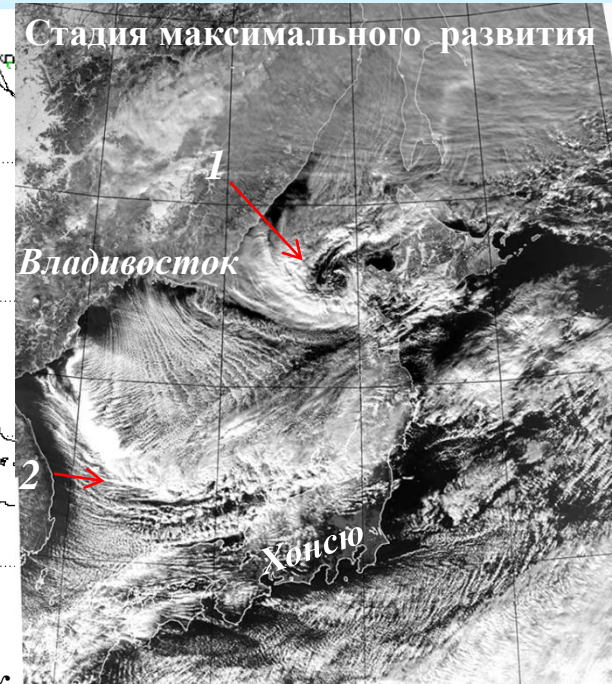
# Эволюция ПМЦ к западу от Хоккайдо 10-11 января 2018 г.



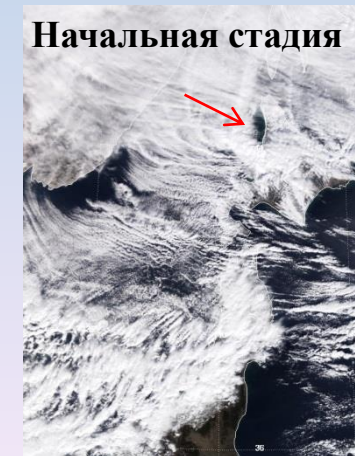
Карта приземного анализа ЯМА (фрагмент) 00 Гр. 11 янв.



Скаттерметр ASCAT (спутник MetOp-B) 01:28 Гр. 11 янв.

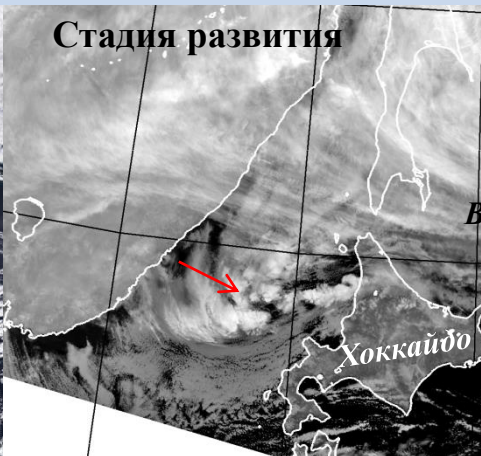


Аqua MODIS (разрешение 250 м) 03:50 Гр. 11 янв.



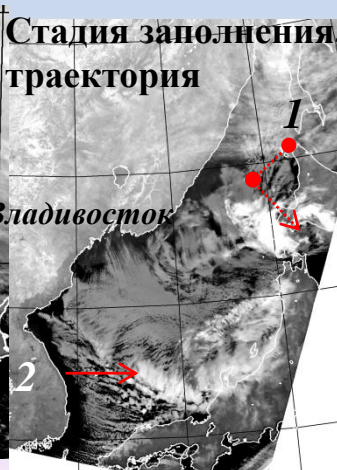
Начальная стадия

Видимое изображение Terra MODIS 01:30 Гр. 10 янв.



Стадия развития

ИК изображение Aqua MODIS 16:45 Гр. 10 янв.



Стадия заполнения, траектория

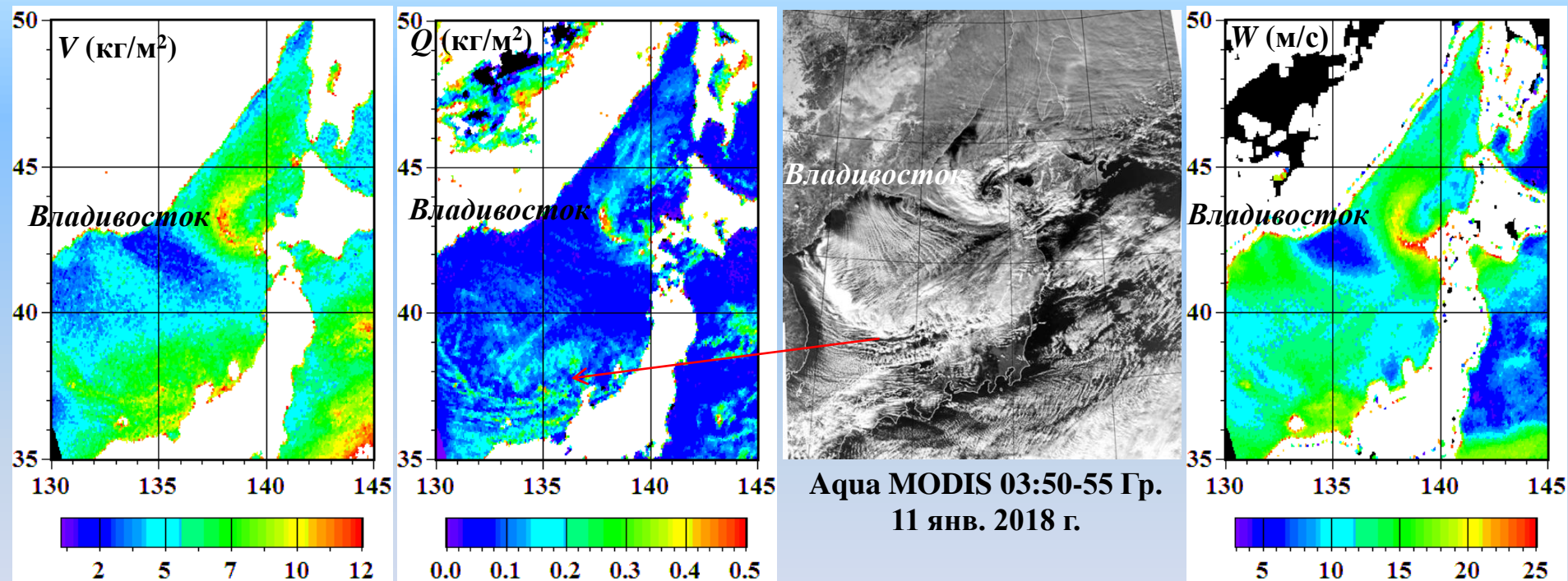
ИК изображение Aqua MODIS 17:30 Гр. 11 янв.

**1 - мезо- $\alpha$ -циклон (300-350 км) в зоне конвергенции СВ и СЗ потоков между Хоккайдо и побережьем Приморья в тылу берингоморского циклона. Время жизни  $\approx$  2 суток.**

**2 - цепочка мезо- $\beta$ -циклонов над южной частью моря, в зоне конвергенции (JPCZ).**

## ПМЦ в стадии максимального развития.

Поля гидрометеорологических параметров по данным радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) в 03:35 Гр. 11 января 2018 г.

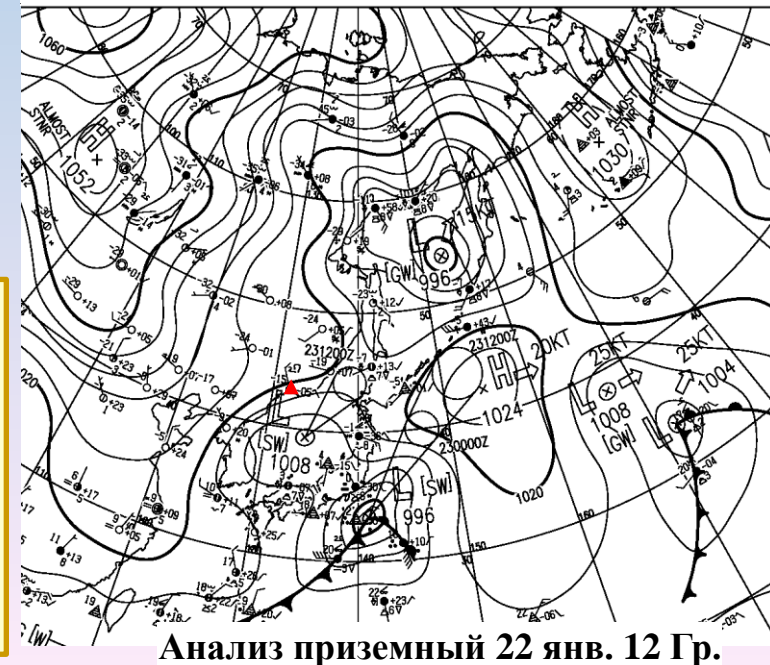
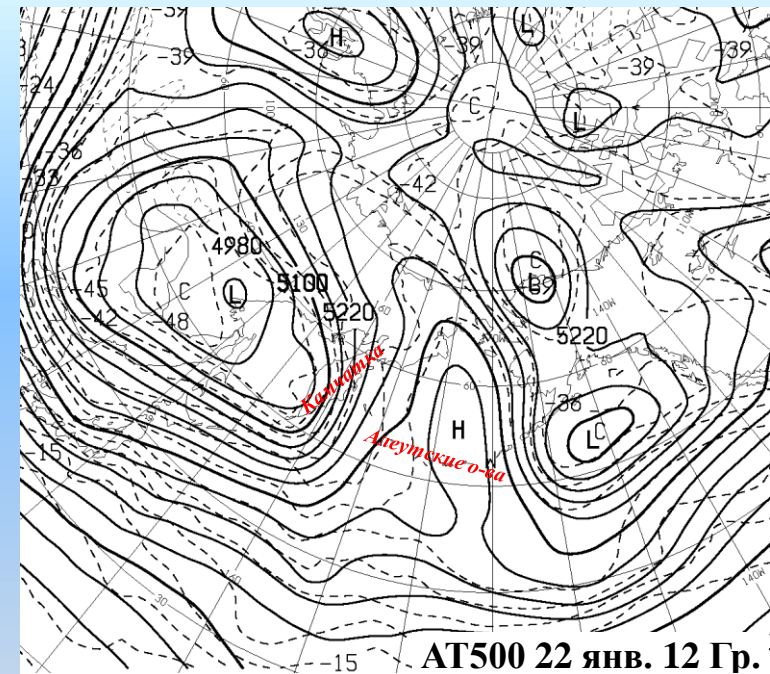
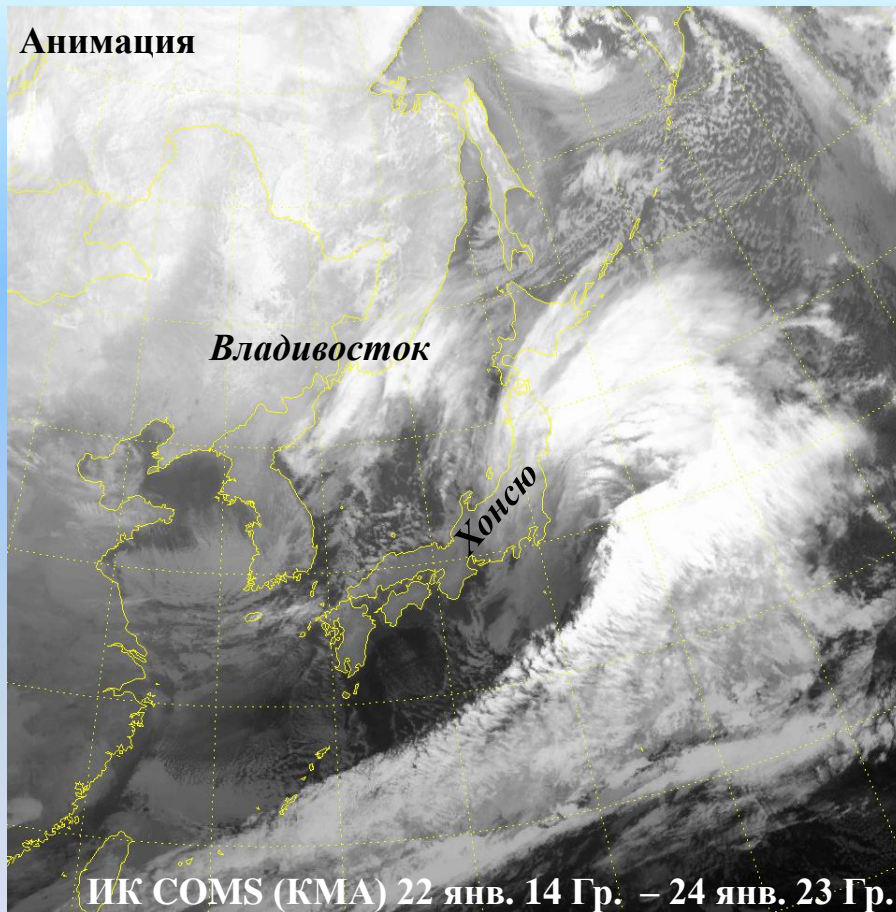


Аqua MODIS 03:50-55 Гр.  
11 янв. 2018 г.

Спиральная структура северного ПМЦ в полях водяного пара  $V$ , капельной влаги  $Q$  и приводного ветра  $W$ . На участках облачной системы с  $Q = 0.3-0.5 \text{ кг/м}^2$  вероятны осадки. Скорость ветра 18-23 м/с.

Цепочка мезо- $\beta$ -циклонов над южной частью моря в JPCZ. Вихревые структуры отчетливо проявляются в поле капельной влаги. Скорость ветра 15-17 м/с.

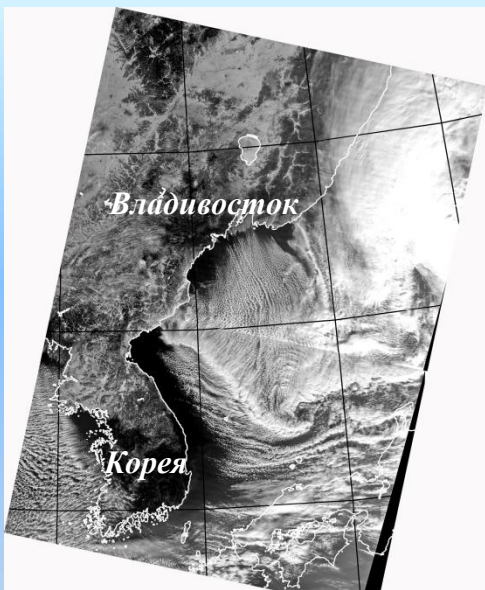
# Мезомасштабный циклогенез над Японским морем 22 – 24 января 2018 г.



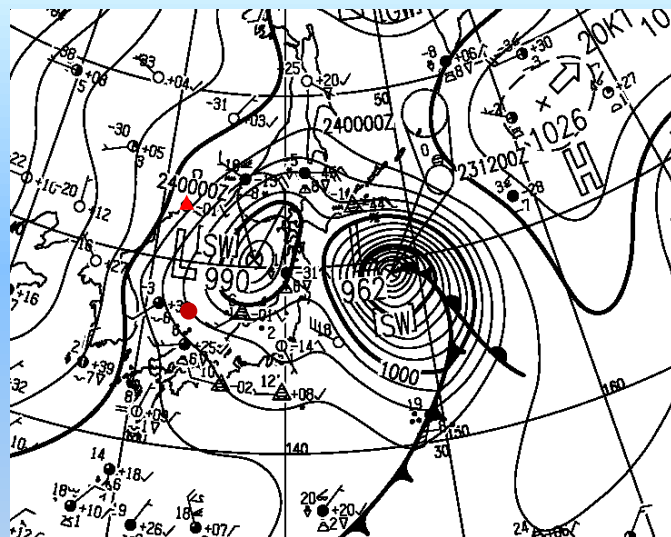
Блокирующий барический гребень над Беринговым морем способствовал выходу южных циклонов на Охотское море, где они стационарировали длительное время.

Мезомасштабный циклогенез продолжался около 17 сут (22 янв. - 7 февр.) с перерывами на 1-3 сут.

# ПМЦ мезо- $\alpha$ - (север) и мезо- $\beta$ -масштаба (юг) над Японским морем 23 января 2018 г.

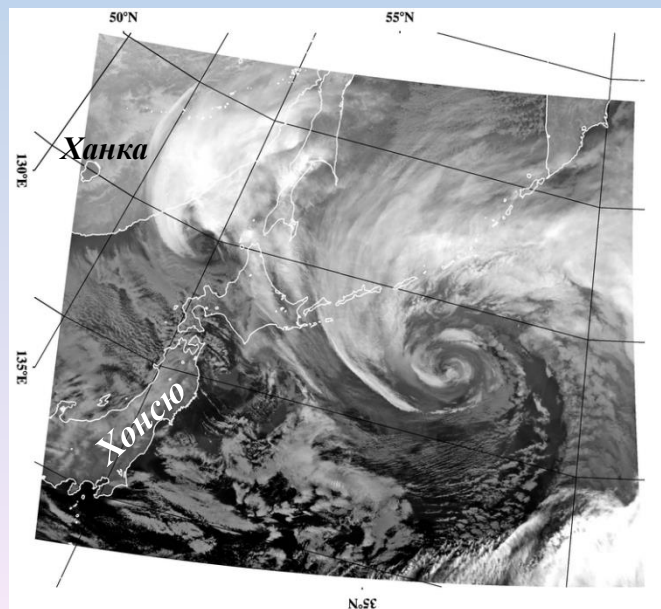


Terra MODIS 02:35 Гр.

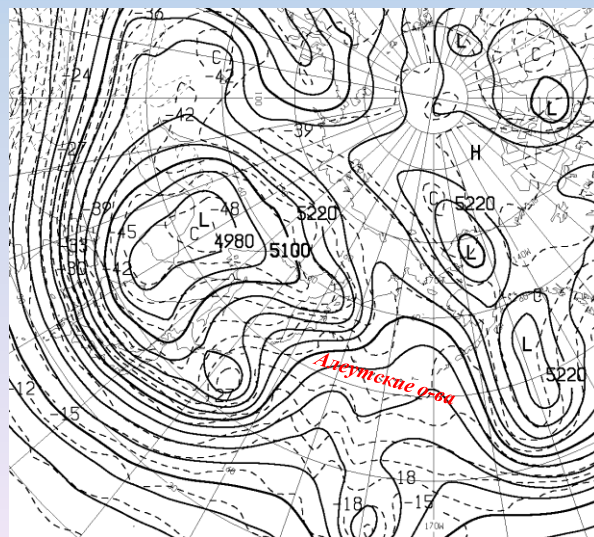


Карта приземного анализа ЯМА 00 Гр.

В зоне конвергенции JPCZ над южной частью моря сформировались два мезовихря, один из которых развился в мезо- $\beta$ -циклон. Существовал менее суток, на карте приземного анализа отсутствовал.



Terra MODIS 12:05 Гр. 23 янв. 2018 г.



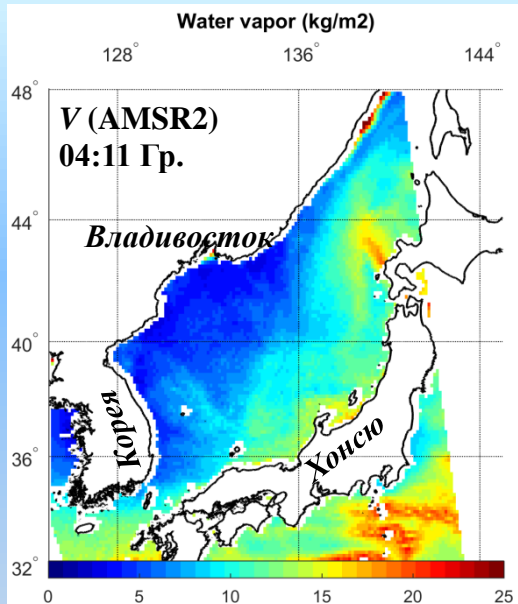
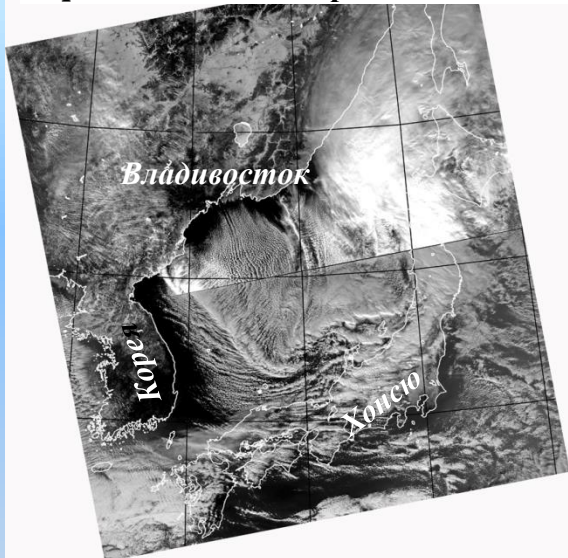
Фрагмент AT500 ЯМА  
(геопотенциал м, температура °С).  
12 Гр. 23 янв.

Мезо- $\alpha$ -циклон над северной частью моря в общей циркуляции с южным циклоном синоптического масштаба. Возник 22 янв. в точке 38°с.ш., 132°в.д. Существовал примерно 3 суток.

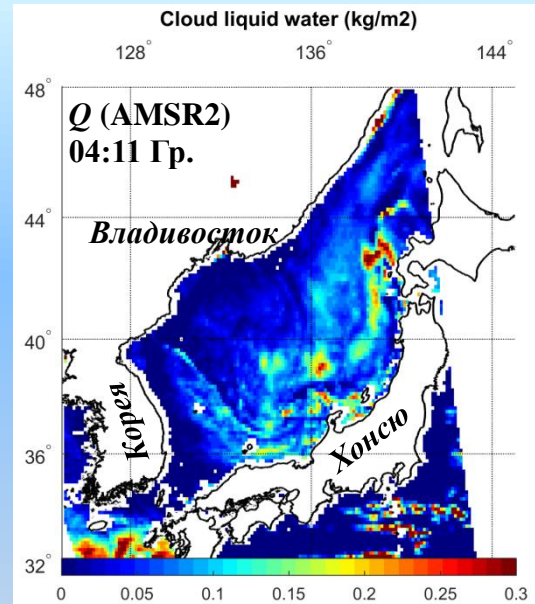
Траектория:  
22-23 янв. – СВ  
23-25 янв. – ЮВ

# Характеристики ПМЦ над Японским морем 23 января 2018 г.

Аqua MODIS 04:15 Гр. 23 янв. 2018 г.



$V = 13-16 \text{ кг/м}^2$

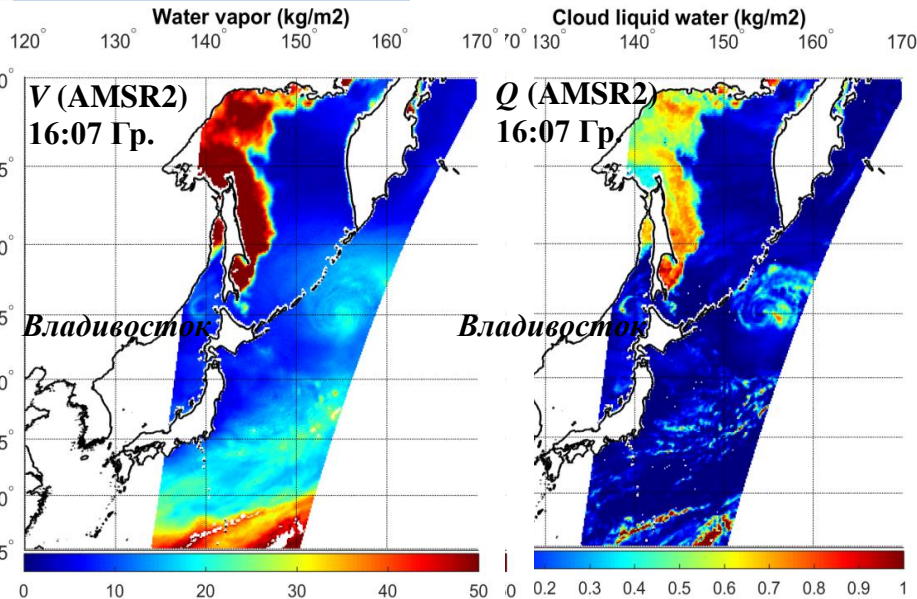
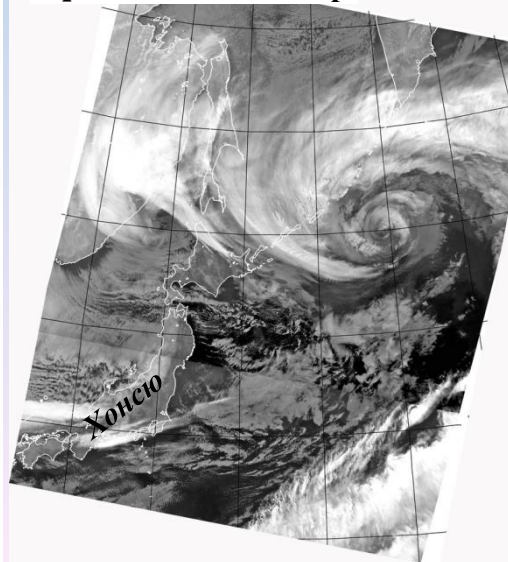


$Q = 0.1-0.3 \text{ кг/м}^2$

Аqua MODIS 17:55 Гр.



Аqua MODIS 16:15 Гр.



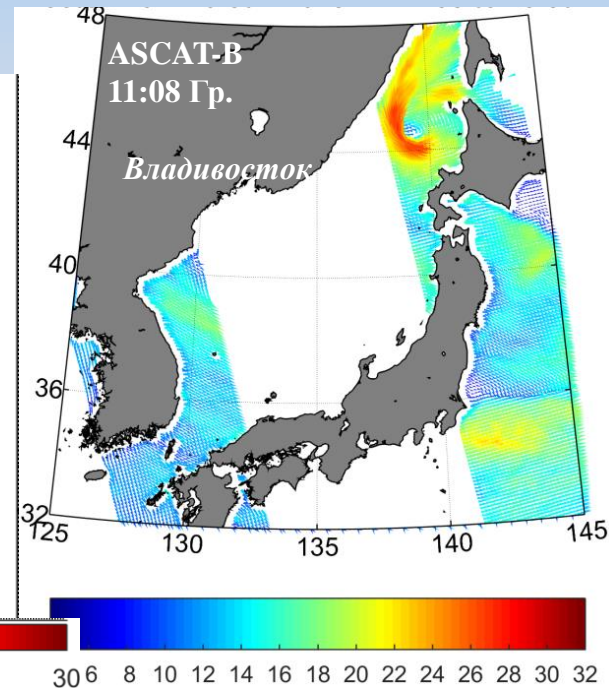
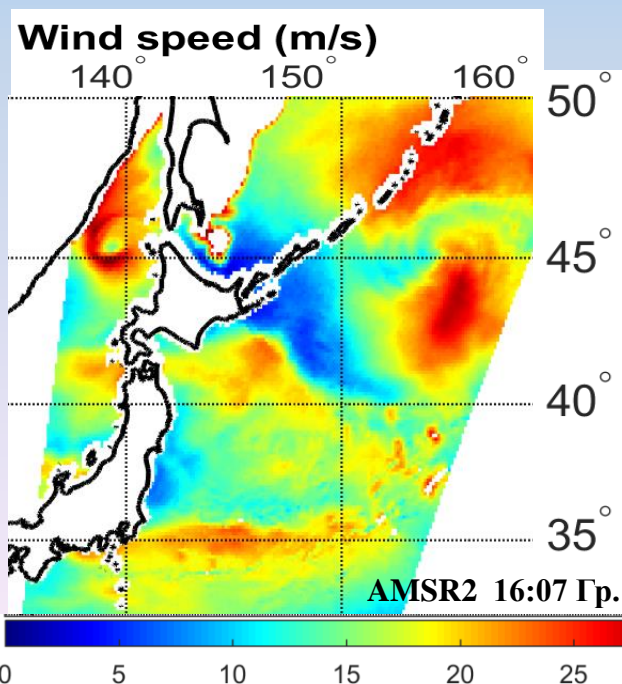
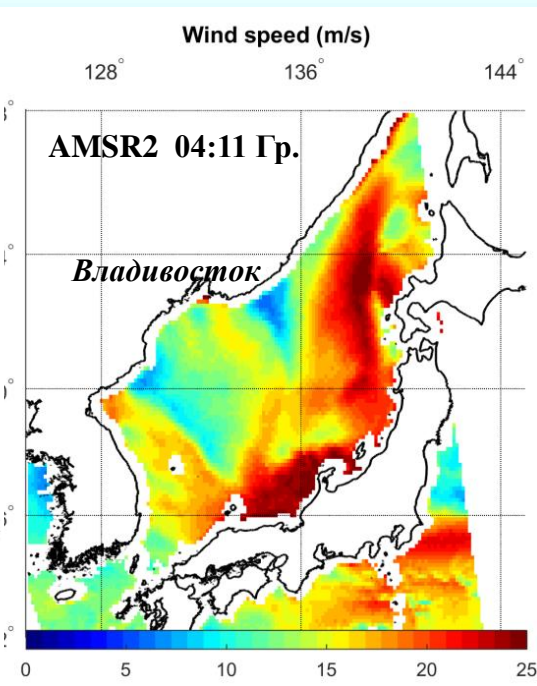
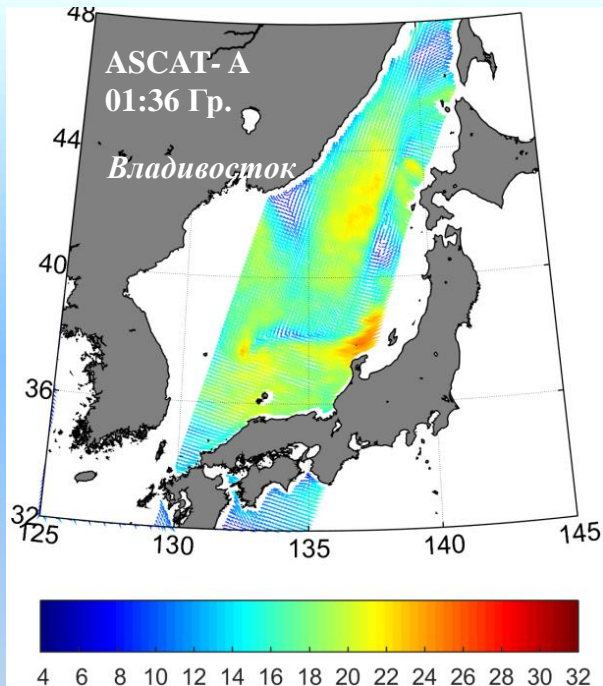
# Интенсивность ПМЦ над Японским морем 23 января 2018 г.

По данным активных (ASCAT) пассивных (AMSR2) измерений, интенсивность южного и северного ПМЦ примерно одинакова:

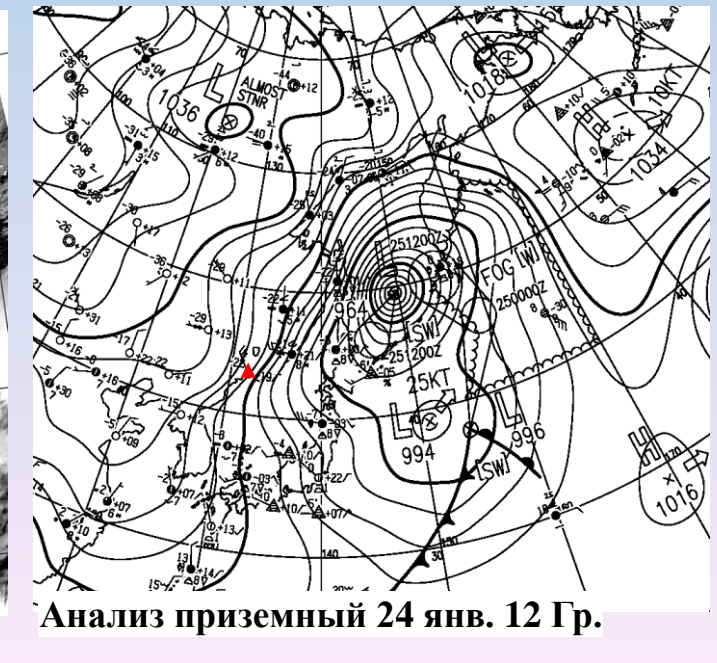
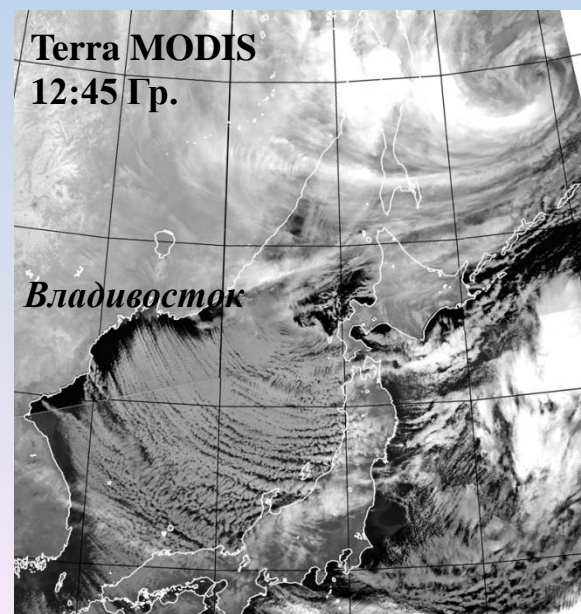
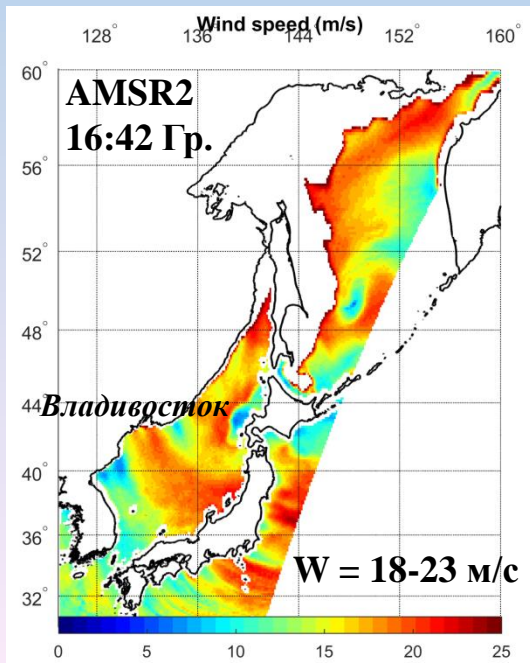
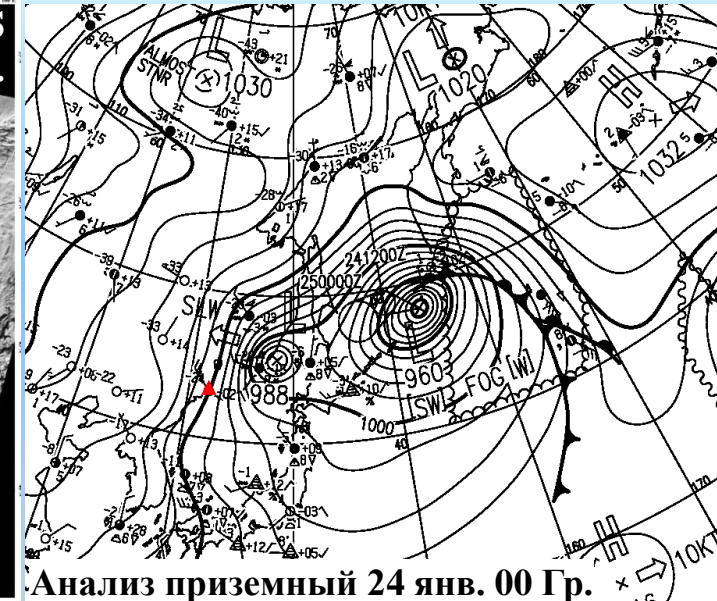
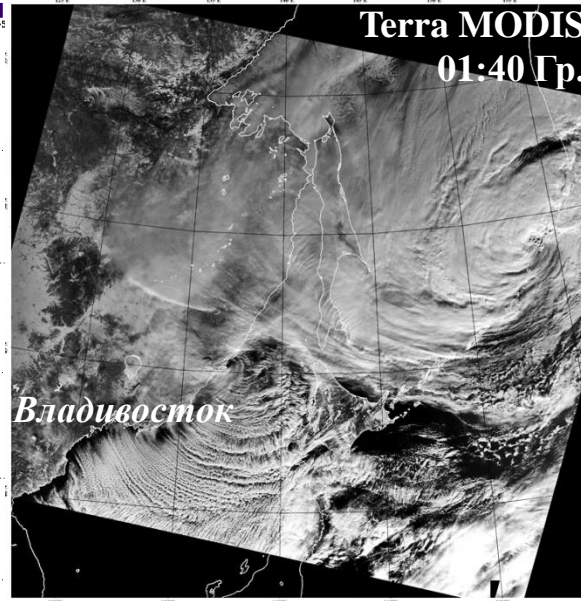
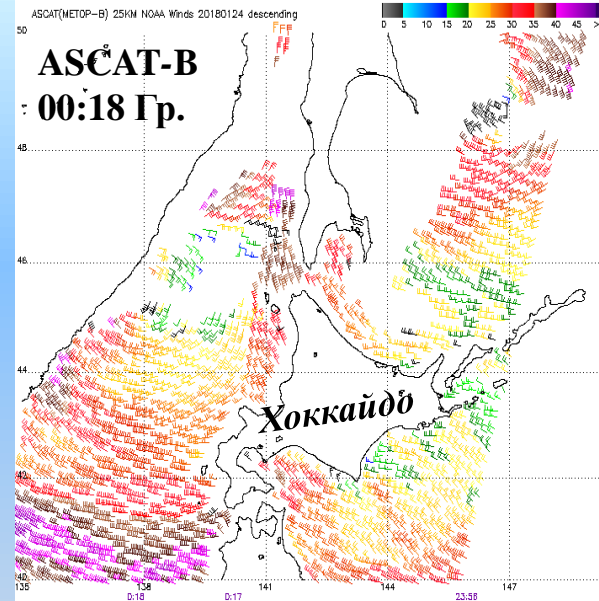
$W \approx 20-25$  м/с

В стадии максимального развития северного ПМЦ:

$W \geq 25$  м/с

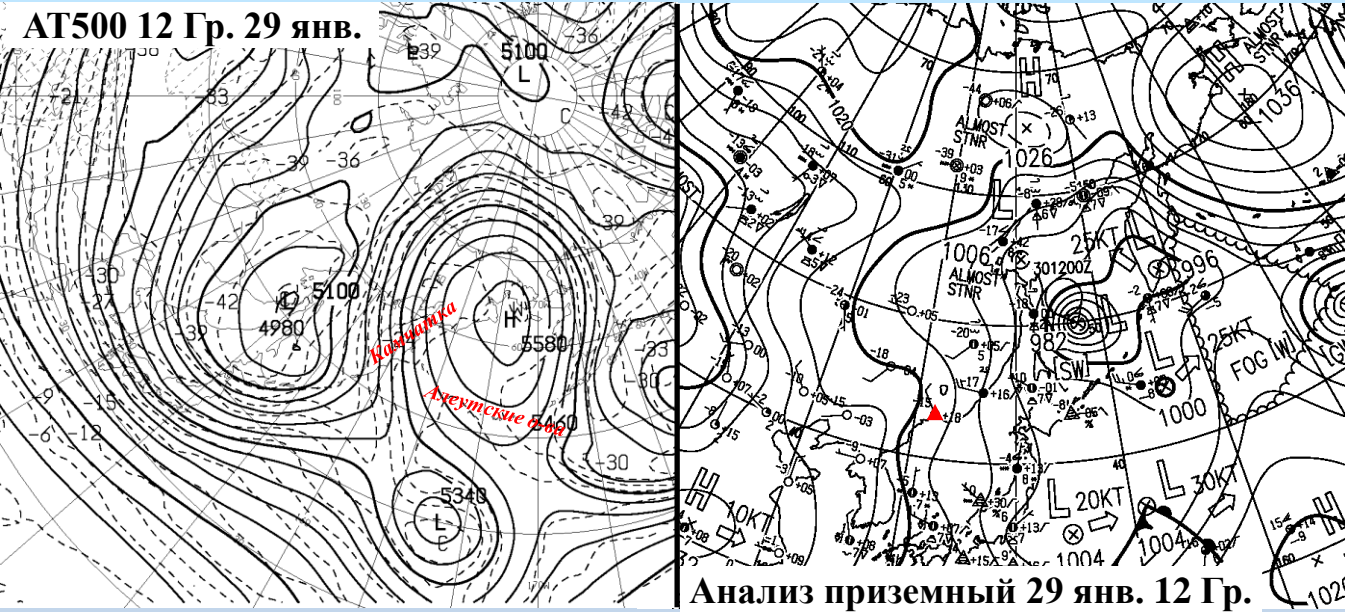


# Эволюция ПМЦ над Японским морем: 24 января 2018 г.



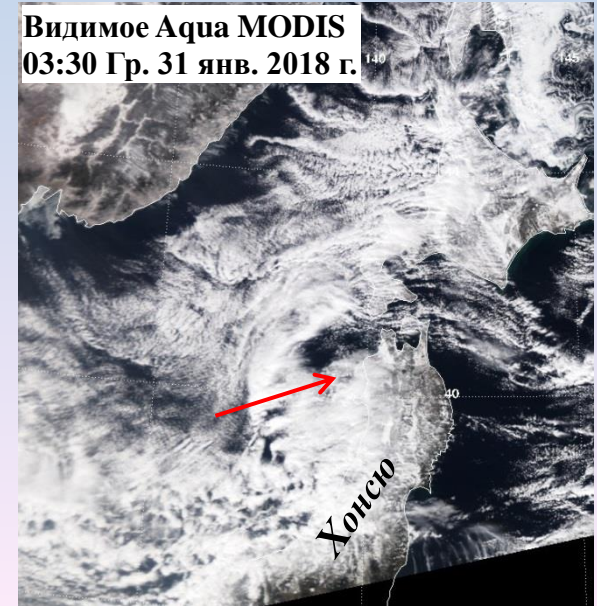
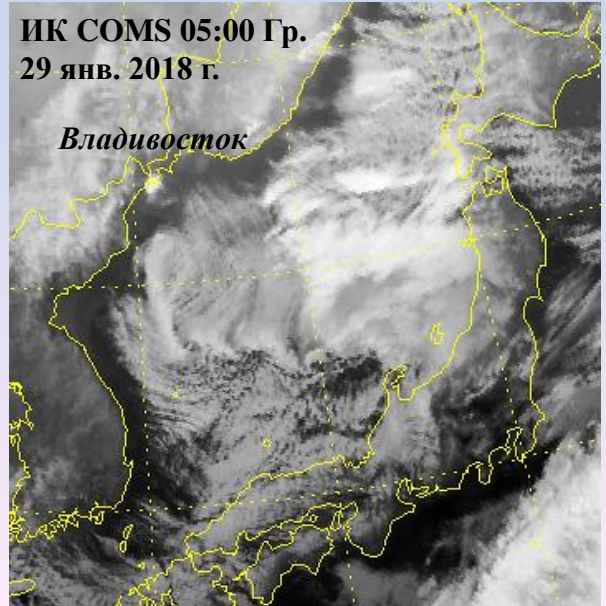
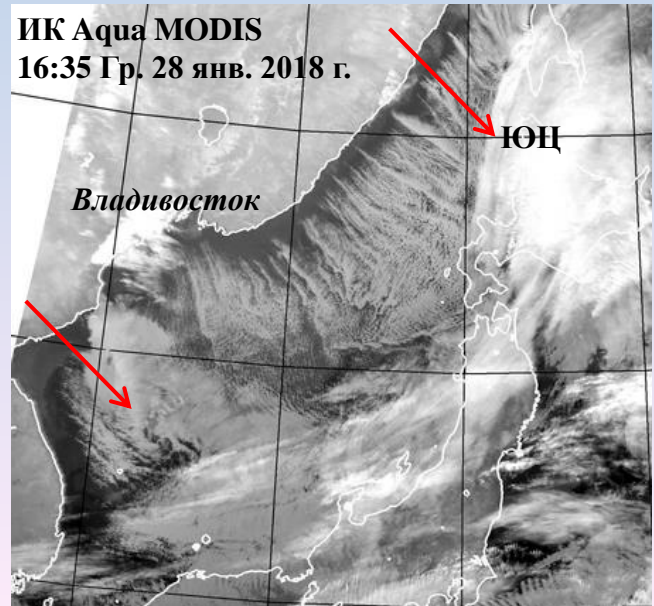


# Возобновление мезомасштабного циклогенеза над Японским морем 28-29 и 31 января 2018 г.



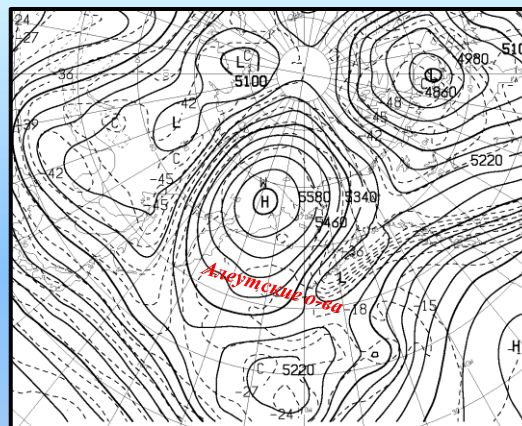
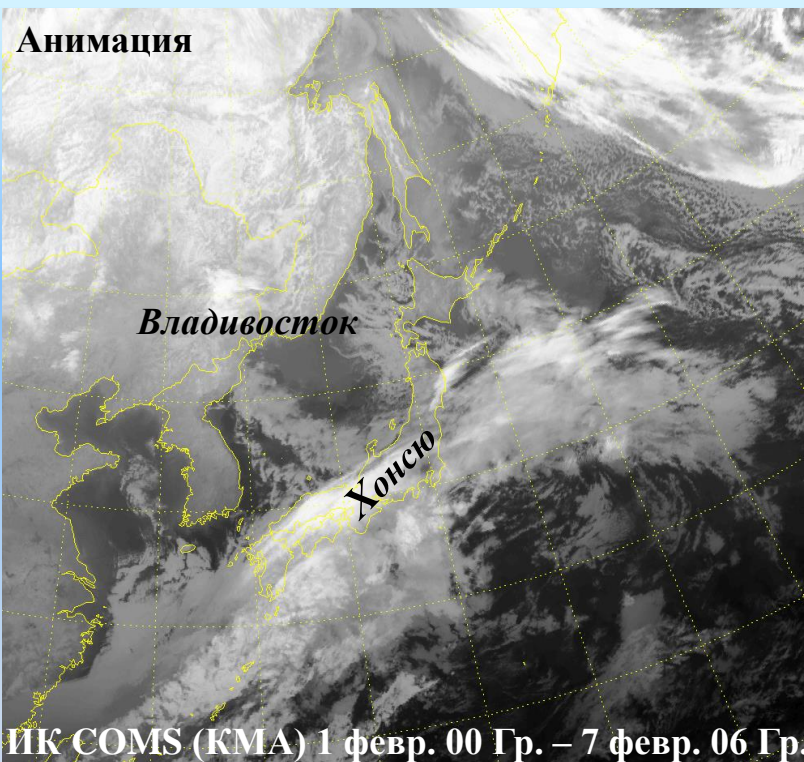
28-29 января – цепочка мезо-β-циклонов в зоне конвергенции JPCZ в тылу очередного ЮЦ.

31 января – короткоживущий мезо-β-циклон над восточной частью моря, перемещался на восток.

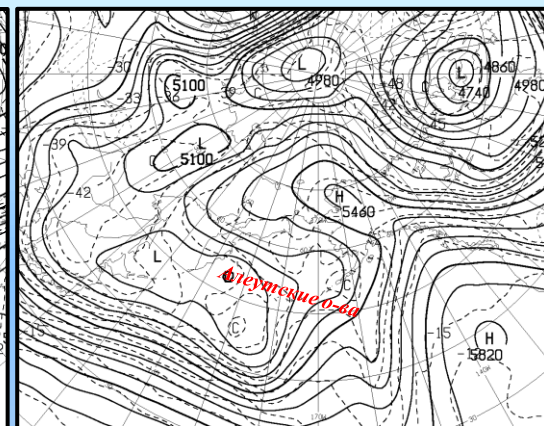


# Мезомасштабный циклогенез над Японским морем 1-7 февраля 2018 г.

Анимация

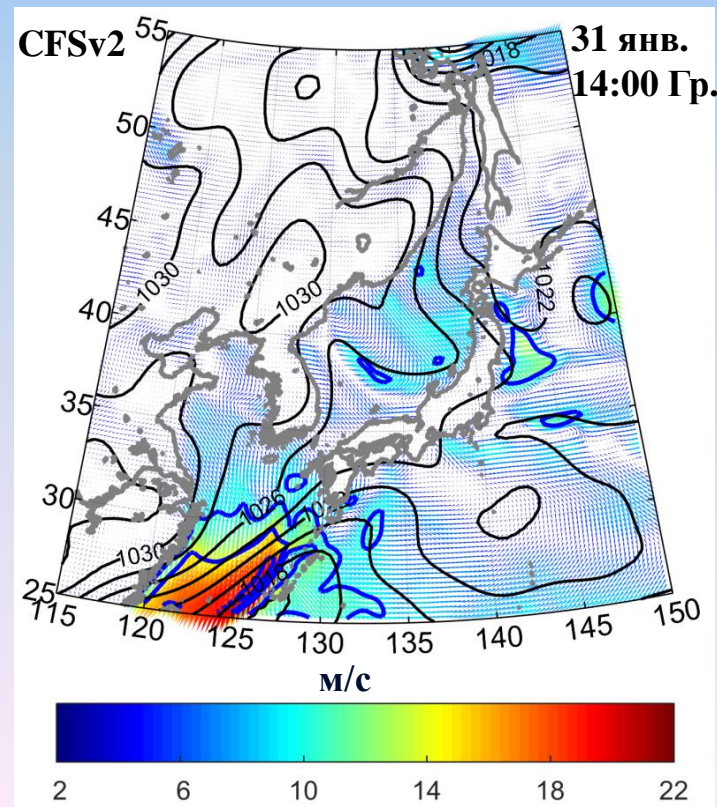


AT500 ЯМА 01 февр. 12 Гр. СП



AT500 ЯМА 06 февр. 12 Гр. СП

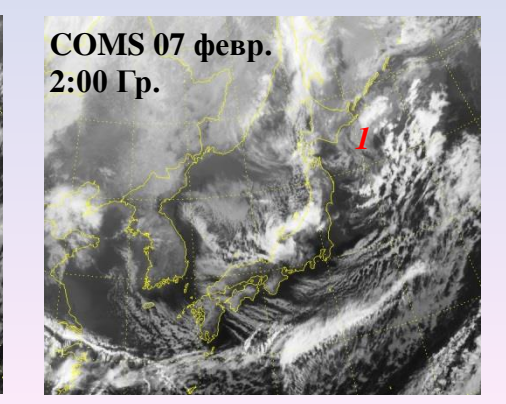
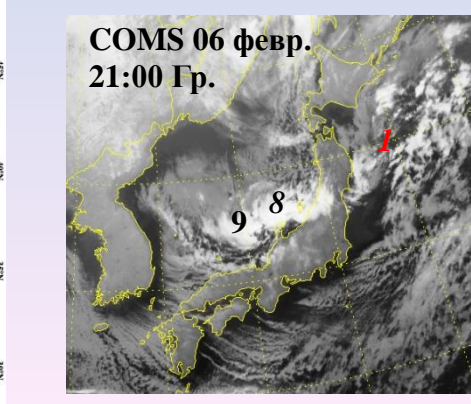
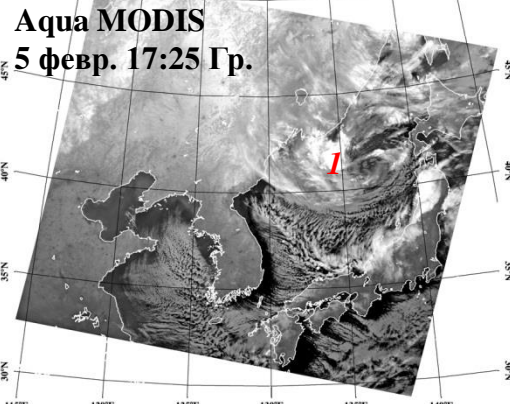
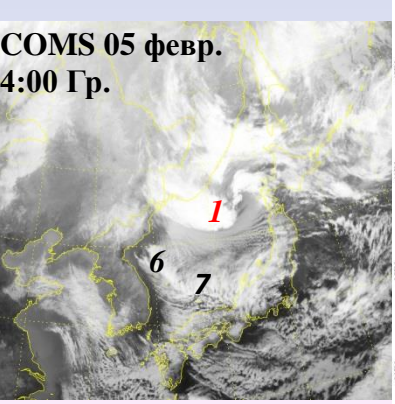
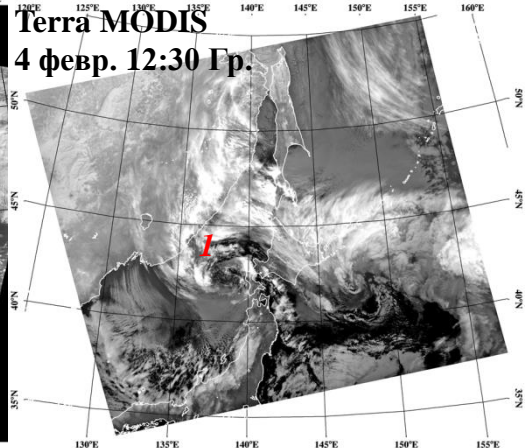
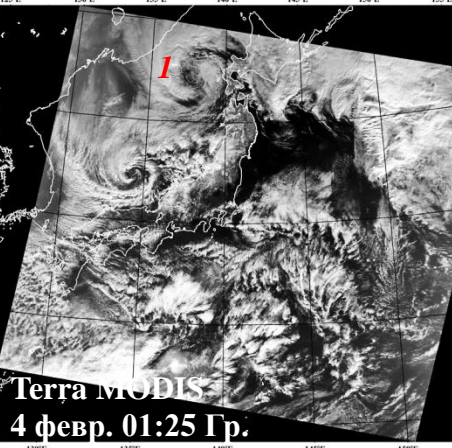
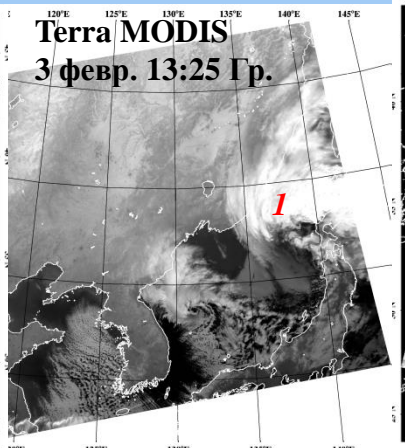
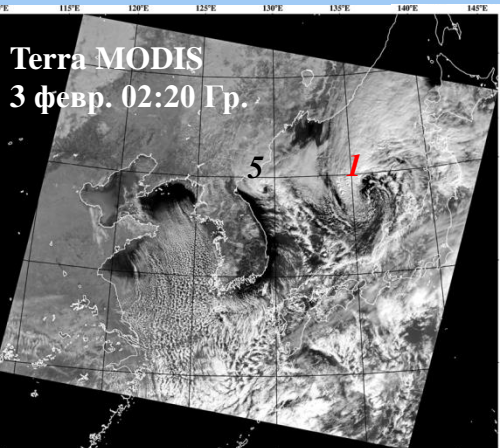
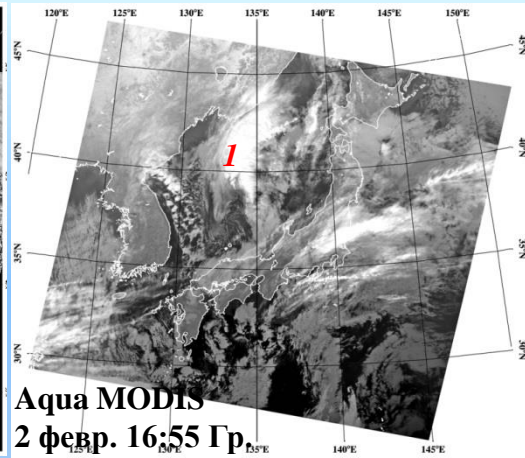
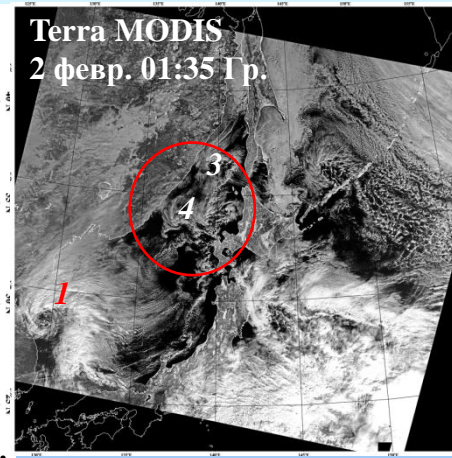
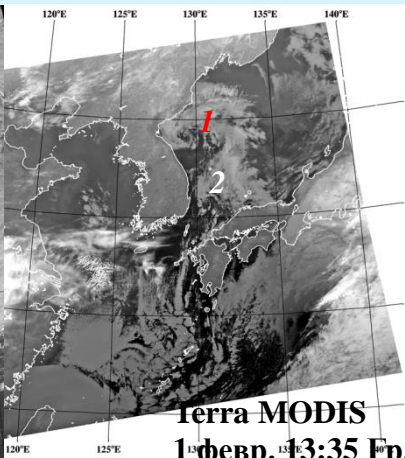
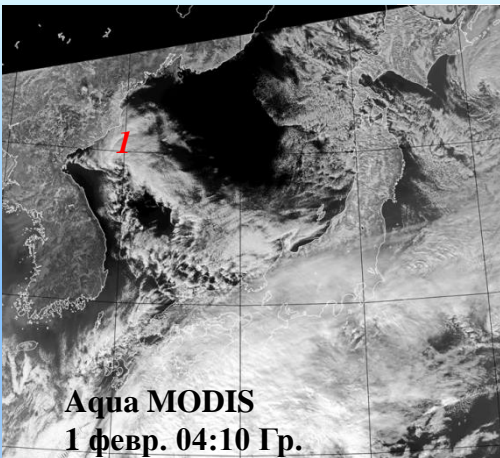
Поле вектора  
ветра и  
атмосферного  
давления на  
уровне моря.



2 мезо- $\alpha$ - и 5 мезо- $\beta$ -циклонов зафиксированы над южной частью моря в зоне конвергенции JPCZ;  
2 малоинтенсивных мезо- $\beta$ -циклона зафиксированы над северной частью моря.

Долгоживущий ( $\approx 7$  сут) мезо- $\alpha$ -циклон возник на оси циклонического сдвига ветра в барической ложбине от ЮЦ и первоначально перемещался на СВ, затем на ЮВ. В поле вектора ветра по данным CFSv2 слабый вихрь виден уже 31 января.

# За период 1-7 февраля 2018 г. возникло 9 ПМЦ различных размеров и интенсивности



# Траектория долгоживущего полярного мезо- $\alpha$ -циклона 1-7 февраля 2018 г.

По спутниковым данным

Цифрами обозначены даты

Владивосток

Хонсю

По картам приземного анализа ЯМА

Владивосток

Хонсю

По CFSv2

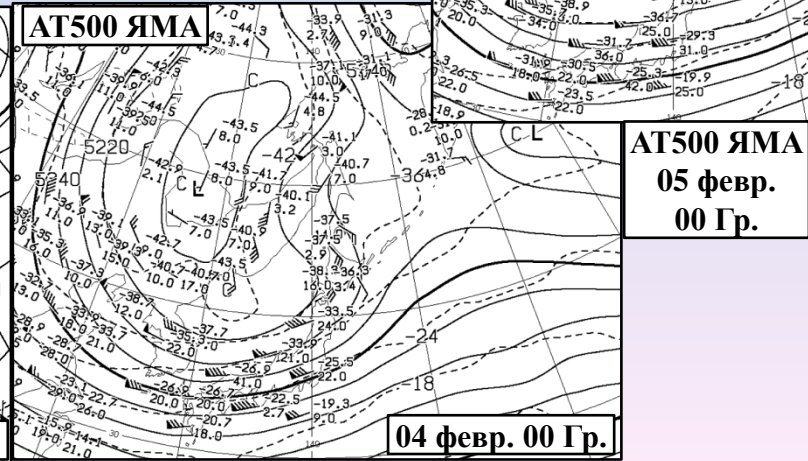
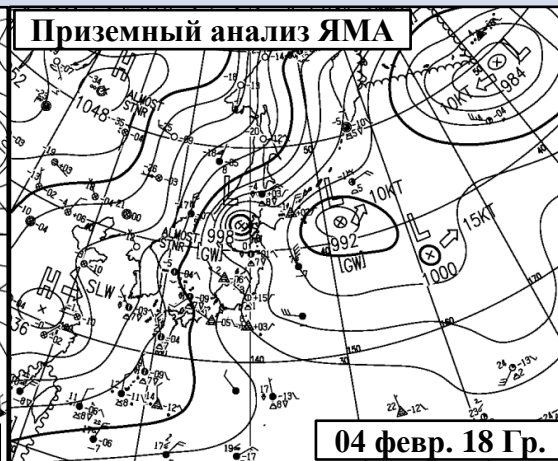
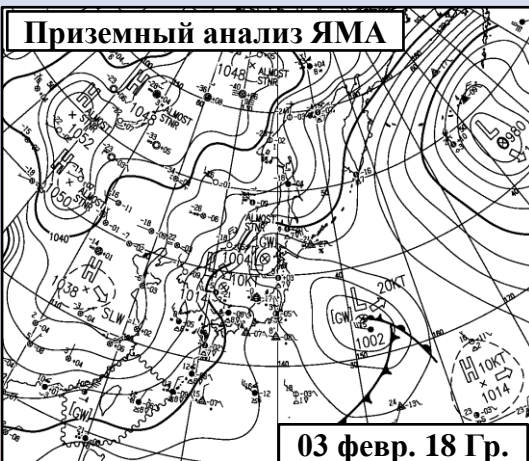
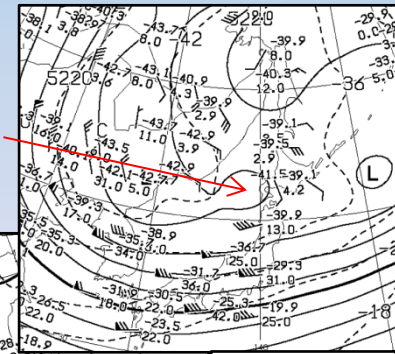
Владивосток

Хонсю

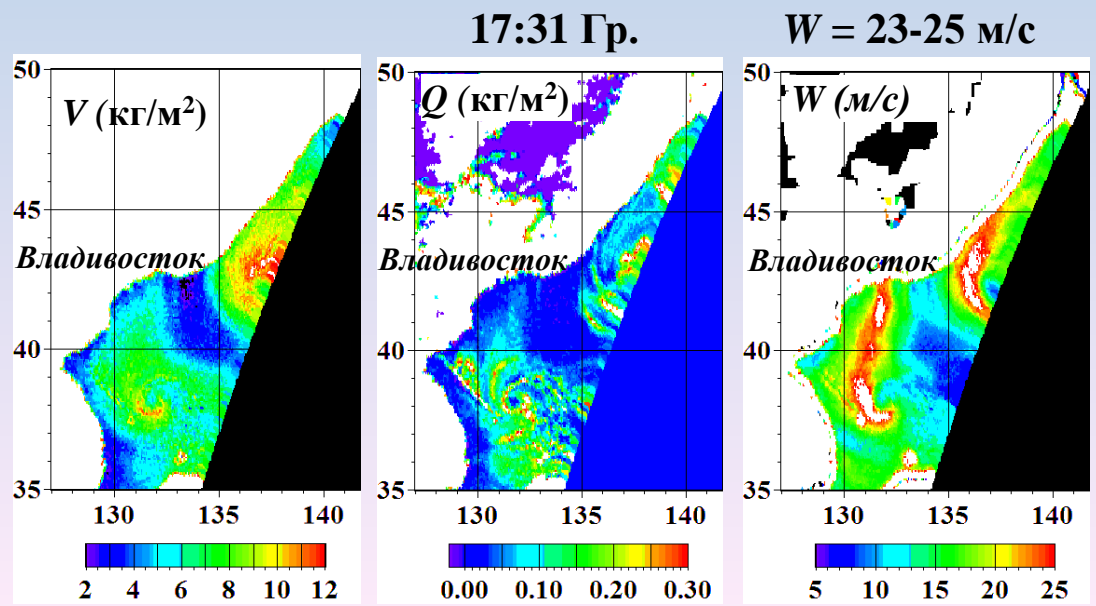
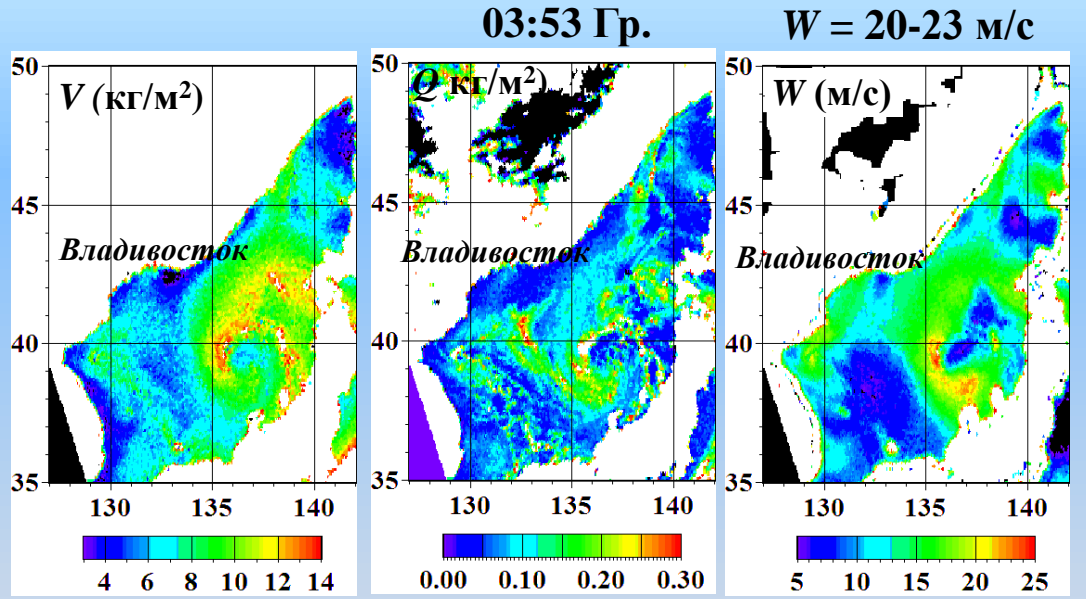
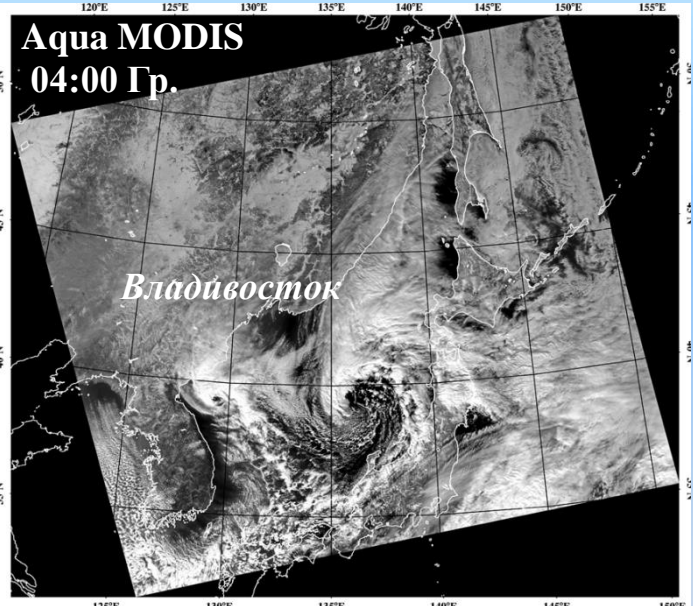
Terra MODIS  
3 февр. 13:25 Гр.

После 7 февраля ПМЦ регенерировал над Тихим океаном и существовал еще примерно 4 сут.

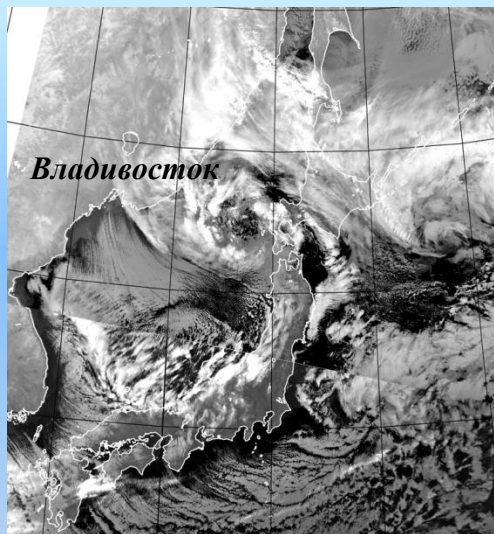
Большая петля – формирование высотного барического гребня вследствие выноса тепла по северо-восточной периферии южного циклона и высотного мезовихря.  
Малая петля – в результате формирования и взаимодействия двух вихрей в центральной части ПМЦ.



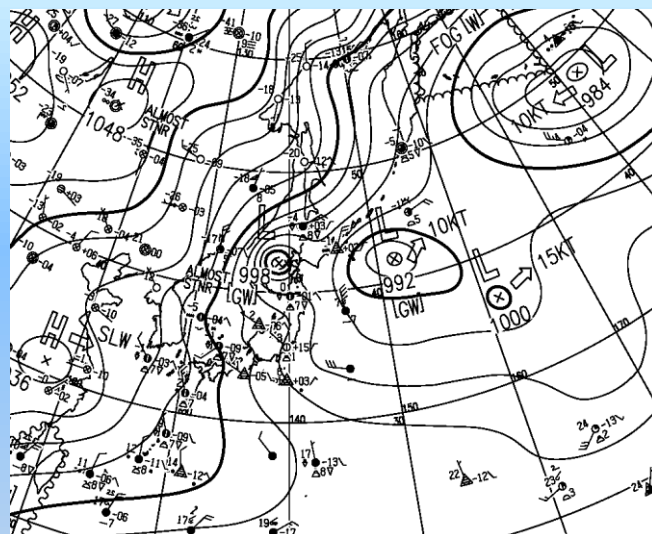
# Эволюция ПМЦ над Японским морем в полях облачности по данным Aqua MODIS , водяного пара ( $V$ ), капельной влаги ( $Q$ ) и приводного ветра ( $W$ ) по данным AMSR2 (GCOM-W1) 3 февраля 2018 г.



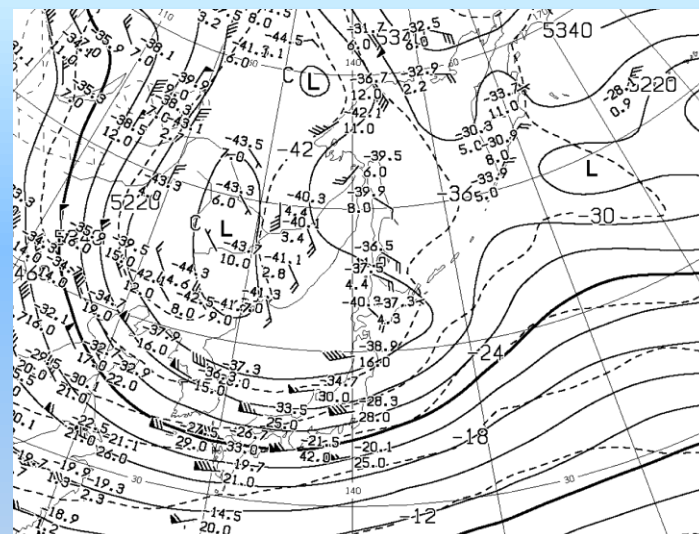
# Эволюция мезо- $\alpha$ -циклона 4 февраля 2018 г. Скорость ветра $W \approx 20-25$ м/с.



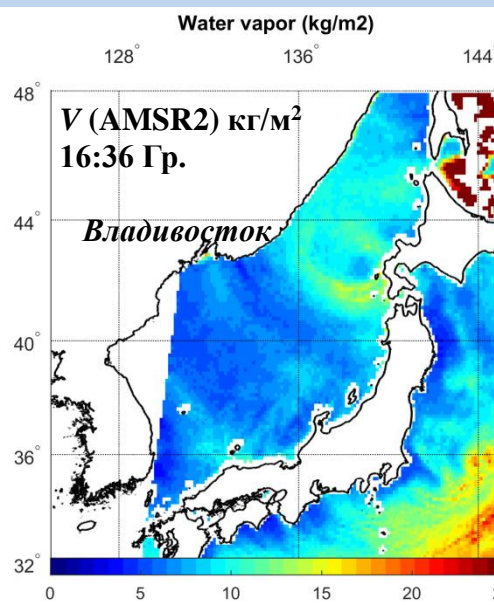
Аqua MODIS 16:40 Gr.



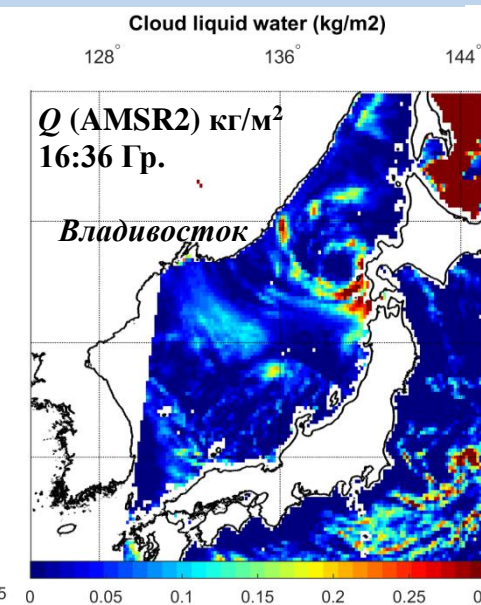
Карта приземного анализа ЯМА 18 Gr.



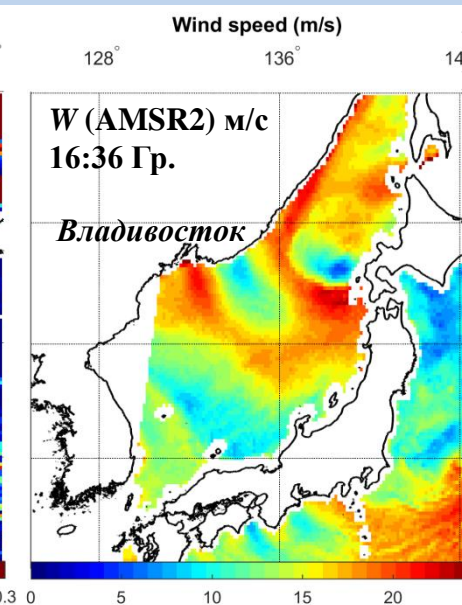
Карта АТ500 ЯМА 12 Gr.



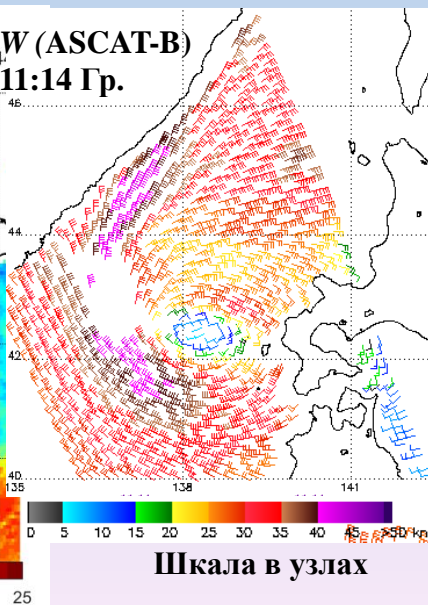
Паросодержание атмосферы



Водозапас облаков

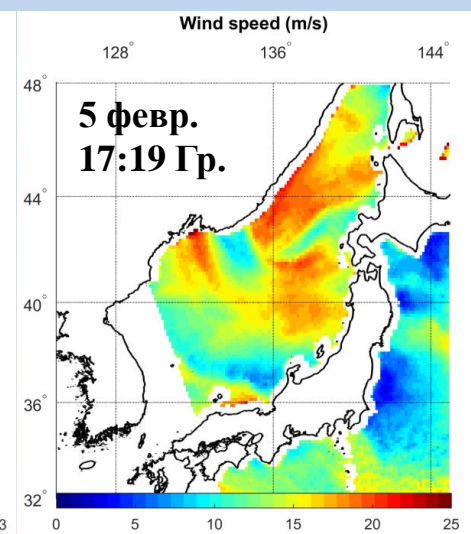
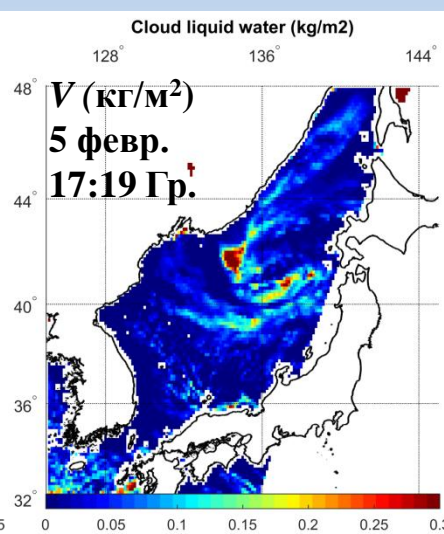
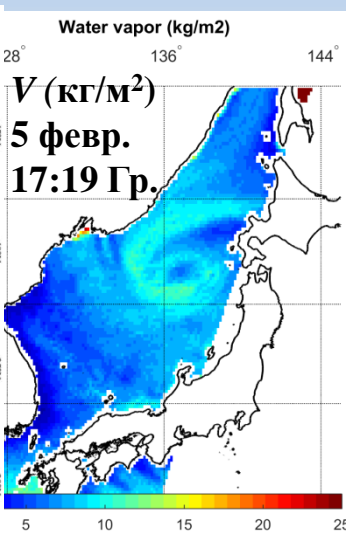
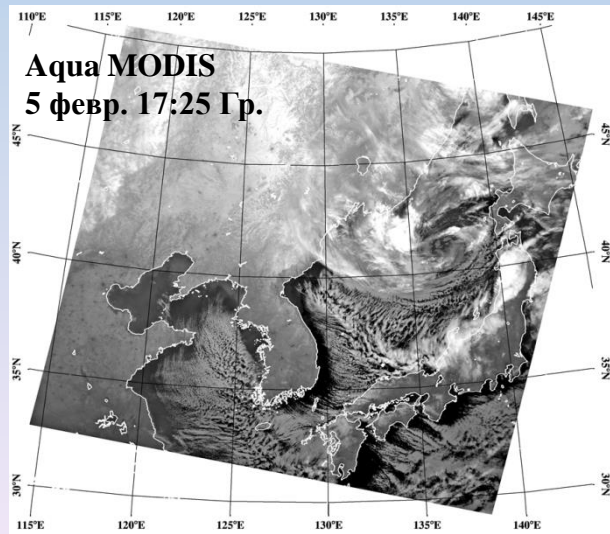
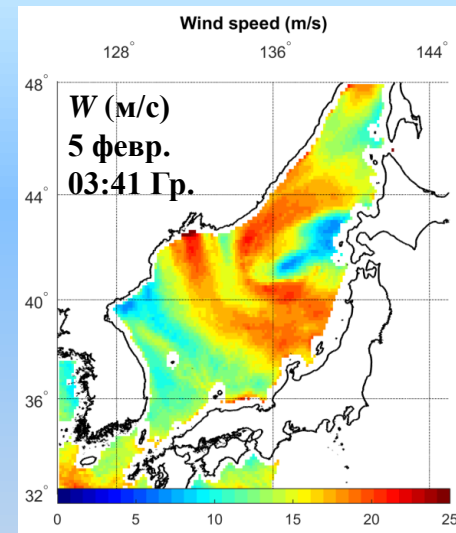
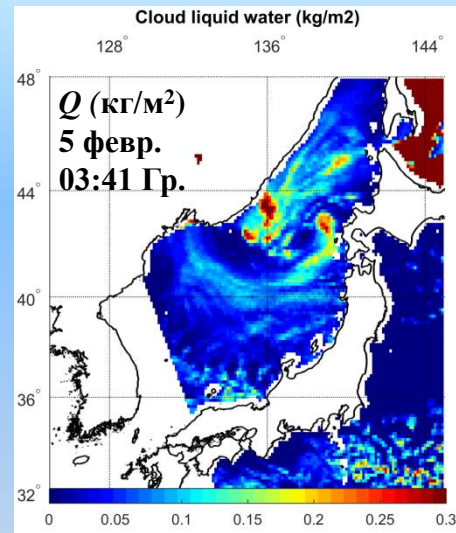
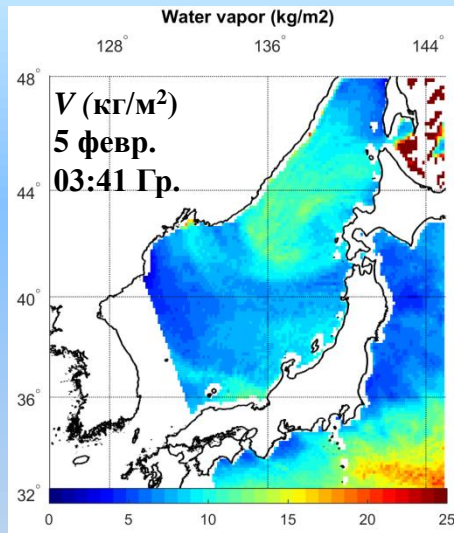
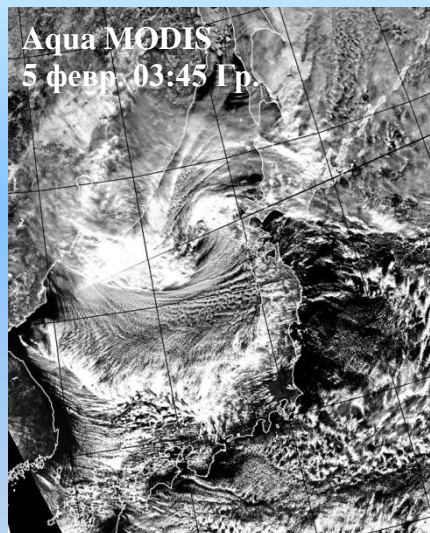


Приводный ветер



Шкала в узлах

# Начало заполнения. Поля облачности по данным Aqua MODIS ; водяного пара ( $V$ ), капельной влаги ( $Q$ ) и приводного ветра ( $W$ ) по данным AMSR2 (GCOM-W1).



Ветер ослабевает,  $W = 17-22$  м/с. Деградация облачности. Спиральная структура ПМЦ хорошо видна в поле водяного пара,  $V = 11-13$  кг/м<sup>2</sup>.  $Q \geq 0.3$  кг/м<sup>2</sup> в кластерах Сб.

## **Выводы**

- Японское море является районом активного мезомасштабного циклогенеза. Пик мезоциклонической деятельности приходится на январь. Существует значимая корреляция между количеством ПМЦ и холодных вторжений:

$$R = 0.79$$

- Доминирующие направления ПМЦ: ВЮВ над южной частью моря и ЮЮВ над его северной частью.
- Выделяется группа мезо- $\alpha$ -циклонов, для которых характерна петля траектории. Такие ПМЦ перемещаются на северо-восток в общей системе циркуляции с южным циклоном синоптического масштаба и интенсифицируются над северной частью моря, где меняют направление перемещения на юго-восточное.
- При длительном стационаровании аномального крупномасштабного гребня повышенного давления над северной частью Тихого океана внетропические циклоны выходят на Охотское море, где образуется центральный циклон. При такой синоптической ситуации продолжительность холодных вторжений и связанной с ними мезоциклонической деятельности значительно возрастает.
- Отмечено появление долгоживущих (до 7 сут) полярных мезо- $\alpha$ -циклонов, что соответствует жизненному циклу циклонов синоптического масштаба.

**Работа выполнена при частичной поддержке гранта ДВО РАН 15-I-1-009\_o**





**Спасибо**

**за**

**внимание!**