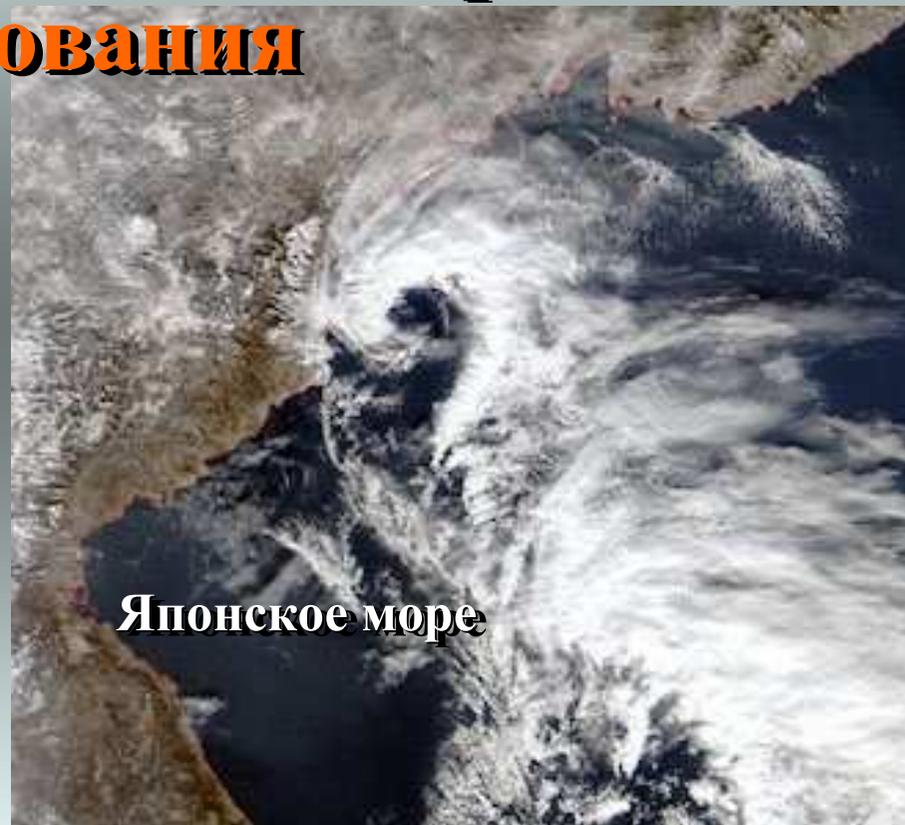
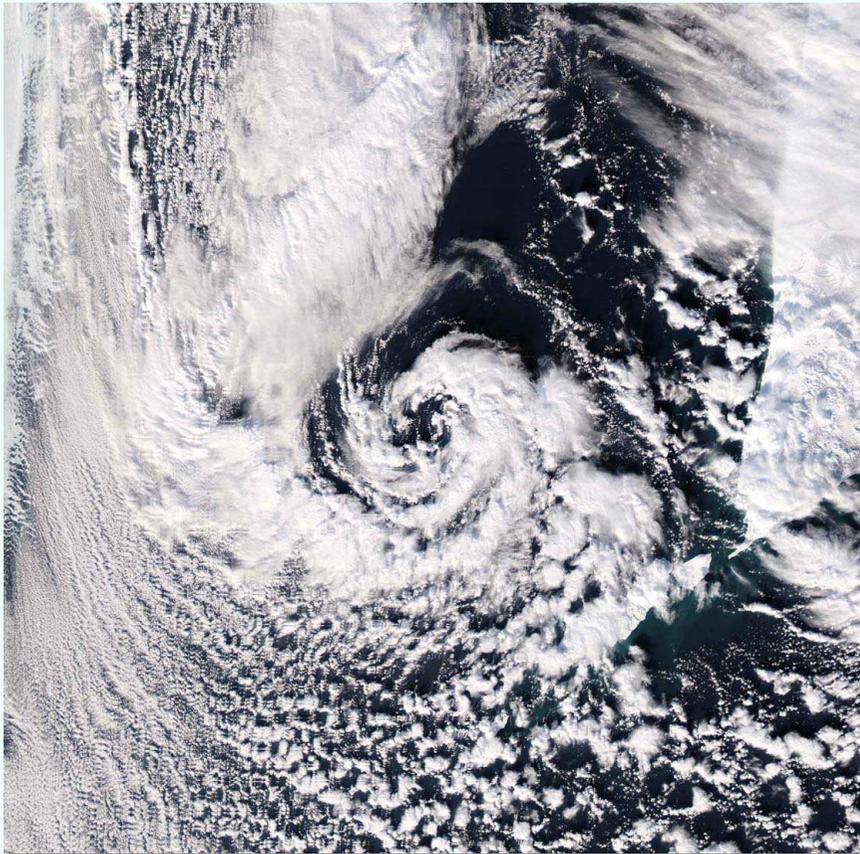


**Исследование характеристик
мезомасштабных циклонов над
дальневосточными морями по данным
спутникового мультисенсорного
зондирования**



И.А. Гурвич, М.К. Пичугин, Л.М. Митник

***Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева ДВО РАН
г. Владивосток***



Aqua MODIS 02:15 Гр. 13 января 2007 г.

- В холодное полугодие над морями высоких широт на спутниковых изображениях часто фиксируются интенсивные мезомасштабные конвективные циклоны (МЦ) размером от 100 до 1000 км с облачной системой в форме запятой или спирали. Жизненный цикл МЦ обычно от 0.5 до 3 суток. Наиболее интенсивные МЦ называют полярными циклонами или полярными ураганами, а из-за взрывного характера формирования – полярными бомбами.
- МЦ зарождаются преимущественно над морской поверхностью в пограничном слое атмосферы на фоне холодного

вторжения к северу, северо-западу от основного тропосферного фронта.

- Безоблачный «глаз» в центре, окружающая его облачная стена и теплое ядро придают им сходство с тропическими циклонами. Общим между МЦ и ТЦ является и то, что те и другие обычно формируются из слияния конвективных облаков в течение начальной стадии развития (S. Businger, B. Walter. Comma cloud development and associated rapid cyclogenesis over the Gulf of Alaska: A case study using aircraft and operational data. *Monthly Weather Review*, V. 116, p. 1103-1123, 1988).

Штормовой ветер, осадки и обледенение судов, обычно сопровождающие интенсивные МЦ, представляют серьезную угрозу для судоходства, рыбного промысла и прибрежного строительства. Происходящие на планете изменения климата, освоение полярных морей, северного морского пути, работы на шельфе делают исследования МЦ еще более актуальными.

Из-за редкой сети стандартных метеорологических наблюдений над морями, взрывного характера формирования и короткого жизненного цикла МЦ обычно не выявляются в поле давления на приземных картах погоды. Поэтому для их диагноза и прогноза незаменимо дистанционное зондирование атмосферы.

Спутниковые изображения в инфракрасном и видимом диапазонах длин волн дают представление о траекториях МЦ и эволюции их облачной системы.

Количественная информация о параметрах атмосферы и океана в МЦ может быть получена путем анализа спутниковых пассивных и активных микроволновых измерений.

Задачи:

- Выполнить статистический анализ мезомасштабного циклогенеза над дальневосточными морями
- Исследовать структуру и гидрометеорологические параметры МЦ на основе анализа:
 - а) изображений, полученных спектрорадиометром *MODIS* со спутников *Terra* и *Aqua* и РЛС с синтезированной апертурой (*РСА*) со спутника *Envisat*;
 - б) полей приводного ветра по данным скаттерометров *QuikSCAT* и *ASCAT* и микроволнового радиометра *AMSR-E*;
 - в) полей паросодержания атмосферы и водозапаса облаков, восстановленных по данным *AMSR-E*
- Исследовать взаимодействие океана и атмосферы в условиях мезомасштабного циклогенеза по спутниковым данным с привлечением данных радиозондов и реанализа

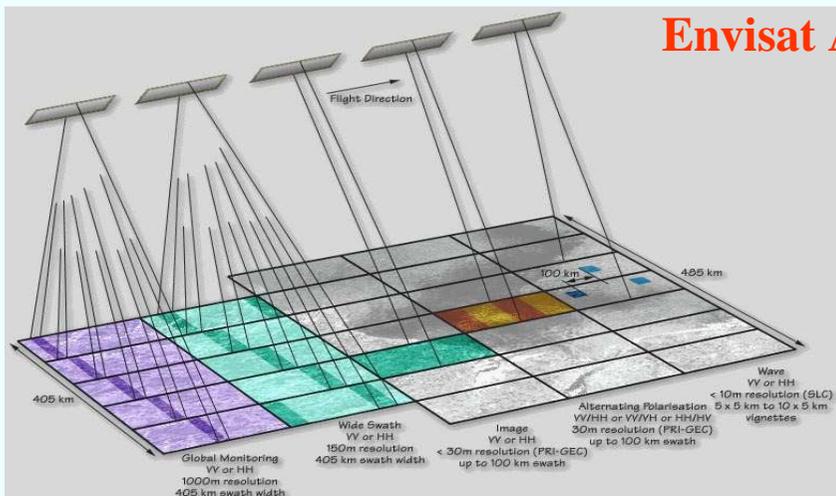
Данные

- видимые и ИК-изображения спектрорадиометра **MODIS** (спутники **Terra** и **Aqua**) и радиометра **AVHRR** (спутники серии **NOAA**) для изучения структуры и характеристик облачности
- яркостные температуры на частотах радиометра **AMSR-E** (спутник **Aqua**) для оценки паросодержания атмосферы и водозапаса облаков и скорости приводного ветра
- поля приводного ветра, восстановленные по измерениям скаттерометров **QuikSCAT** и **ASCAT** (спутник **MetOp**), данные **PCA** (спутник **Envisat**)
- синоптические карты приземного анализа и барической топографии Японского метеорологического агентства (ЯМА) и Корейской метеорологической администрации (КМА), аэрологические данные
- карты реанализа барической топографии, температуры подстилающей поверхности и температуры воздуха Национального центра прогнозирования окружающей среды/ Национального центра изучения атмосферы **NOAA (NCEP/NCAR)**
- данные с сайта <http://oaflux.whoi.edu/index.html> океанографического института в Вудс-Холе (WHOI) о теплообмене между океаном и атмосферой для оценки потоков тепла

Регион и период:

*Японское и Охотское моря, западная часть Берингова моря и северо-западная часть Тихого океана к северу от 47° с.ш. и к западу от 180° в.д.
Холодный период (октябрь-апрель) 2003-2010 гг.*

Envisat ASAR 1 марта 2002 г.



Частота, ГГц	5.3
Длина волны, см	5.6
Поляризация	ВВ, ГГ
Угол падения, град	15-45 (перемен)
Полоса обзора, км	100-405
Разрешение, м	25 x 25 150x150

ASAR – усовершенствованный РСА

Основные характеристики радиометра AMSR-E (4 мая 2002 г.)

AMSR-E - 6-частотный радиометр полной мощности с двумя поляризационными каналами

Сканирование – коническое. Калибровка на каждом скане по горячей нагрузке (≈ 300 К) и космическому реликтовому излучению (≈ 3 К).

Центр. частота, ГГц	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5			89.0	89.0
								А	В
Ширина полосы, МГц	350	100	200	400	1000			300	
Поляризация	вертикальная и горизонтальная							В и Г	
Ширина луча (ЗдБ)	1.8	1.2	0.65	0.75	0.35			0.15	0.15
Разрешение, км x км	40x70	27x46	14x25	17x29	8x14			3x6	
Инт. выборки, км x км	10x10							5x5	
Темпер. чувствит., К	0.34	0.7	0.7	0.6	0.7			1.2	
Угол падения, град.	55.0							54.5	
Динам. диапазон, К	2.7 - 340								
Полоса обзора, км	Примерно 1450								
Цикл сканиров., сек	1.5								



Скаттерометр **QuikSCAT**

Радар: частота **13.4 ГГц**

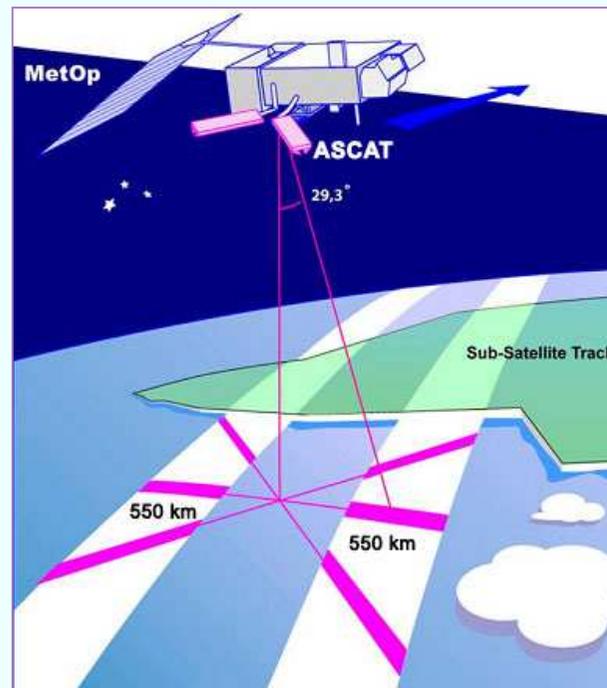
Ширина полосы обзора **1800 км**

покрывает **≈ 90 %** площади океана каждый день

Скорость ветра: **3-20 м/с**,
точность **2 м/с**;

Направление ветра:
точность **20 градусов**.

Разрешение вектора ветра
25 км (12.5 км).



Скаттерометр **ASCAT** (спутник **MetOp**)

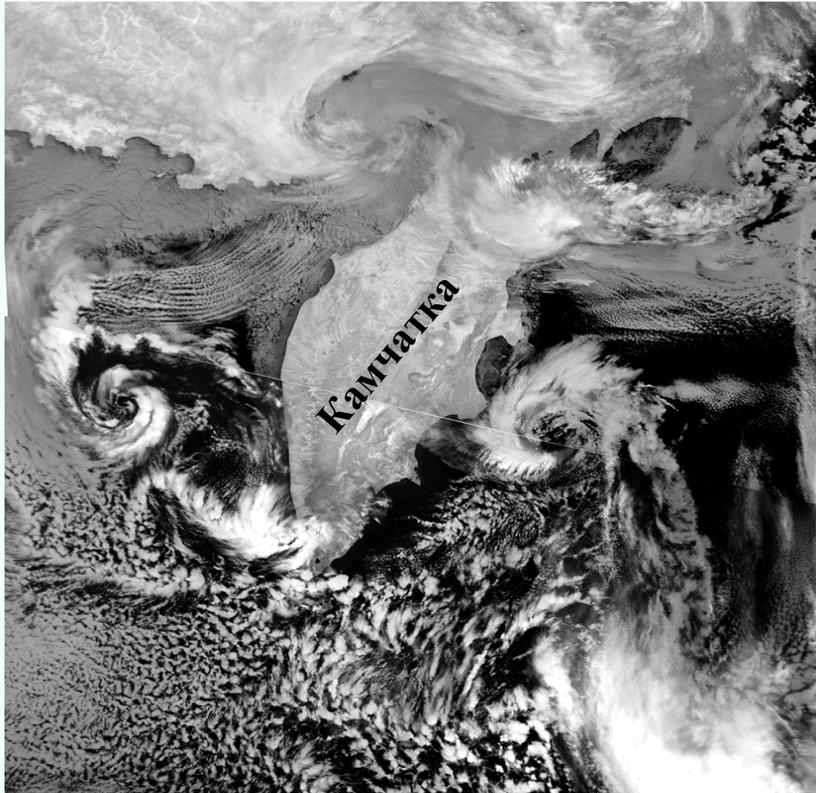
Радар: частота **5.255 ГГц**

Ширина полосы обзора **2x550 км**

Скорость ветра **2-20 м/с**,
точность **2 м/с**;

Направление ветра:
точность **20 градусов**.

Разрешение вектора ветра
50 км (25 км).



Aqua MODIS 15:30 Гр. 13 февраля 2006 г.

Дальневосточные (ДВ) моря

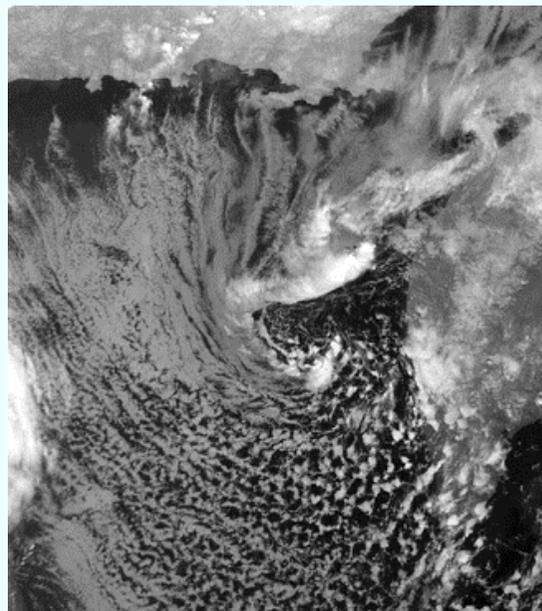
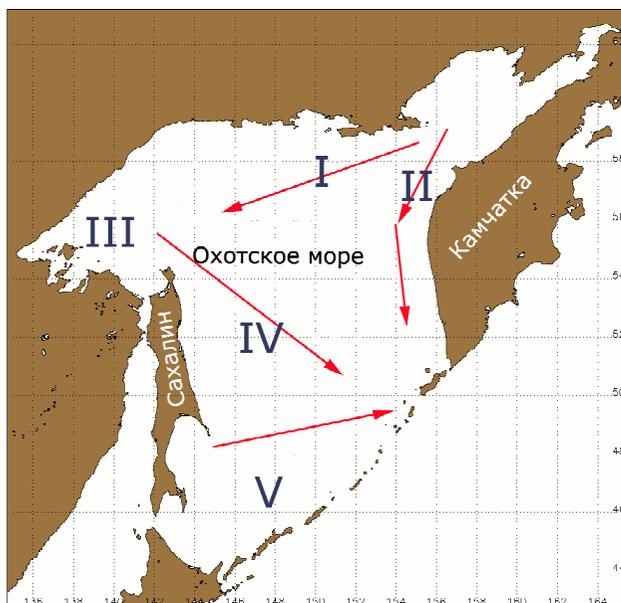
являются одним из малоизученных районов активного мезомасштабного циклогенеза. В холодный период года, во время действия зимнего муссона, в результате увеличения термических контрастов между сушей и морем обостряется взаимодействие атмосферы и океана. При соприкосновении сухой и холодной континентальной воздушной массы с относительно теплой морской поверхностью ее неустойчивость

резко возрастает, что приводит к бурному развитию конвекции в пограничном слое

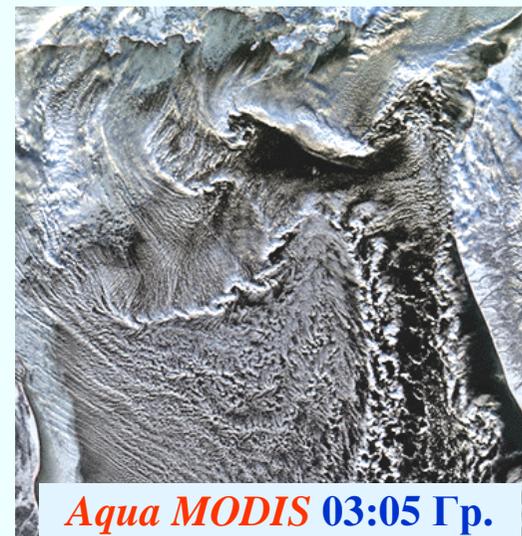
атмосферы, выраженной в образовании **конвективных гряд, ячеек и интенсивных мезомасштабных циклонов.**

При общих с другими регионами синоптических условиях, мезомасштабный циклогенез над ДВ морями имеет свои характерные особенности. Районы локализации МЦ в большой степени зависят от орографических особенностей побережья Дальнего Востока и температурного режима морей.

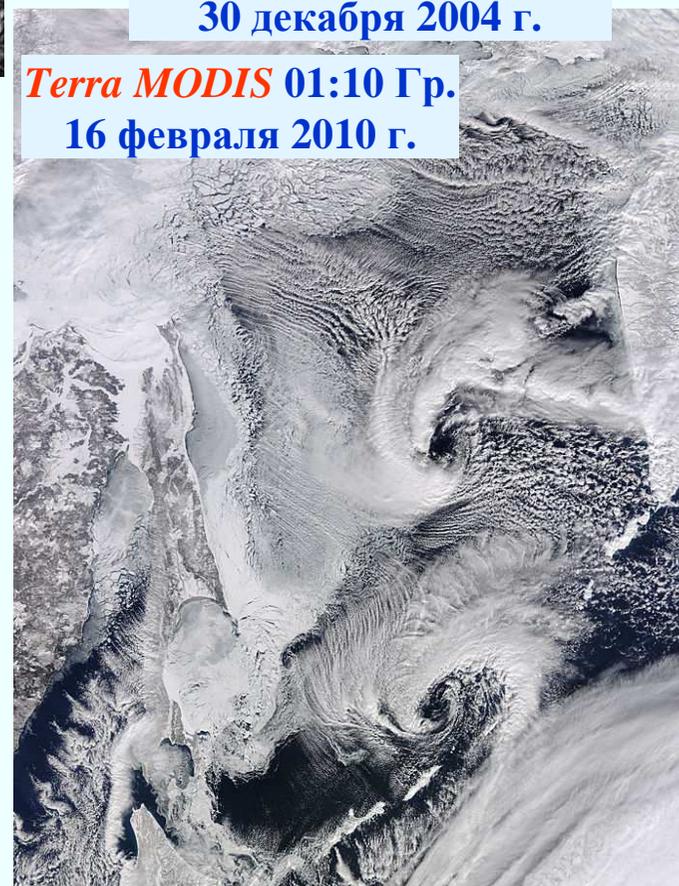
Охотское море



Aqua MODIS 02:15 Гр.
20 ноября 2004 г.

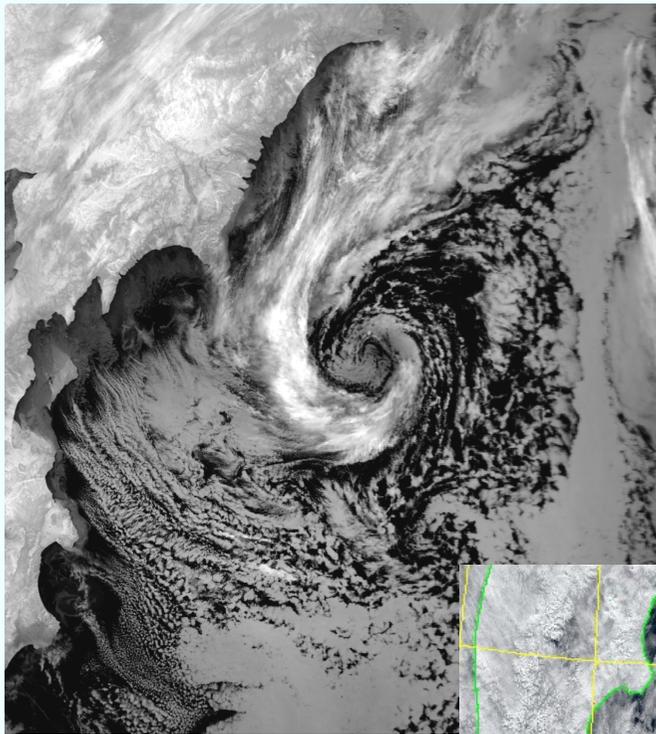


Aqua MODIS 03:05 Гр.
30 декабря 2004 г.



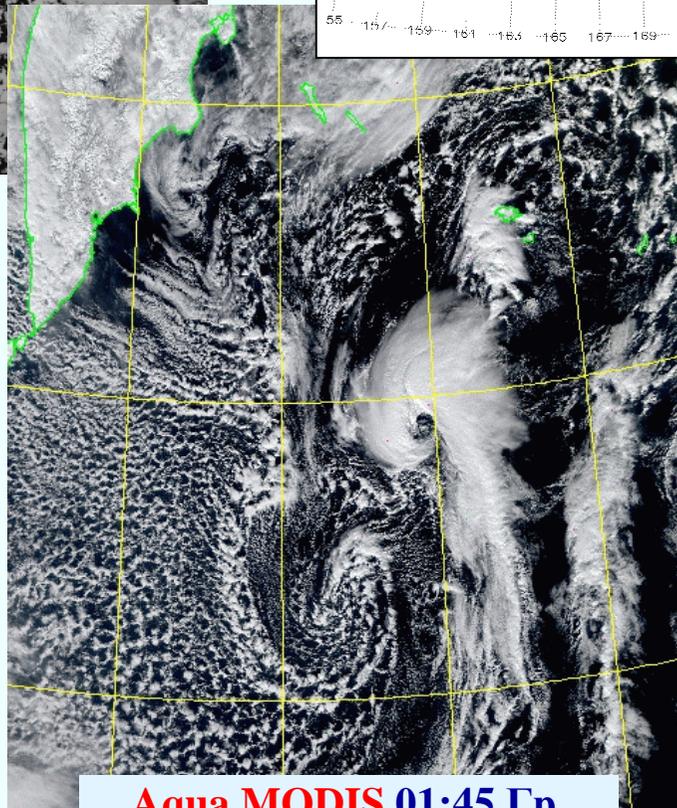
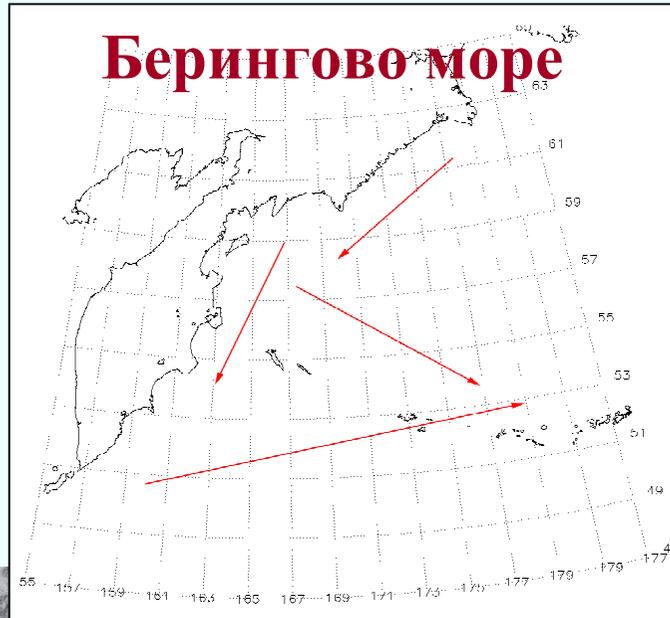
Terra MODIS 01:10 Гр.
16 февраля 2010 г.

МЦ над Охотским морем формируются в североохотской ложбине и в стационарной ложбине вдоль западного побережья Камчатки, вблизи холодного побережья или ледовой кромки, в юго-западной части Охотского моря. Часть МЦ смещается в Охотское море из Татарского пролива. Из ДВ морей Охотское море является самым ледовитым. Районы зарождения МЦ отодвигаются от побережья по мере распространения кромки льда.

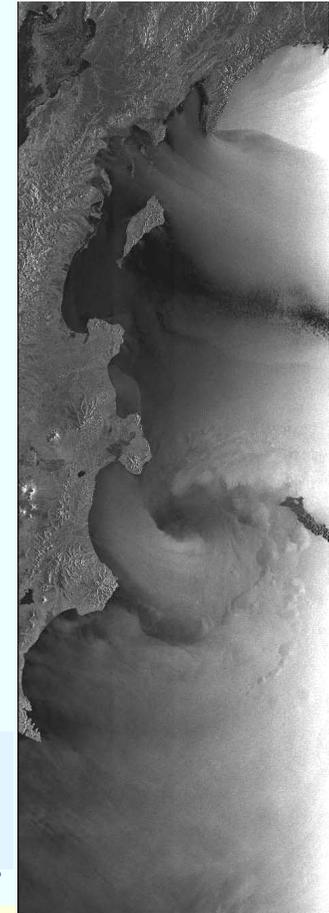


Aqua MODIS 15:25 Гр.
11 апреля 2006 г.

Большую роль в образовании МЦ играет радиационное выхолаживание Камчатки и стоковые ветры.



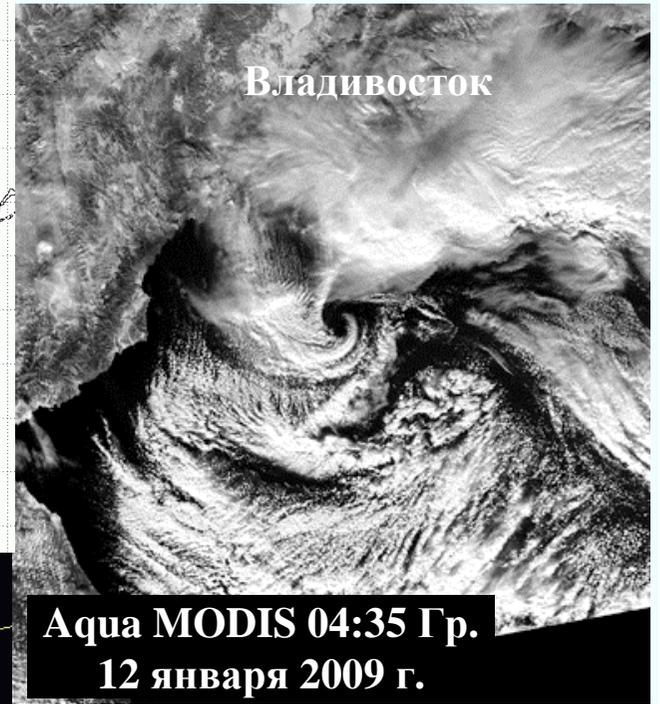
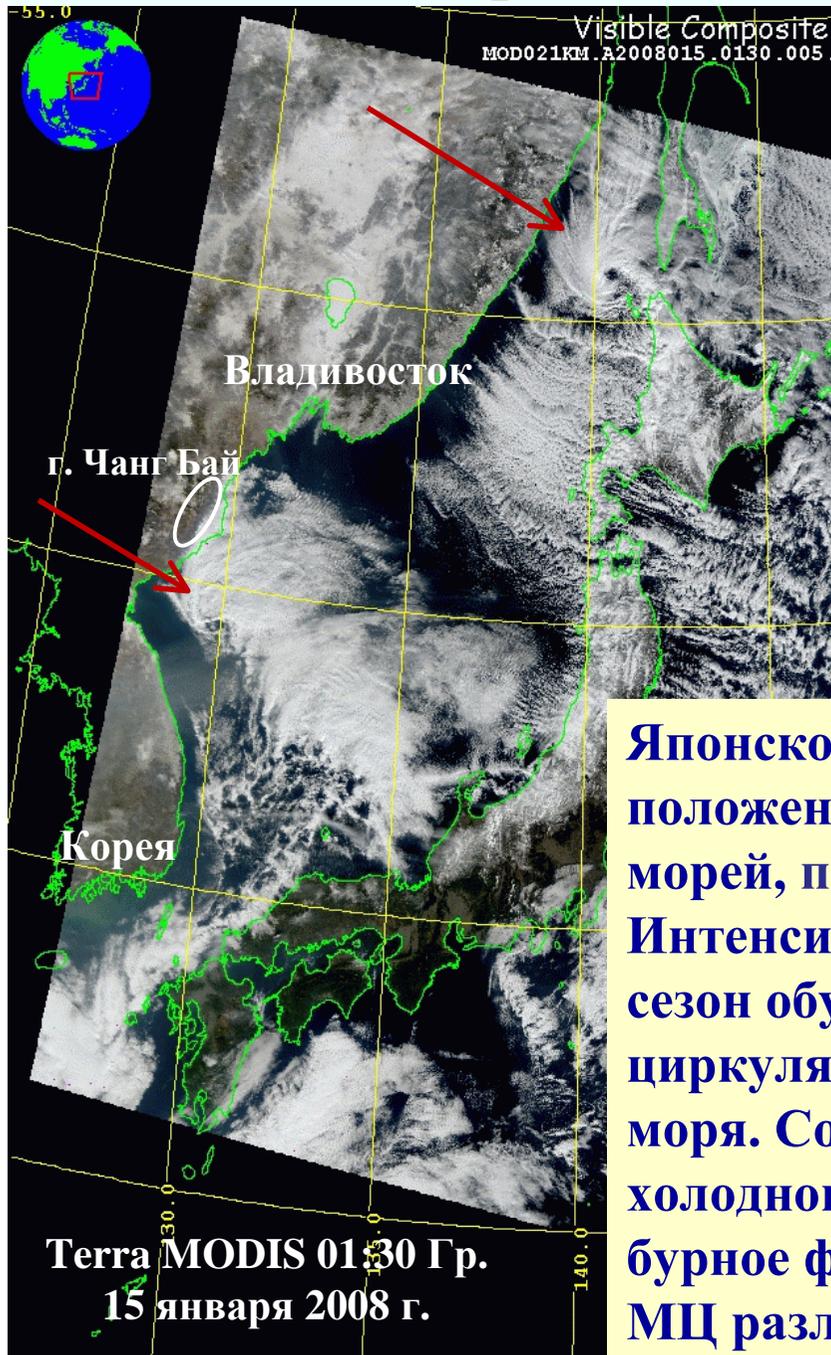
Aqua MODIS 01:45 Гр.
29 января 2008 г.



ASAR Envisat 23:27 Гр.
19 ноября 2004 г.

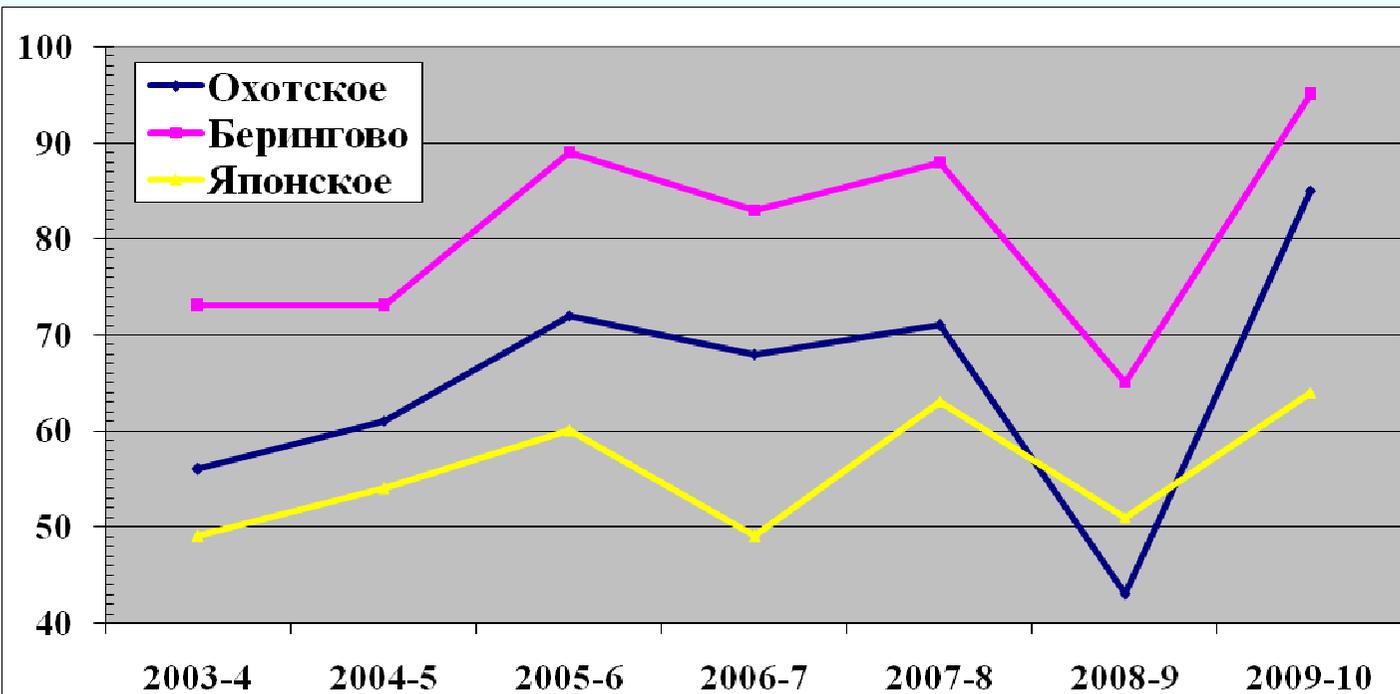
В Беринговом море МЦ в основном формируются у ледовой кромки и вдоль восточного побережья Камчатки. Часто формирование МЦ связано с фронтами окклюзии и высотными мезовихрями.

Японское море

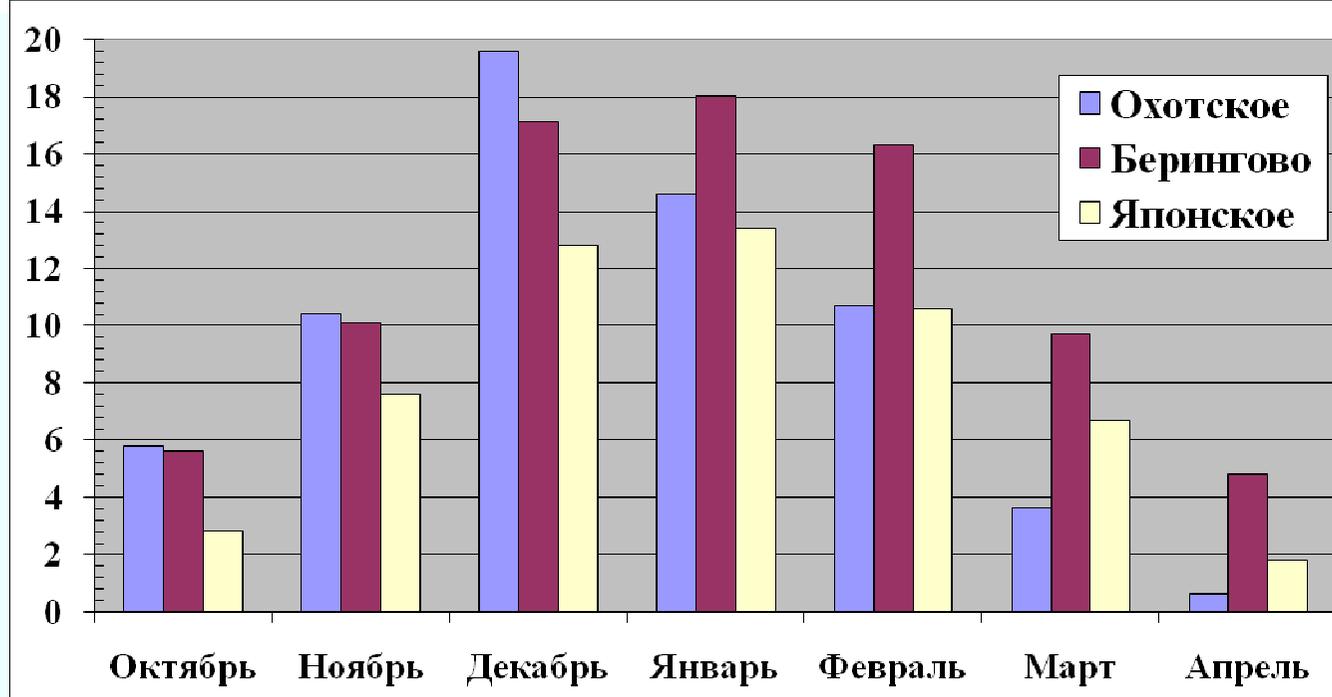


Японское море по своему географическому положению не относится к северным морям. Из ДВ морей, примыкающих к России, оно самое теплое. Интенсивная конвективная деятельность в зимний сезон обусловлена здесь особенностями муссонной циркуляции атмосферы и температурного режима моря. Соприкосновение с его поверхностью очень холодного сухого воздуха с континента вызывает бурное формирование конвективных гряд, ячеек и МЦ различных размеров и интенсивности.

Распределение мезоциклонов по годам

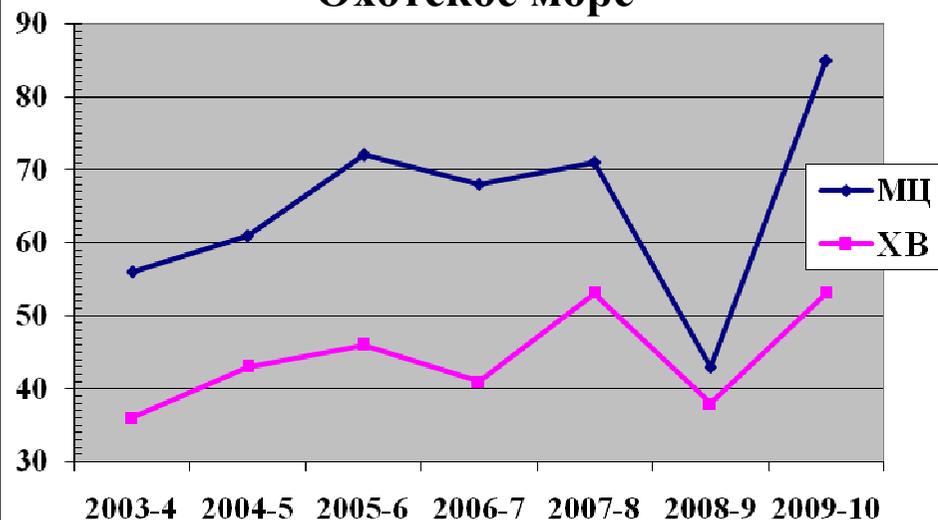


Распределение мезоциклонов по месяцам

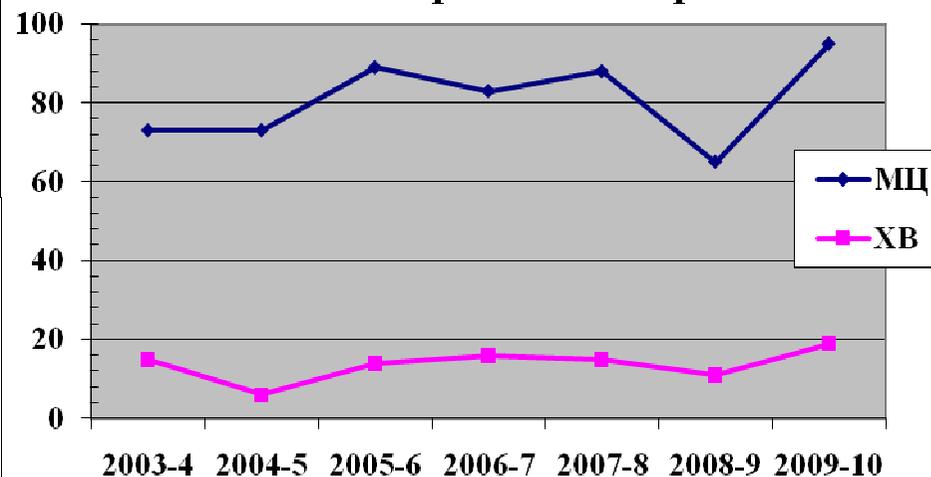


Зависимость количества мезоциклонов от суммарной продолжительности холодных вторжений

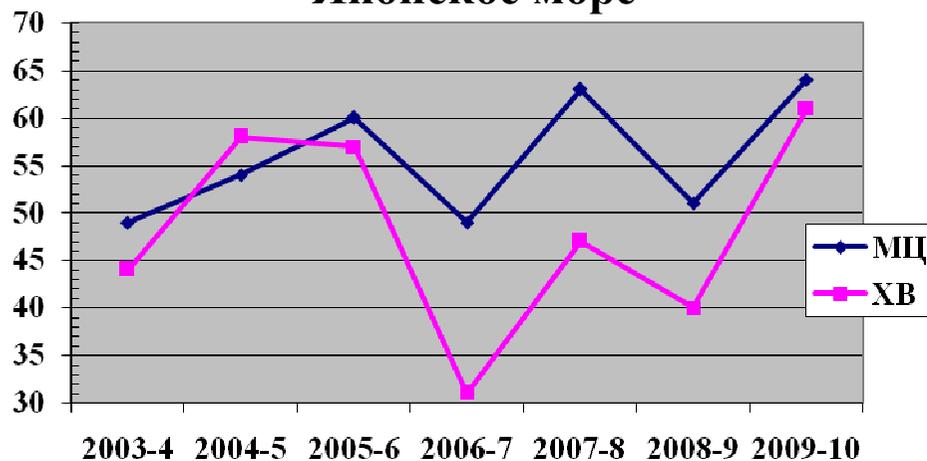
Охотское море



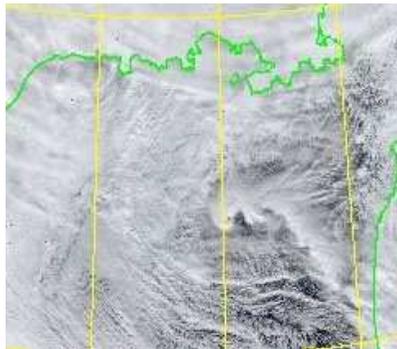
Берингово море



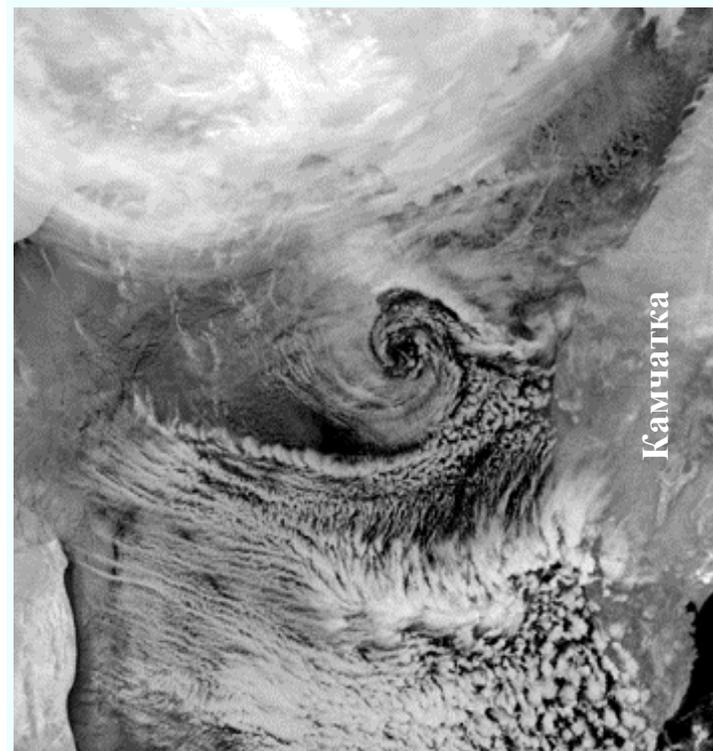
Японское море



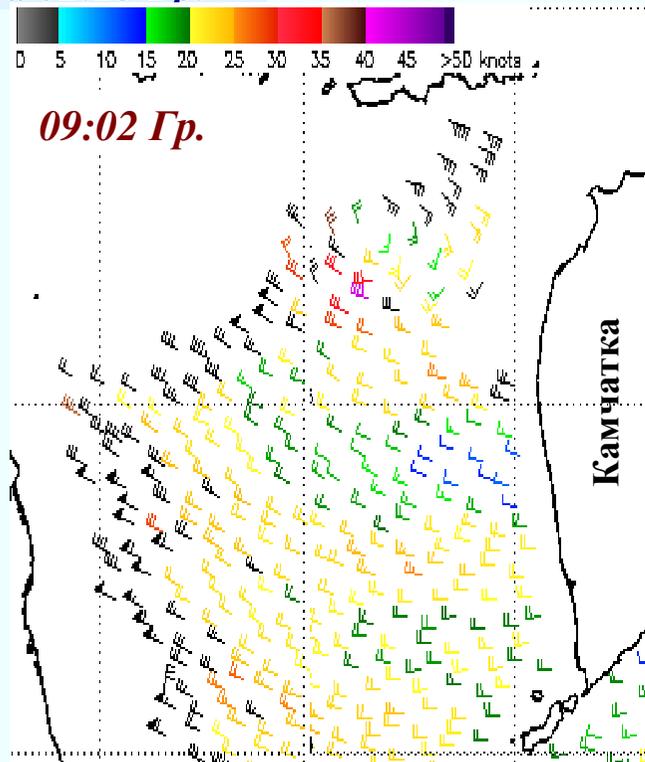
**Мезоциклон спиральной формы у
ледовой кромки над Охотским морем
19 февраля 2009 г. Размер ≈ 250 км.**



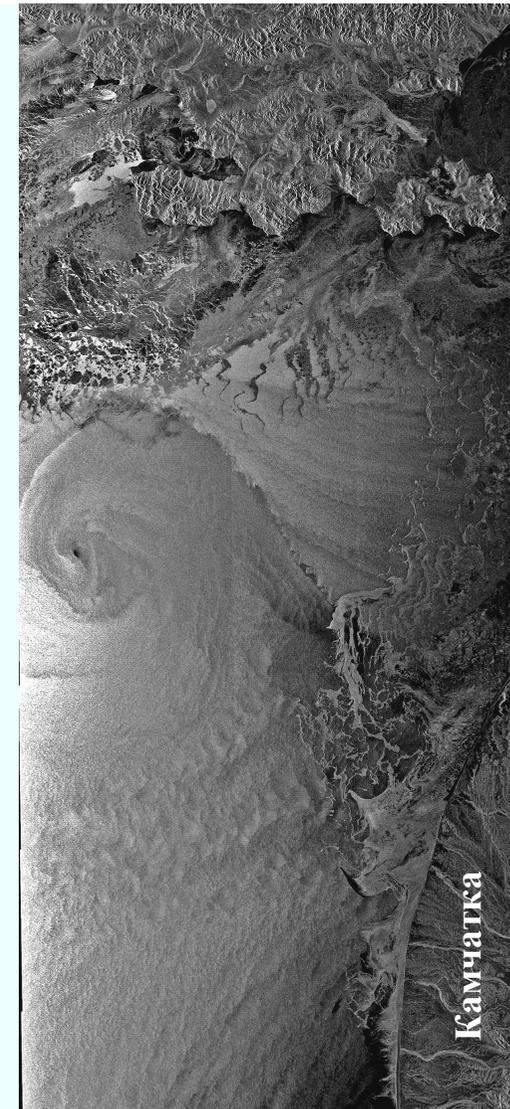
**Видимое изображение MODIS
(спутник Aqua) за 02:25 Гр.**



**ИК-изображение MODIS
(спутник Terra) за 11:45 Гр.**



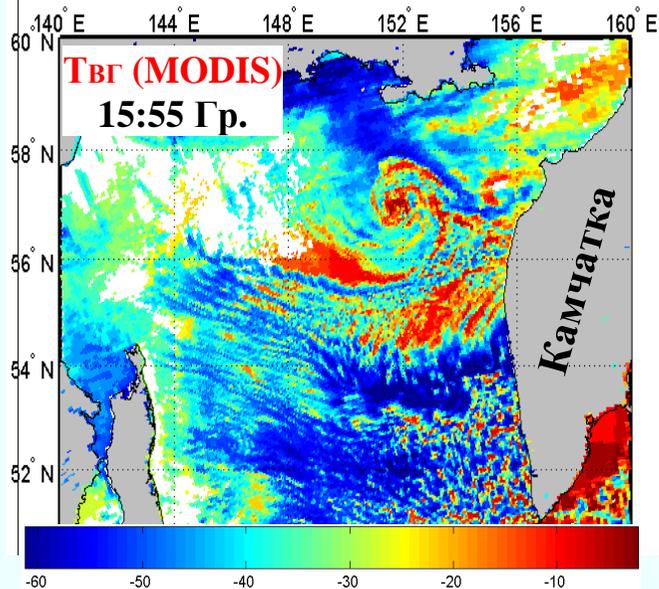
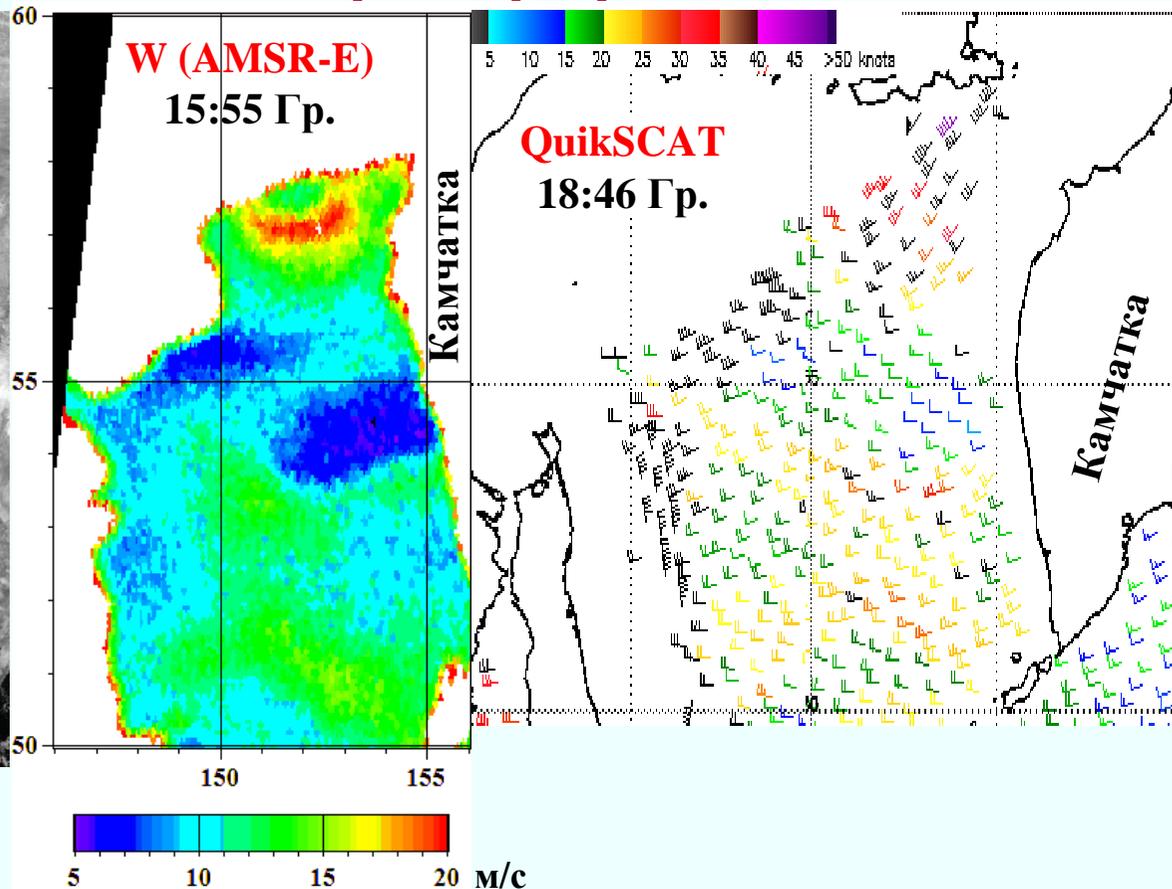
**Поле приводного ветра по
данным скаттерометра
QuikSCAT за 09:02 Гр.**



**Изображение ASAR
(спутник Envisat)
за 11:15 Гр.**

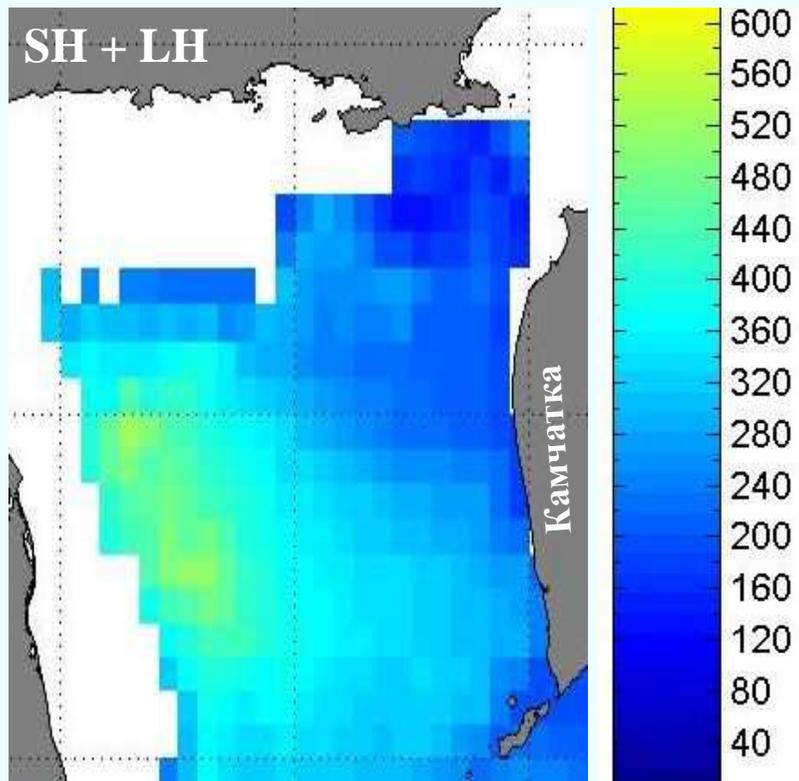
Горизонтальный градиент скорости приводного ветра по данным QuikSCAT ≈ 13 м/с на 80 км, по данным PCA (Envisat) ≈ 13 м/с на 40 км.

Мезоциклон в Охотском море 19 февраля 2009

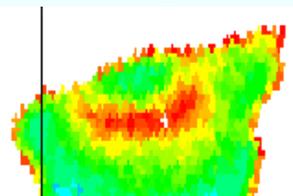


Максимальные скорости приводного ветра W по данным AMSR-E за 15:55 Гр. и скаттерометра QuikSCAT за 18:46 Гр. близки и составляют 15-20 м/с.

Высота верхней границы (ВГ) облаков по данным MODIS (спутник Terra) за 11:45 Гр. примерно 2.5 км, в северо-восточном секторе МЦ и на отдельных участках облачных спиралей до 5 км.



**Среднесуточные турбулентные потоки тепла из океана в атмосферу $\approx 300 \text{ Вт/м}^2$.
Потоки явного тепла (SH) преобладают над потоками скрытого (LH).**



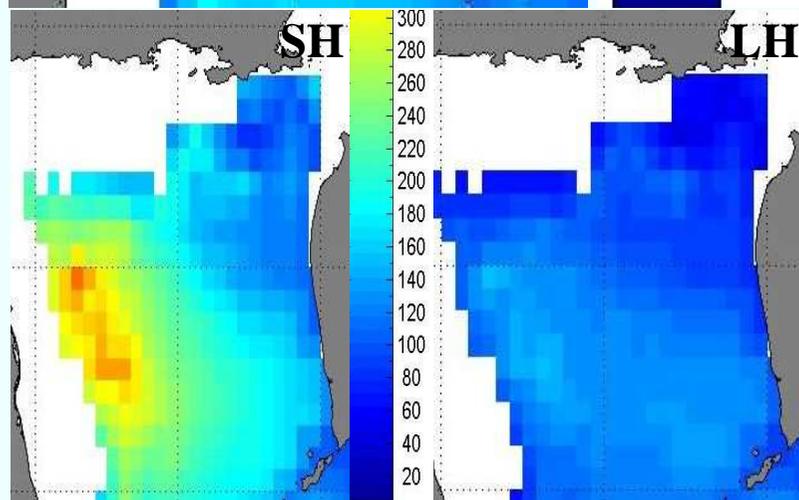
Потоки, рассчитанные по балк-формулам для зоны максимальных ветров в южном секторе МЦ (56.5 - 57.5 с.ш., 151-154 в.д.)

Bulk method

$$\text{LHF} = \rho L C_e U (q_s - q)$$

$$\text{SHF} = \rho C_p C_h U (T_s - T)$$

LHF: Latent Heat Flux
SHF: Sensible Heat Flux
w: vertical wind speed
U: scalar horizontal wind
q: air specific humidity
T: air temperature
qs: saturate specific
Ts: sea surface temperature
 ρ : air density
L : latent heat of water
Cp : specific heat of air
Ce: bulk transfer coef. for LHF
Ch: bulk transfer coef. for SHF

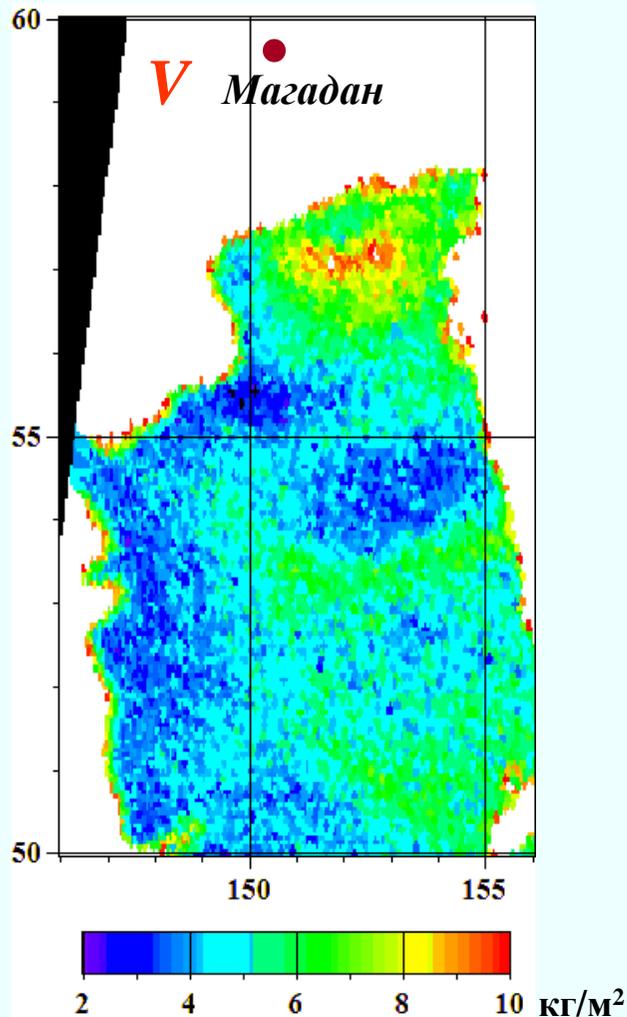


	LH		SH		LH + SH	
Долгота	151	154	151	154	151	154
C.W. Fairall	-100	+40	-320	-200	-420	-160
	-40		-250		-290	
W.G. Large	-100	+40	-410	-190	-510	-150
	-30		-280		-320	

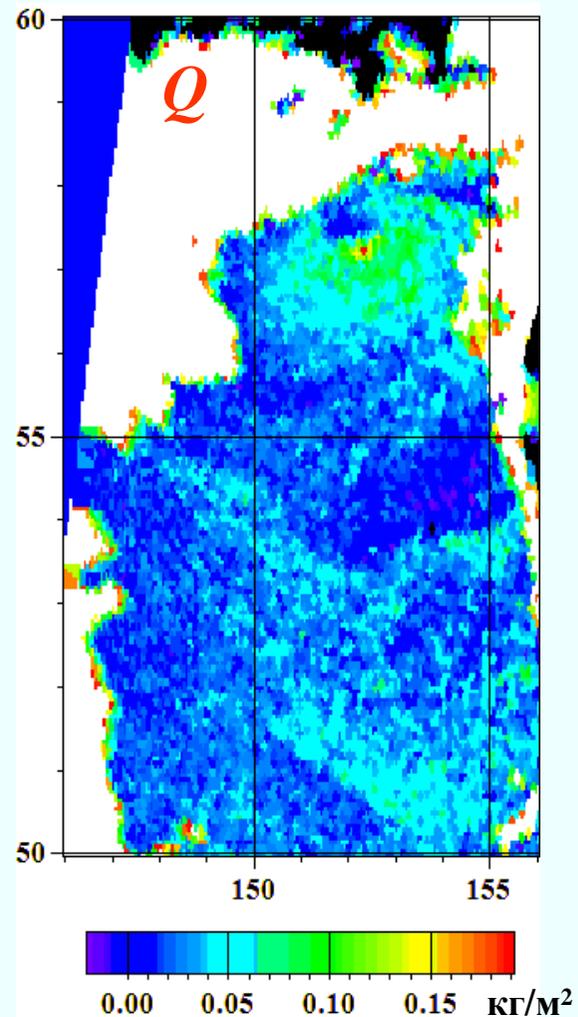
C. W. Fairall et. al. Bulk Parameterization of Air–Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm. *J. of Climate*. 2003. V. 16. P. 571-591.

W.G. Large, S. Pond. Sensible and latent heat flux measurements over the ocean. *J. Phys. Oceanography*. 1982. V. 12. P. 464-482.

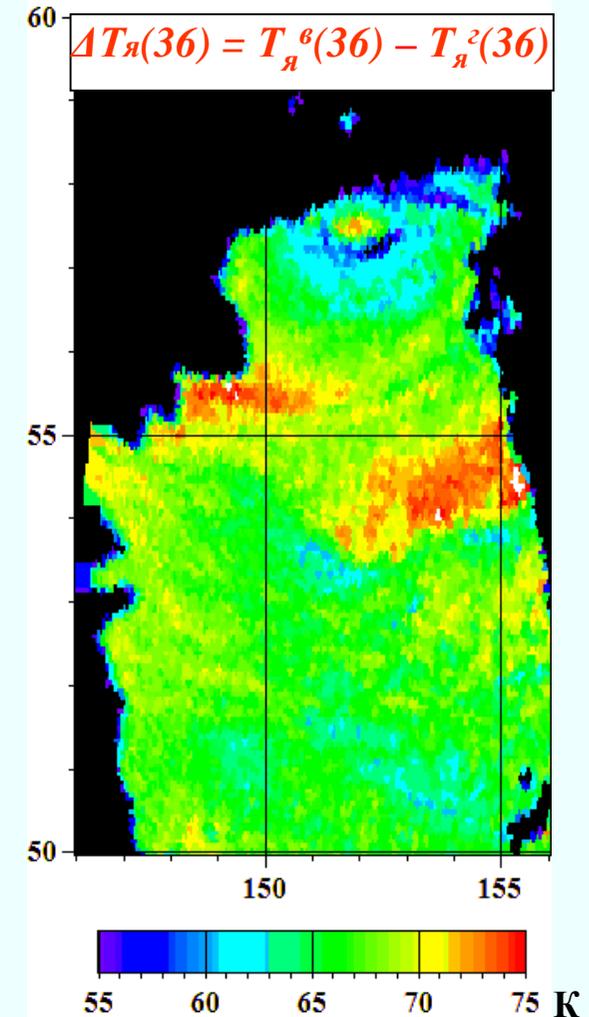
Поля паросодержания атмосферы V , водозапаса облаков Q и $\Delta T_{я}(36) = T_{я}^6(36) - T_{я}^2(36)$ по данным радиометра *AMSР-E* (спутник *Aqua*) за 15:55 Гр. 19 февр. 2009 г.



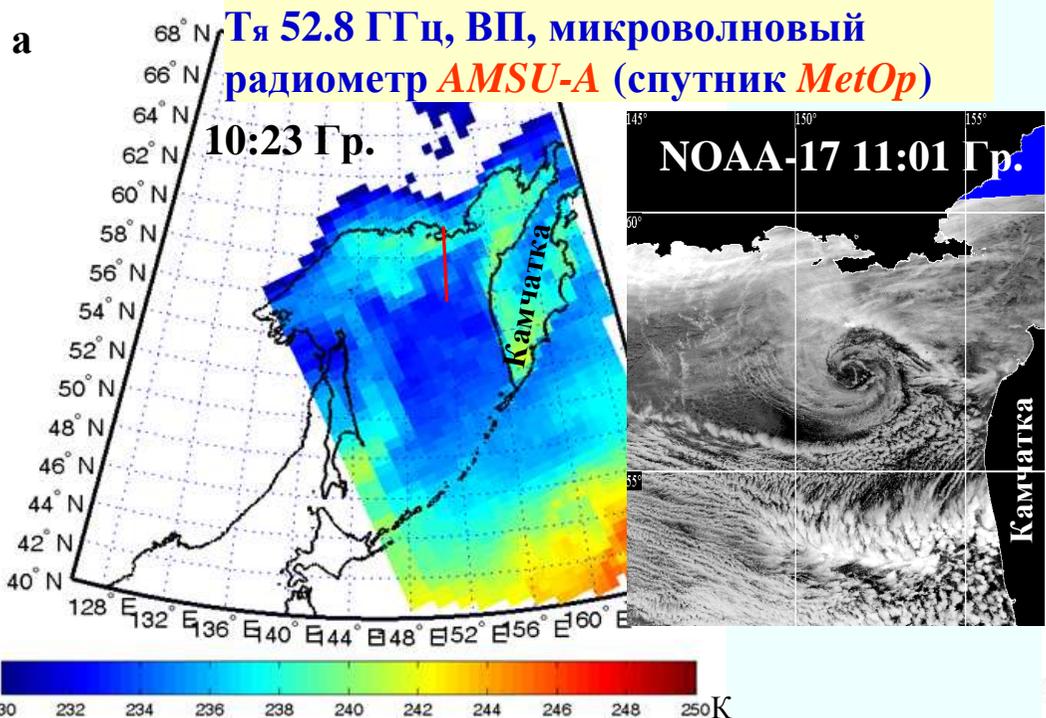
$V_{\text{КВМ}}$ по данным р/з $\approx 2 \text{ кг/м}^2$
 V фона $\approx 3-5 \text{ кг/м}^2$.
 $V_{\text{МЦ}} \approx 6-7 \text{ кг/м}^2$, в южном секторе $8-10 \text{ кг/м}^2$;



$Q \approx 0.1 \text{ кг/м}^2$, местами $Q > 0.15 \text{ кг/м}^2$,
 возможны слабые осадки



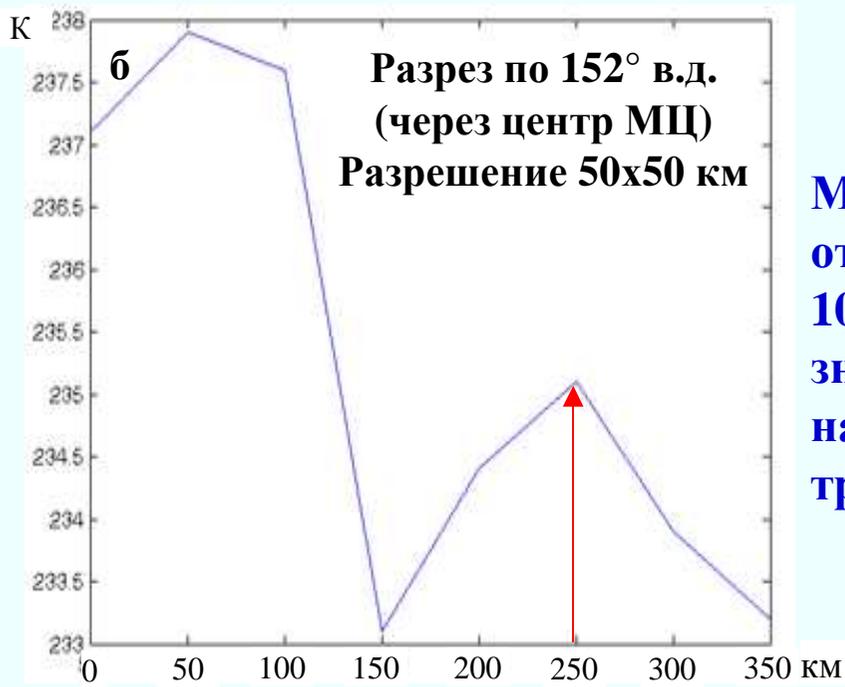
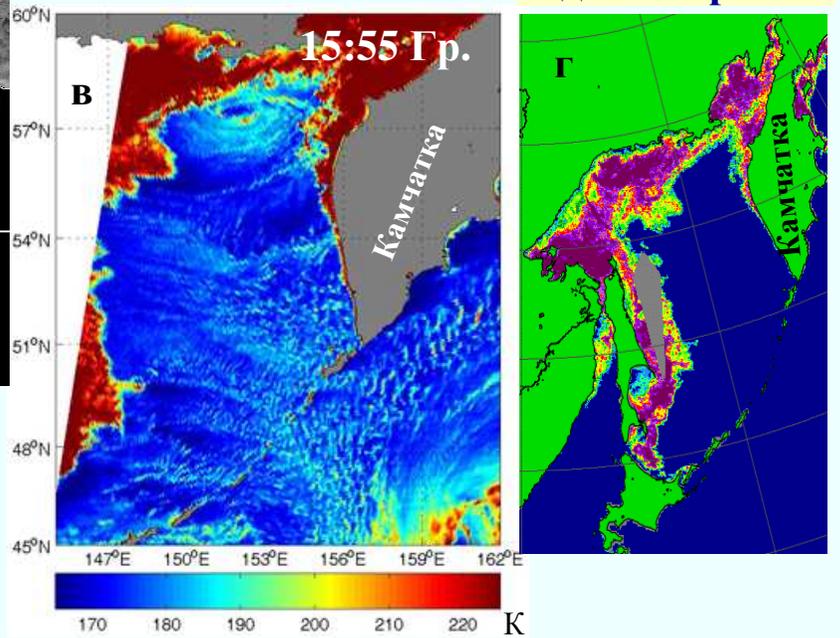
В центре МЦ воздух сухой ($V \approx 5-6 \text{ кг/м}^2$, $Q \approx 0 \text{ кг/м}^2$);
 $\Delta T_{я}(36) \approx 72 \text{ К}$



Тя 89 ГГц, ГП, микроволновый радиометр **AMSR-E** (спутник **Aqua**)

<http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amsrdata/>

Положение ледовой кромки



Максимальная яркостная температура над открытым морем (расстояние от кромки льда – 100 - 120 км) = **235 К** (на **1,5 - 2 К** выше фоновых значений) (б). Всплеск **Тя**, вероятно, связан с наличием теплого ядра в МЦ в нижней тропосфере.

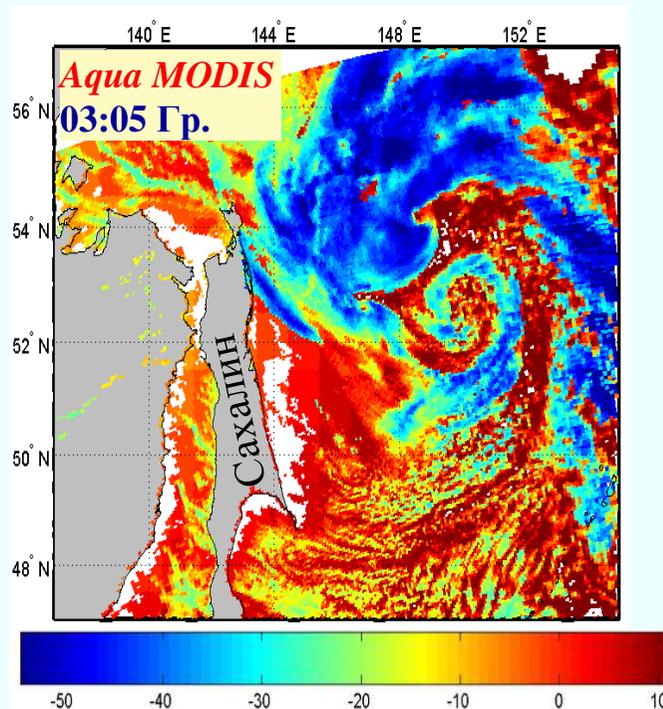
Goldberg M.D., Crosby D.S., Zhou L. The Limb Adjustment of AMSU-A Observations: Methodology and Validation. *J. Appl. Meteorology*. 2001. V. 40. P. 82.

Видимое изображение



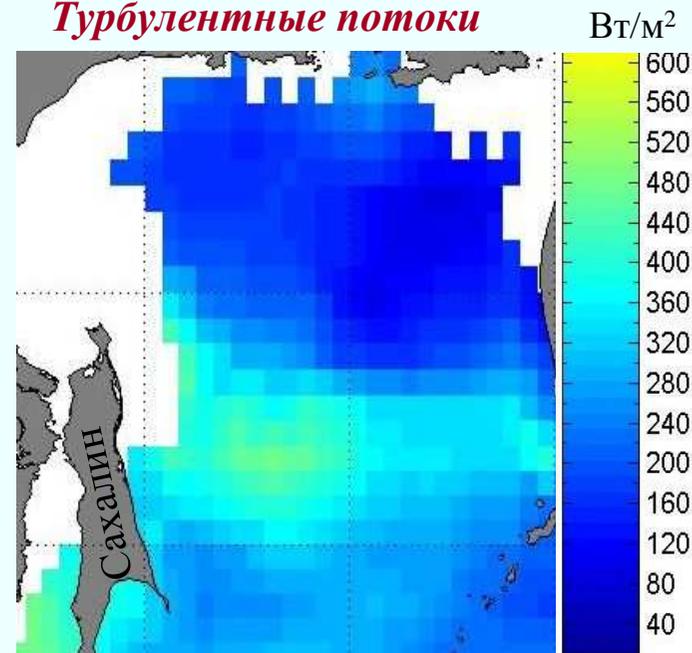
Aqua MODIS 03:05 Гр.

Температура ВГ облаков

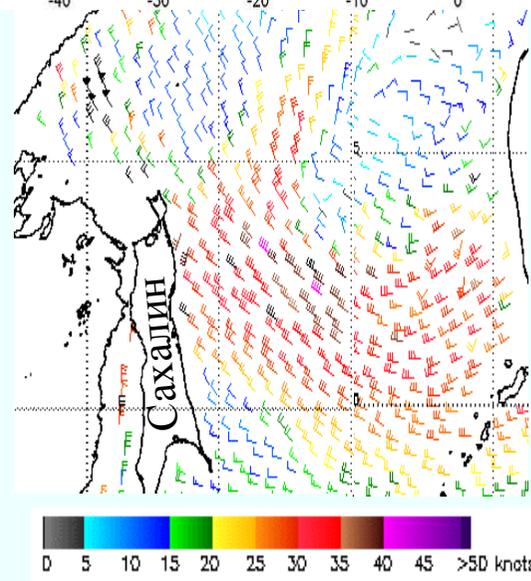
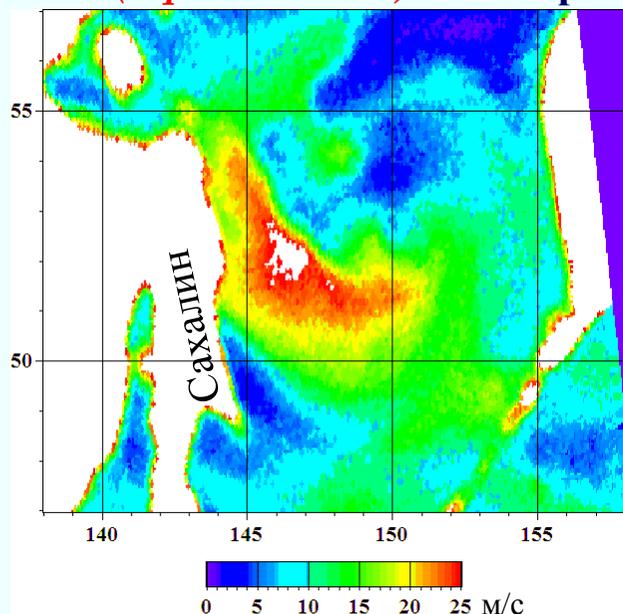


Aqua MODIS 03:05 Гр.

Турбулентные потоки



W (Aqua AMSR-E) 03:05 Гр.

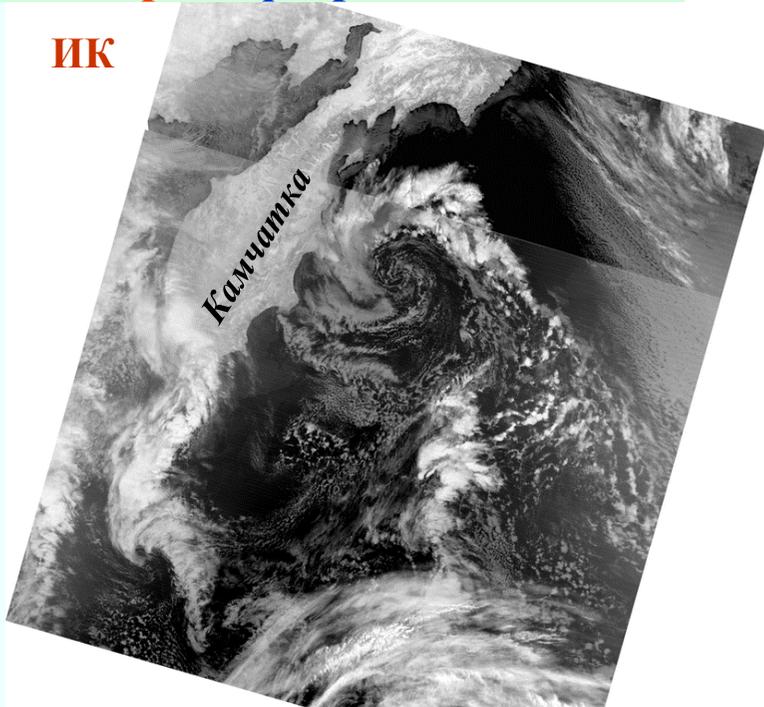


QuikSCAT 18:46 Гр.

Более интенсивный мезоциклон в Охотском море 4 декабря 2006 г. Потоки тепла в области южного вихря составляют **400 W/m^2** , в зоне, где конвекция проникает примерно до **4.5 км**, достигают значений **480 W/m^2** . Скорости приводного ветра **W** в этом районе по данным **AMSR-E** и **QuikSCAT** составляют **20-25 м/с**.

ИК-изображение MODIS,
паросодержание атмосферы V и
водозапас облаков Q по данным
AMSR-E (спутник *Aqua*) за
15:15 Гр. 12 февраля 2010 г.

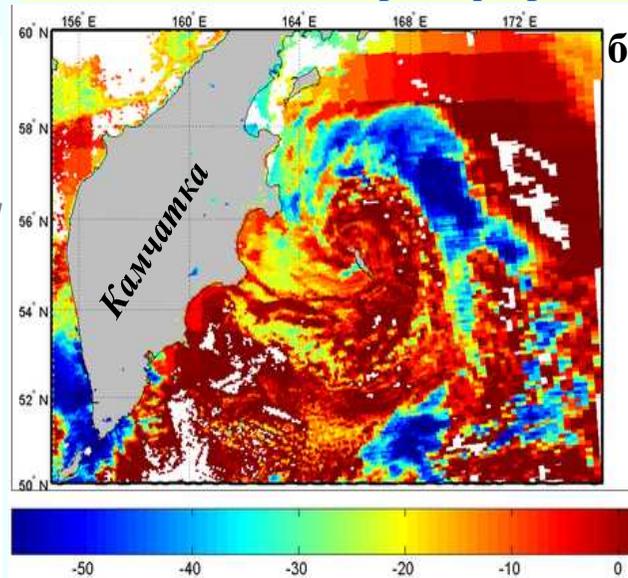
ИК



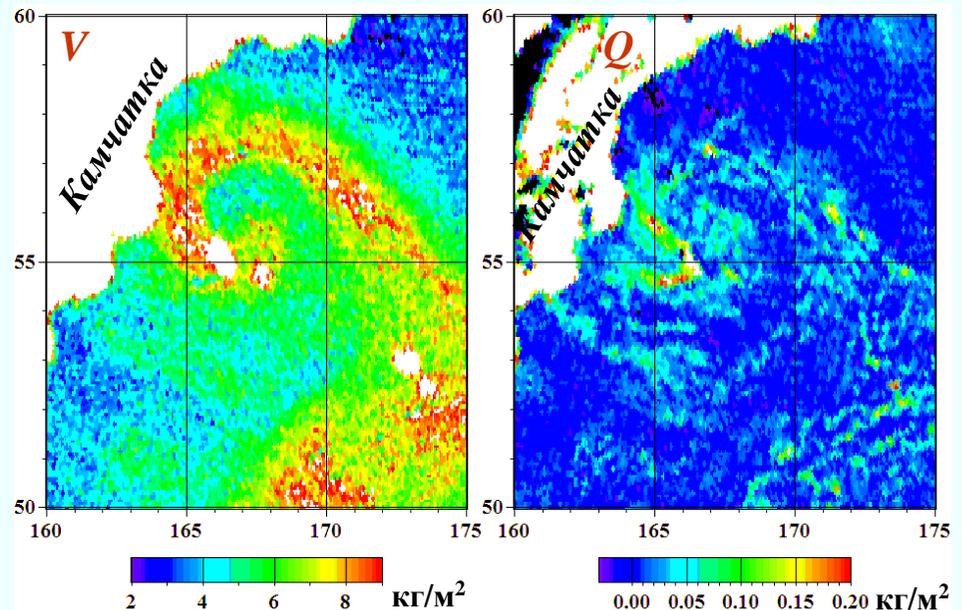
V *квм* по данным $p/3 \approx 3 \text{ кг/м}^2$, V в МЦ $\approx 5-7 \text{ кг/м}^2$, фон $\approx 4 \text{ кг/м}^2$, центральная часть $4-5 \text{ кг/м}^2$, V_{max} в облачной спирали $8-9 \text{ кг/м}^2$.
 $Q = 0.05-0.1 \text{ кг/м}^2$ с отдельными вкраплениями $> 0.2 \text{ кг/м}^2$, вероятны слабые осадки.

Мезоциклон над Беринговым морем 12 февраля 2010 г. Размер $\approx 500 \text{ км}$.

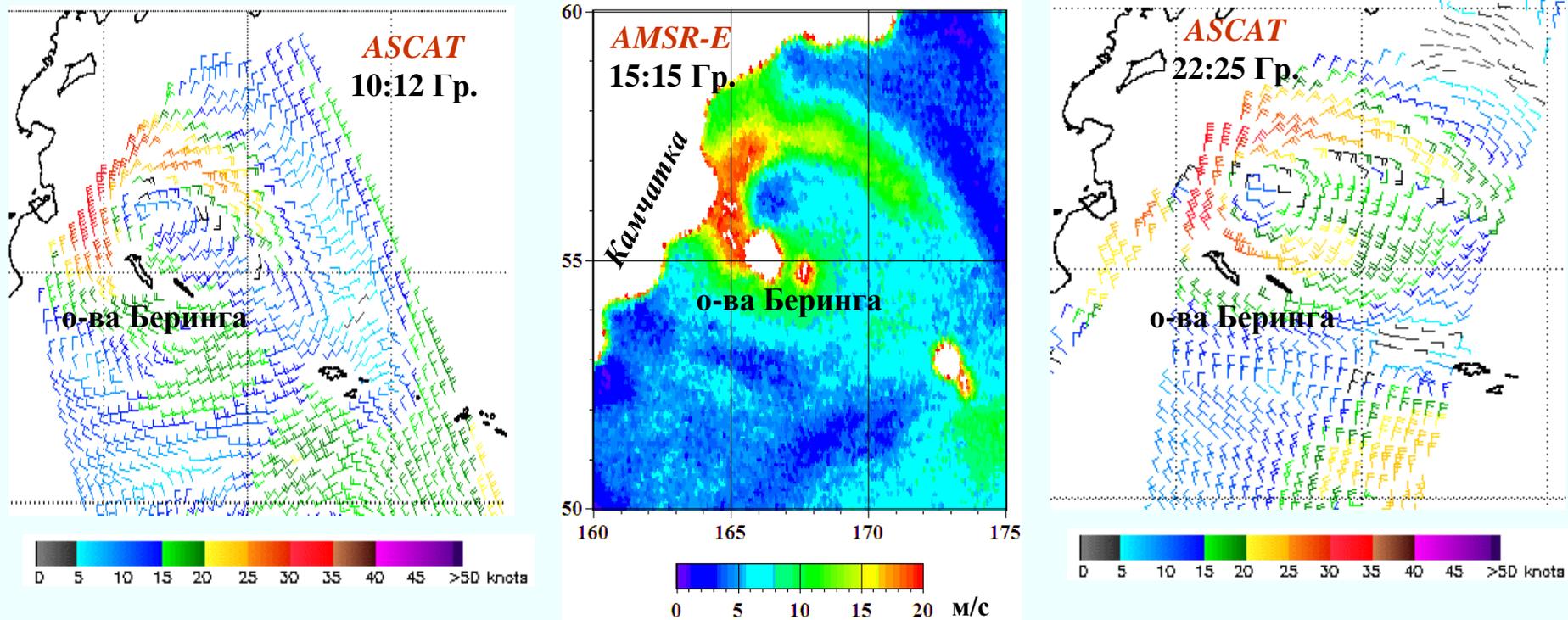
Температура верхней границы облаков:
Terra MODIS 11:05 Гр. 12 февраля 2010 г.



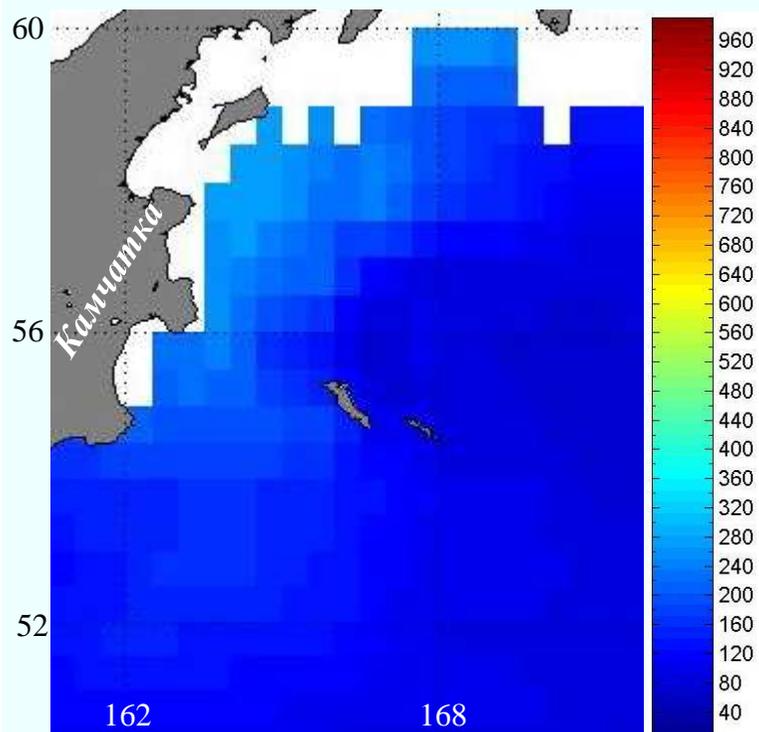
ВГ облаков в юго-западном секторе МЦ **2-3 км**. В северо-восточном секторе конвекция местами проникает до **5 км**.



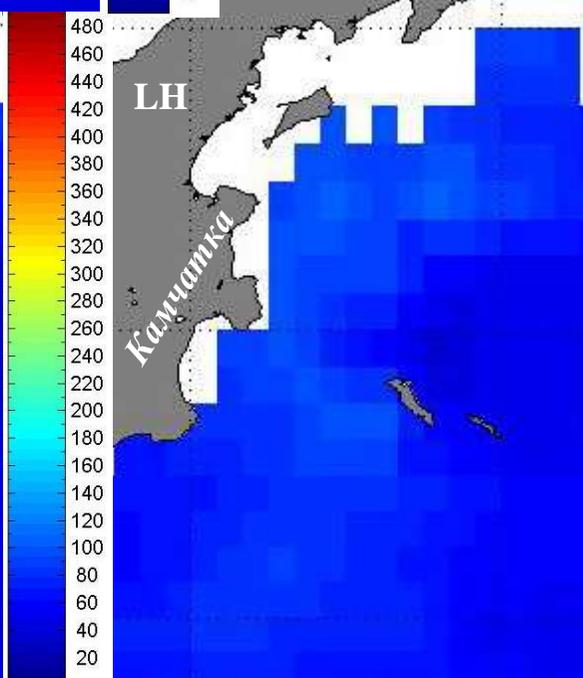
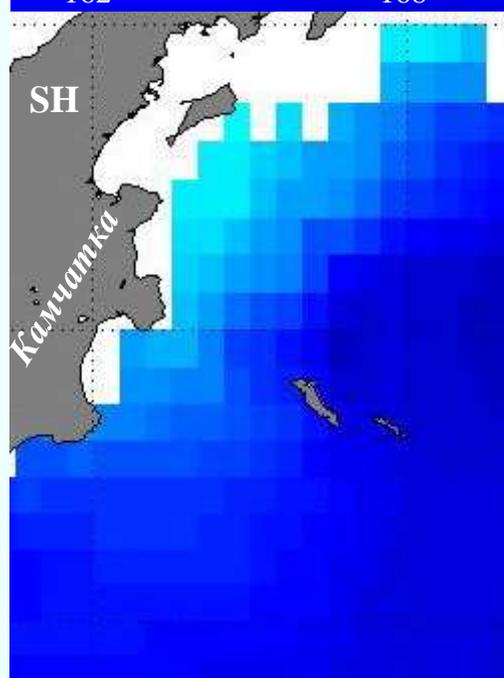
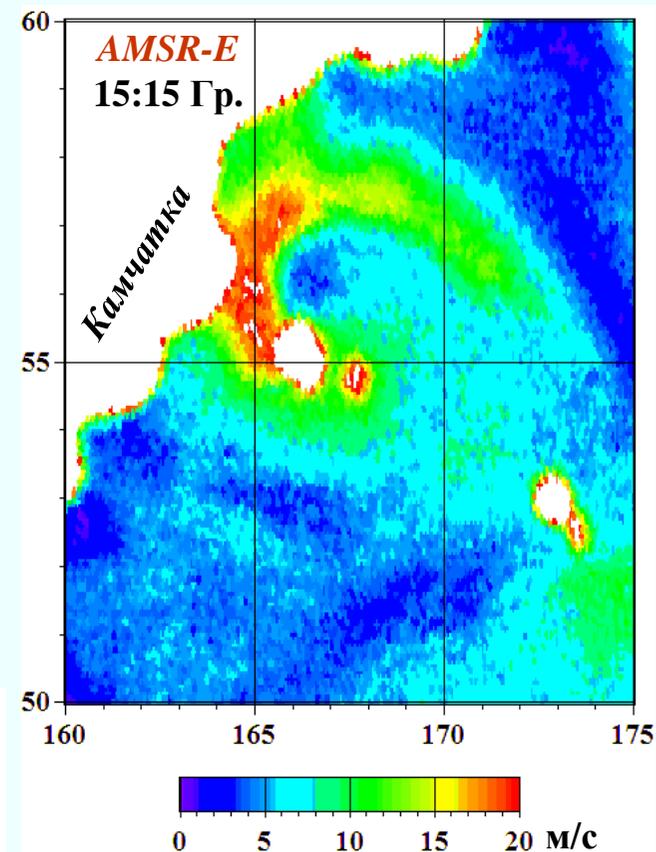
Мезоциклон над Беринговым морем 12 февраля 2010 г.



Последовательность полей приводного ветра, восстановленных по данным скаттерометра *ASCAT* и радиометра *AMSR-E*. Максимальная скорость приводного ветра **15-20 м/с**. Прослеживается эволюция мезоциклона.

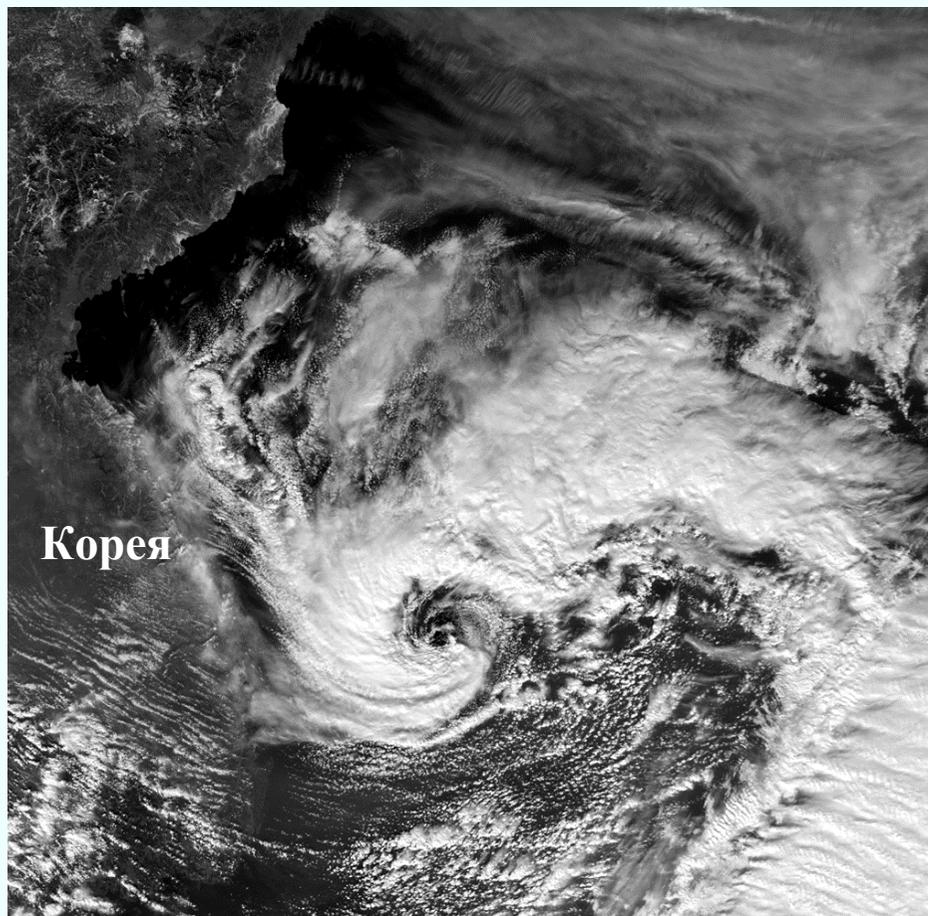


**Среднесуточные
турбулентные
потоки тепла из
океана в
атмосферу в зоне
максимальных
ветров $\approx 260 \text{ Вт/м}^2$.**

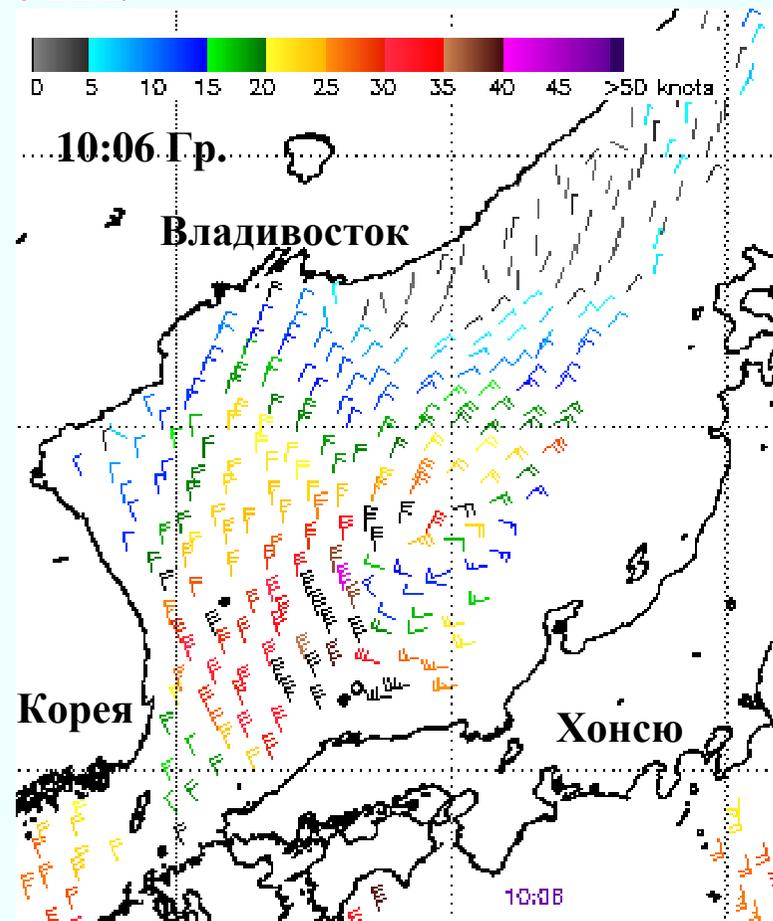


**Потоки явного тепла
(SH $\approx 150 \text{ Вт/м}^2$)
преобладают над
потоками скрытого
(LH $\approx 110 \text{ Вт/м}^2$).**

Два мезоциклона над южной частью Японского моря 9 февраля 2008 г.
Размер западного МЦ **220-250** км, размер малооблачной центральной части
(глаза) **30-50** км.



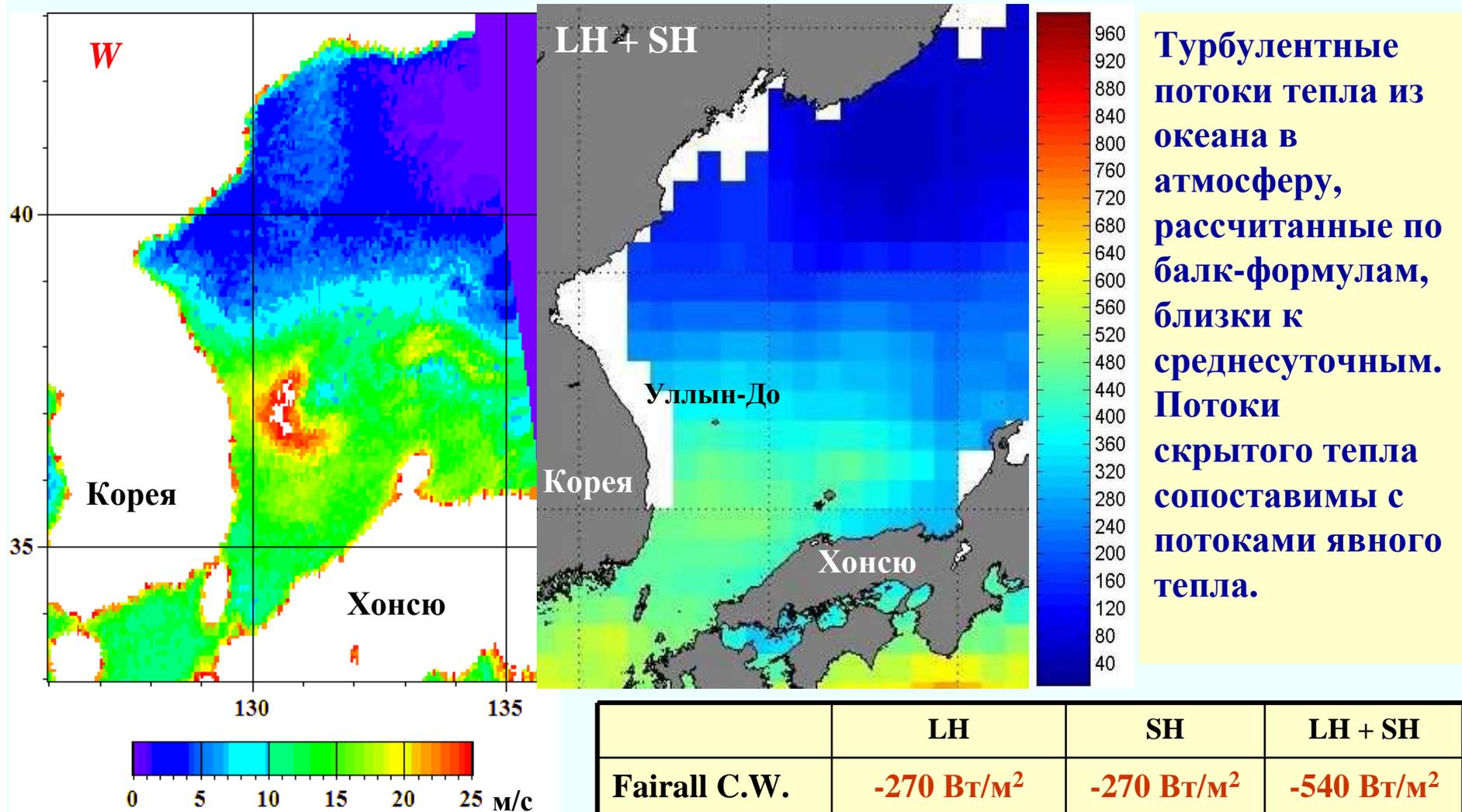
Видимое изображение **MODIS**
(спутника **Aqua**) за 04:40 Гр.



Поле приводного ветра по
данным **QuikSCAT** за 10:06 Гр.

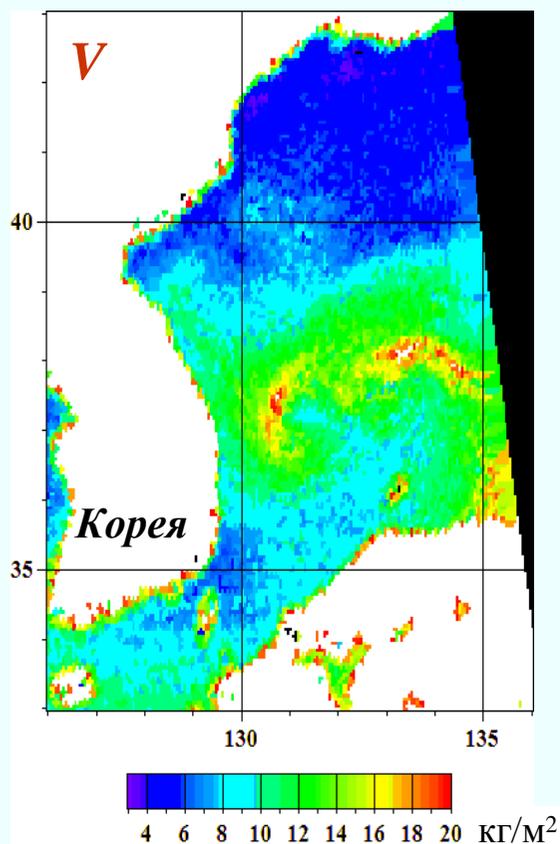
Скорость ветра вокруг маловетренной центральной области **15-20 м/с.**

Скорость приводного ветра W в МЦ по данным *AMSR-E* за 04:40 Гр. 9 февраля **15-17 м/с**, в западном секторе **20-25 м/с**. Среднесуточные турбулентные потоки тепла из океана в атмосферу ($LH + SH$) в области мезомасштабной циклонической деятельности **440-500 Вт/м²**.

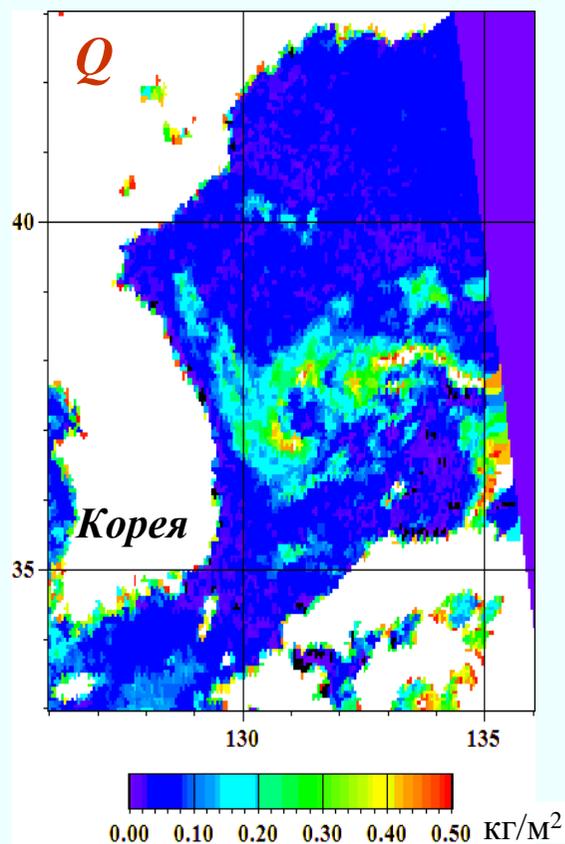


	LH	SH	LH + SH
Fairall C.W.	-270 Вт/м ²	-270 Вт/м ²	-540 Вт/м ²
Large W.G.	-260 Вт/м ²	-300 Вт/м ²	-560 Вт/м ²

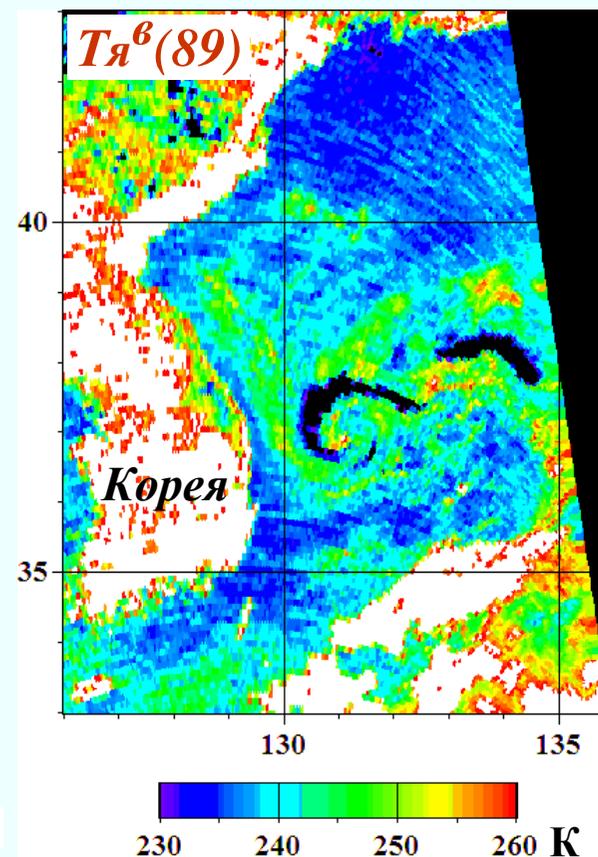
Поля паросодержания атмосферы V , водозапаса облаков Q и яркостных температур $Tя$ на частоте 89 ГГц, ВП по данным AMSR-E за 04:40 Гр. 9 февраля 2008 г. В поле $Tя^b(89)$ видны полосы с $Tя < 230$ К, обусловленные рассеянием излучения в кристаллической фазе облаков (вероятность твердых осадков) и визуализирующие два вихря.



$V_{max} \approx 16-20$ кг/м²



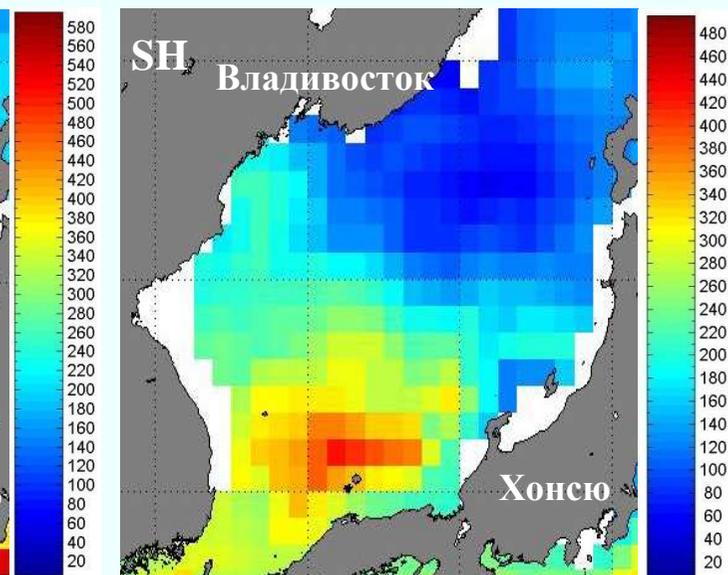
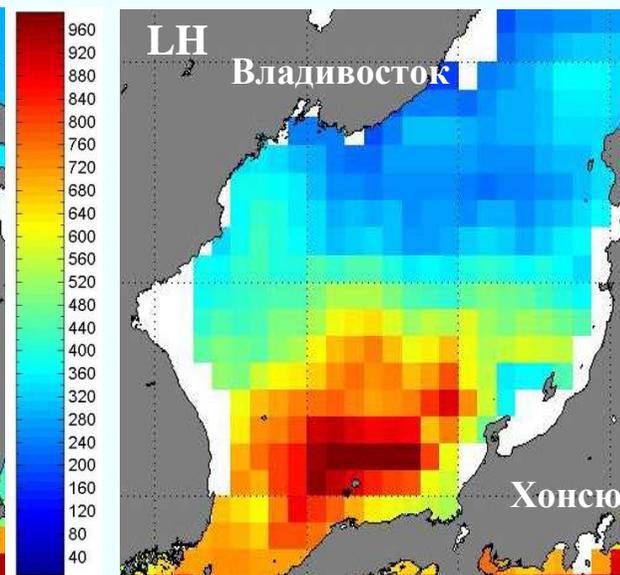
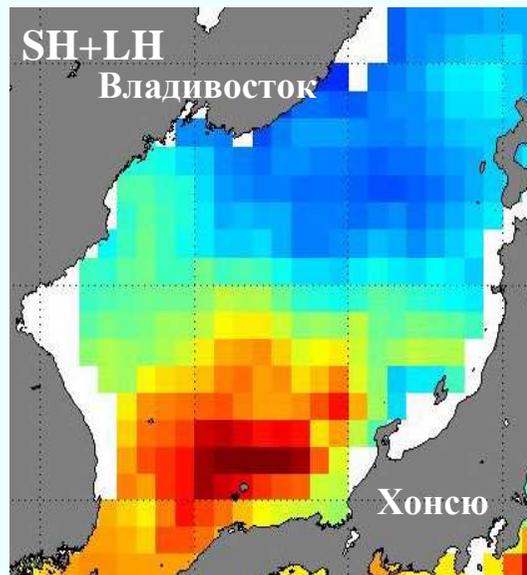
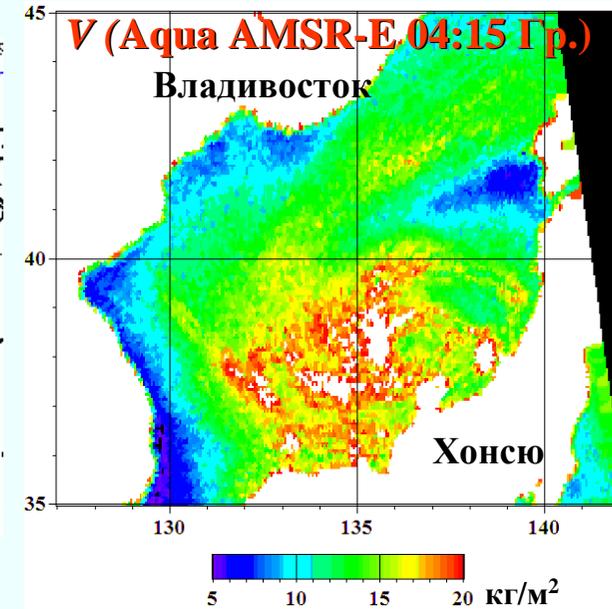
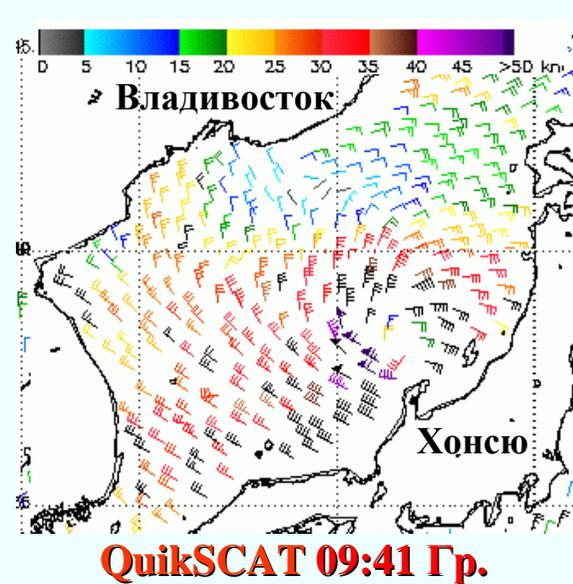
$Q_{max} \approx 0.4-0.5$ кг/м²



$Tя^b(89)_{min} < 230$ К

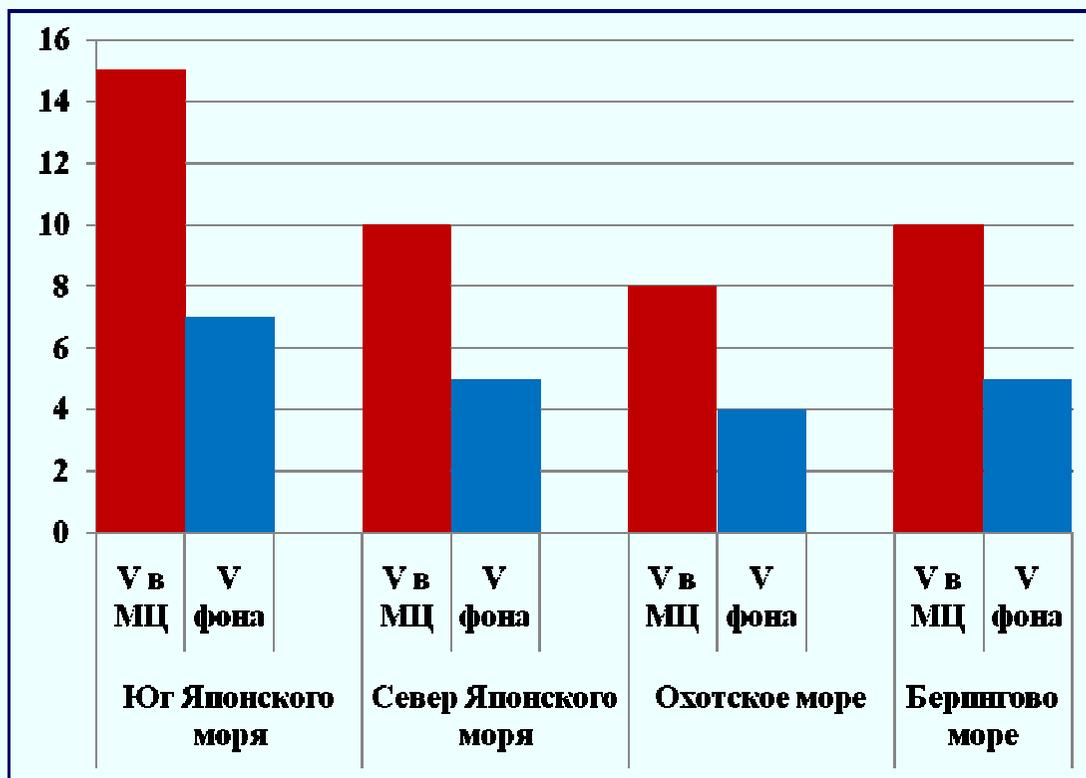
На карте приземного анализа ЯМА за 06 Гр. 9 февраля 2008 г. фиксировались осадки в виде дождя и снега

Полярный циклон в Японском море 5 декабря 2005 г. Скорость ветра вблизи глаза > 30 м/с. Паросодержание атмосферы 20 кг/м² и более. Среднесуточные потоки тепла из океана в атмосферу в юго-западном секторе полярного циклона $800-1000$ Вт/м². Потоки скрытого тепла (LH) преобладают над потоками явного (SH).



Паросодержание атмосферы над ДВ морями в условиях мезомасштабного циклогенеза

Паросодержание атмосферы в МЦ и фона



Разность температур вода-воздух

Моря	T_a	T_b	$T_b - T_a$
Сев. Охотского	-20	0	21
Берингово	-16	0	16
Сев. Японского	-11	2	9
Юг Японского	-10	10	20

Учитывалась приземная температура воздуха T_a до трансформации континентальной воздушной массы над морской поверхностью с температурой T_b .

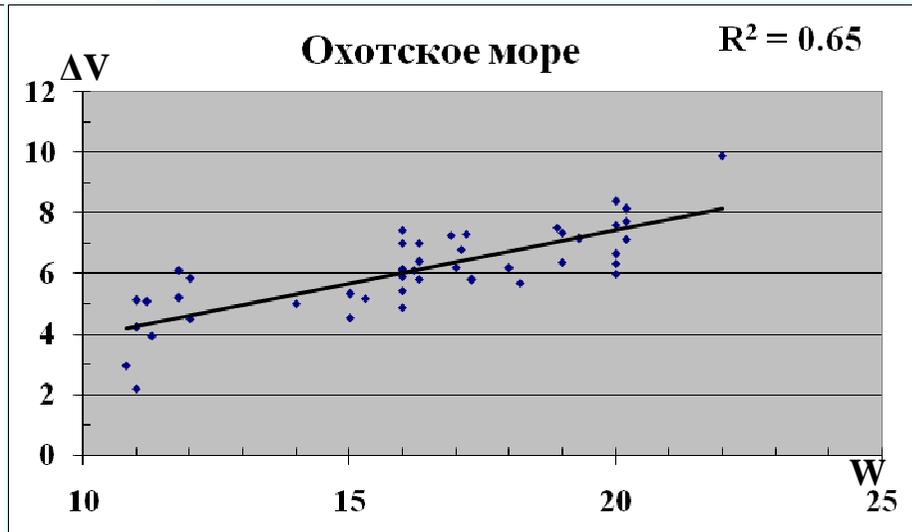
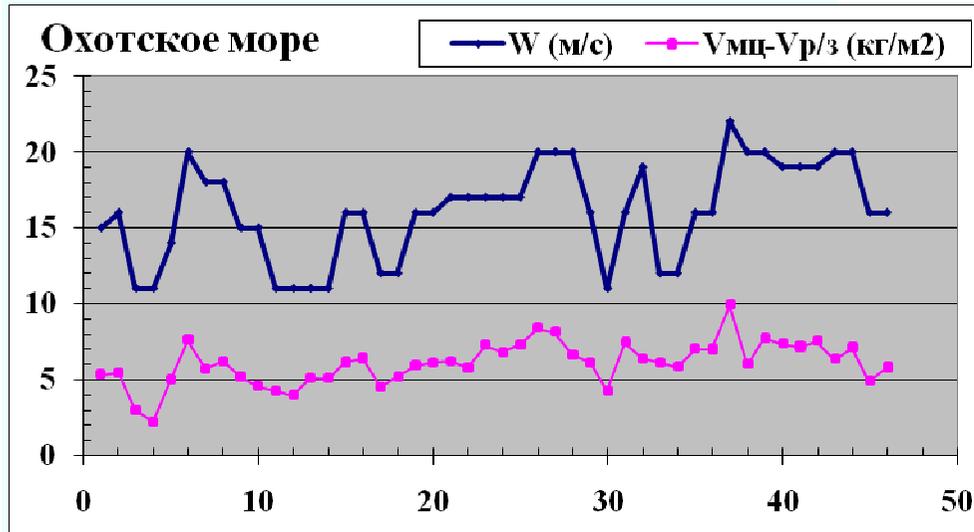
Паросодержание континентальной воздушной массы V по данным радиозондирования атмосферы:

Охотское море ≈ 2 кг/м²; Берингово море ≈ 3 кг/м²; Японское море ≈ 4 кг/м²

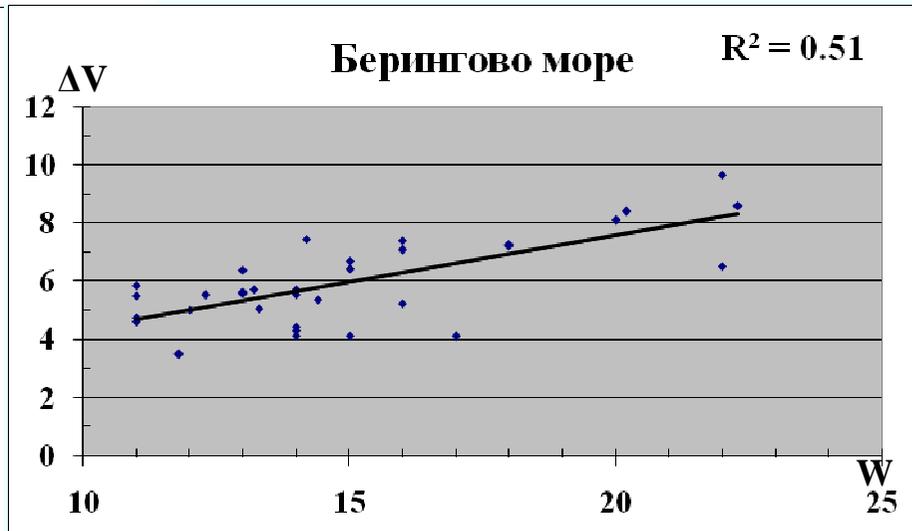
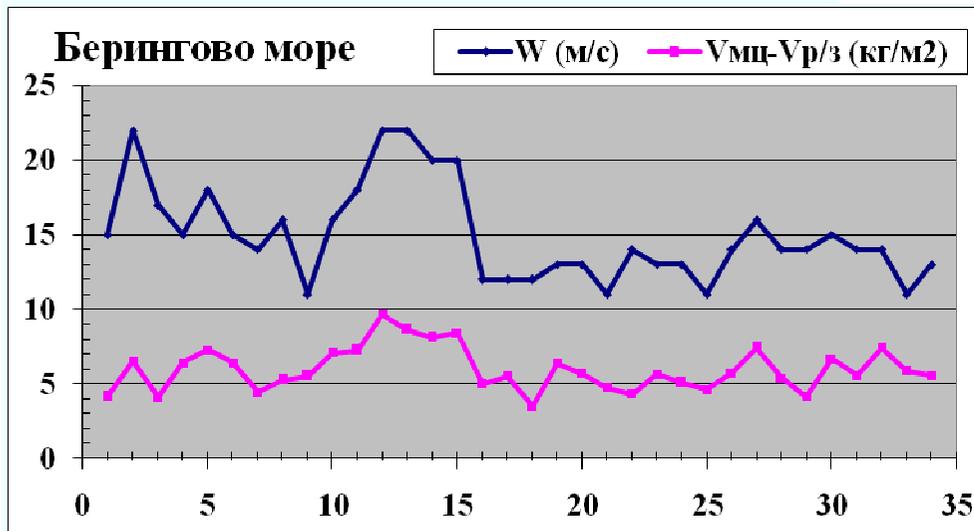
Паросодержание атмосферы КВМ увеличивается над морской поверхностью на 2-3 кг/м²; в МЦ – на 4-7 кг/м² (на юге ЯМ – до 10 кг/м²).

Зависимость увеличения паросодержания атмосферы в МЦ от скорости ветра по данным AMSR-E и p/з в Охотском и Беринговом морях

$$\Delta V = 0.34 + 0.36W$$



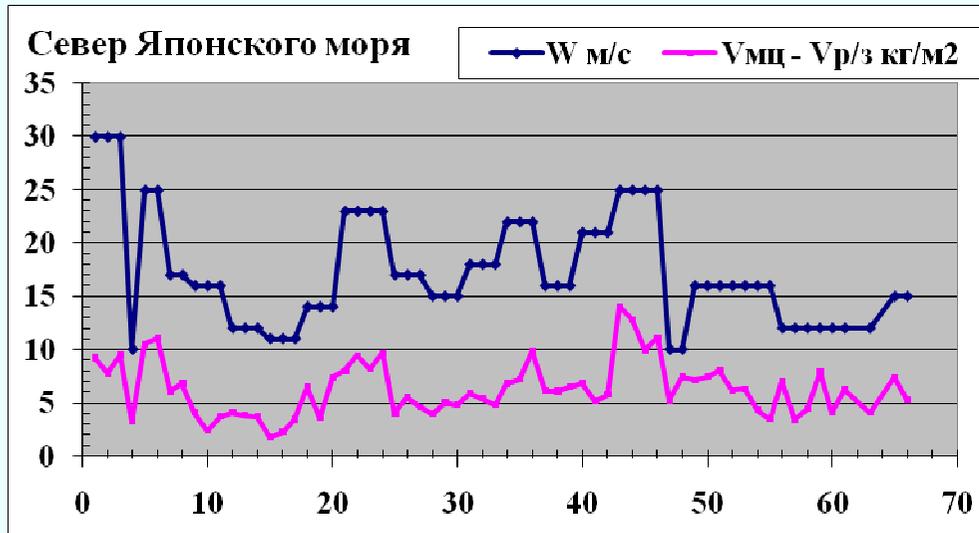
$$\Delta V = 1.15 + 0.32W$$



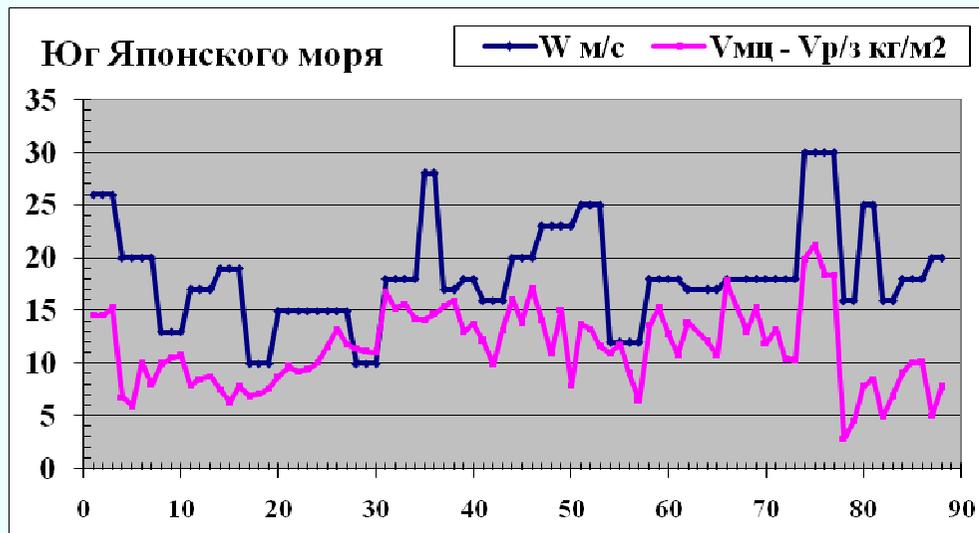
$\Delta V = V_{\text{мц}} - V_{\text{р/з}}$ – разность между максимальным паросодержанием атмосферы в МЦ и паросодержанием континентальной воздушной массы

Зависимость увеличения паросодержания атмосферы в МЦ от скорости ветра по данным AMSR-E и p/з в северной и южной части Японского моря

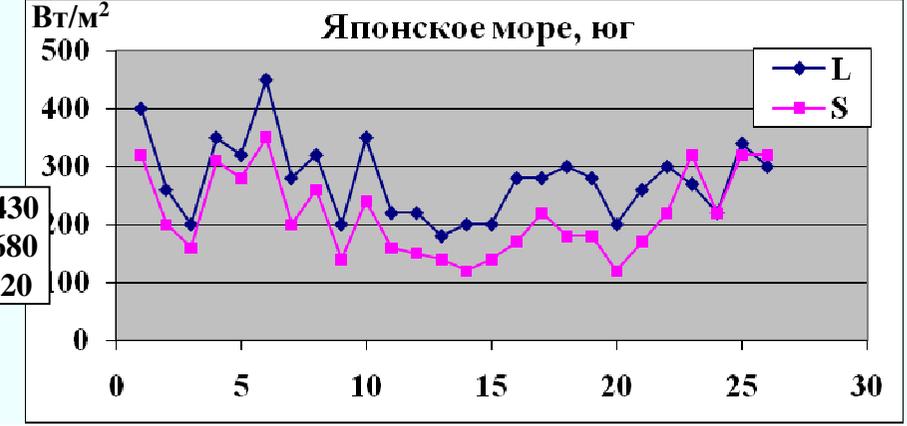
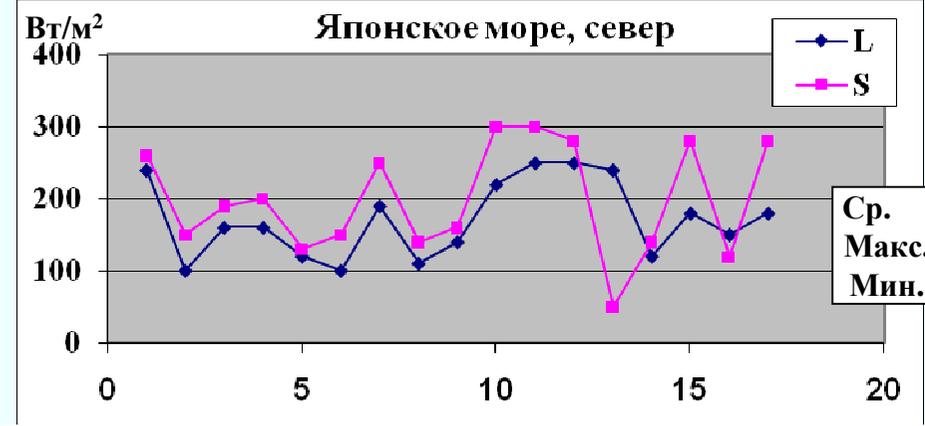
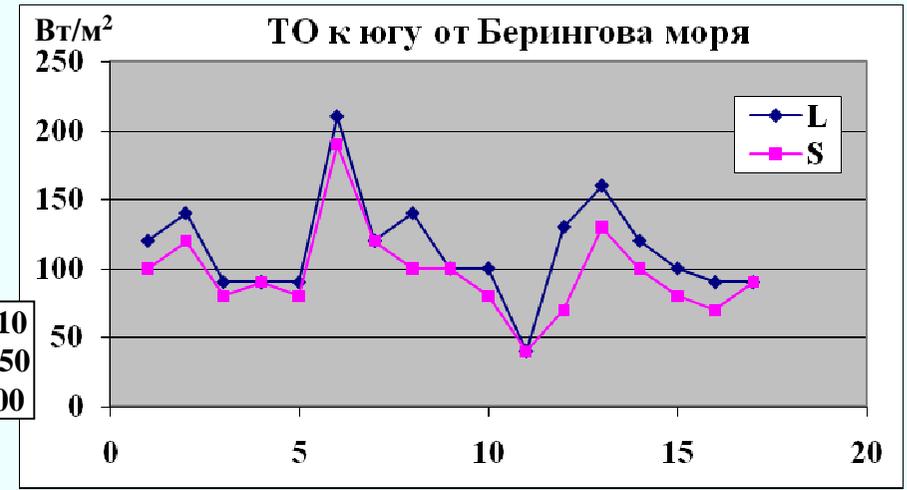
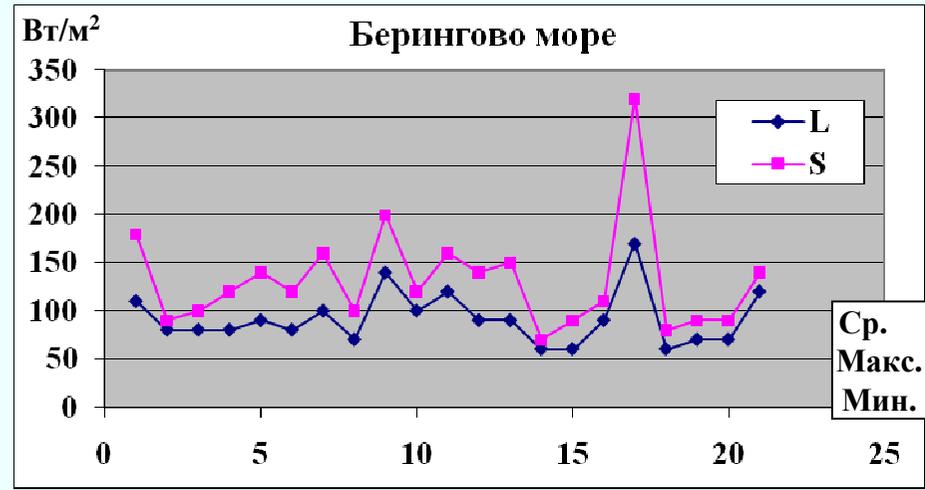
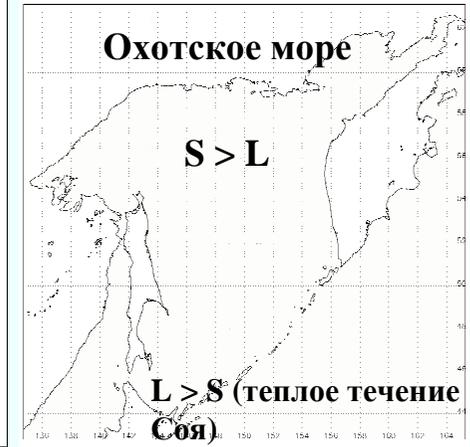
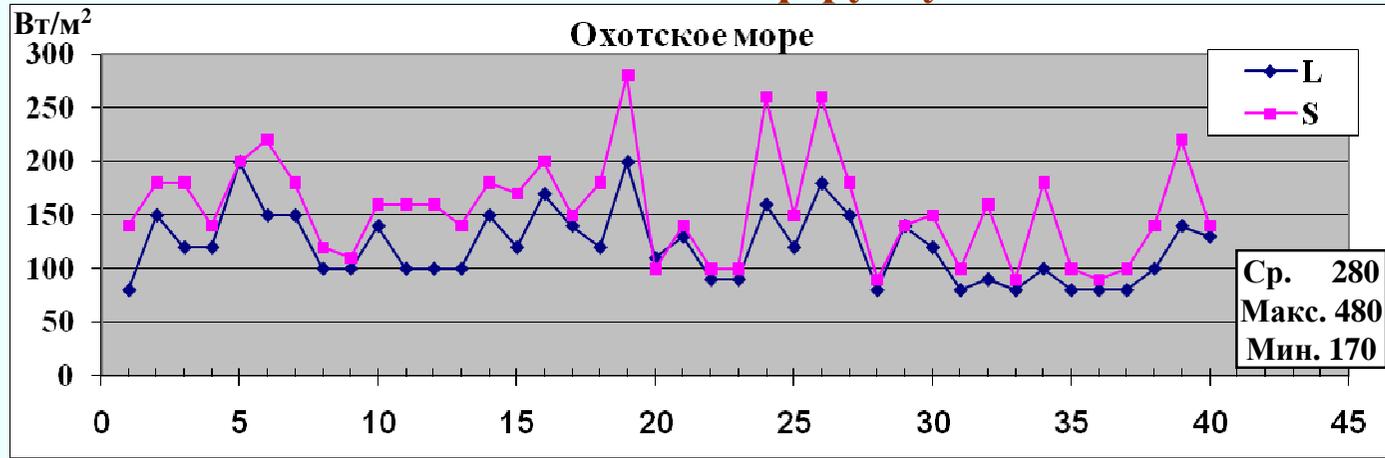
$$\Delta V = 0.09 + 0.36W$$



$$\Delta V = 4.95 + 0.35W$$



Потоки тепла из океана в атмосферу в условиях мезомасштабного циклогенеза



Выводы

- Над ДВ морями в течение холодного периода (октябрь-апрель) 2003-2010 гг. формировалось от 160 до 250 МЦ. Их количество в существенной степени определяется суммарной продолжительностью холодных вторжений.
- МЦ зарождаются преимущественно при разности температур вода-воздух 10-20°C. Скорость приводного ветра в интенсивных МЦ может превышать 20 м/с.
- Мезомасштабный циклогенез сопровождается интенсификацией взаимодействия океана и атмосферы:
 - разность между паросодержанием атмосферы в области МЦ и в континентальной воздушной массе возрастает с увеличением скорости приводного ветра и варьирует от 2 до 15 кг/м²;
 - турбулентные потоки тепла из океана в атмосферу в среднем составляют 200-400 Вт/м². В интенсивных МЦ над Охотским, Беринговым и северной частью Японского моря потоки возрастают до 400-500 Вт/м², а в южной части Японского моря достигают 700-800 Вт/м² и выше.
- Результаты исследования наглядно демонстрируют, что наилучшим подходом для получения количественных оценок параметров атмосферы и океана и изучения эволюции мезомасштабных циклонов является комплексный анализ данных активного и пассивного микроволнового спутникового зондирования в сочетании с измерениями в других спектральных интервалах.

**Работа выполнена при поддержке гранта
РФФИ 09-05-13569_офи_ц.**

**Данные AMSR-E получены ТОИ из Японского
аэрокосмического исследовательского
агентства JAXA по Commissioned Research
Agreement for the Global Change Observation
Mission (проект No. 111).**

An aerial photograph of a snow-covered mountain range. A dark, winding road or path cuts through the white snow, leading towards a prominent peak. The sky is filled with soft, white clouds, creating a high-contrast scene. The overall tone is serene and majestic.

Спасибо

за

внимание!