

**Многомерный статистический анализ  
полей напряжения и завихренности ветра  
над Японским морем  
(на основе данных спутниковой скаттерометрии)**



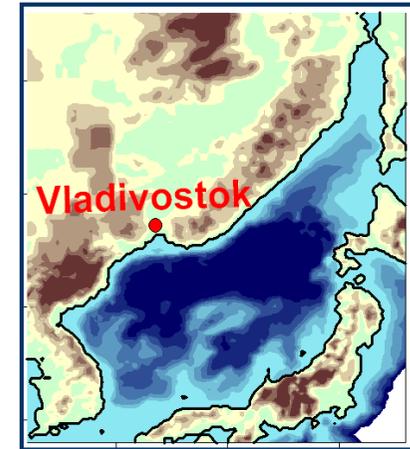
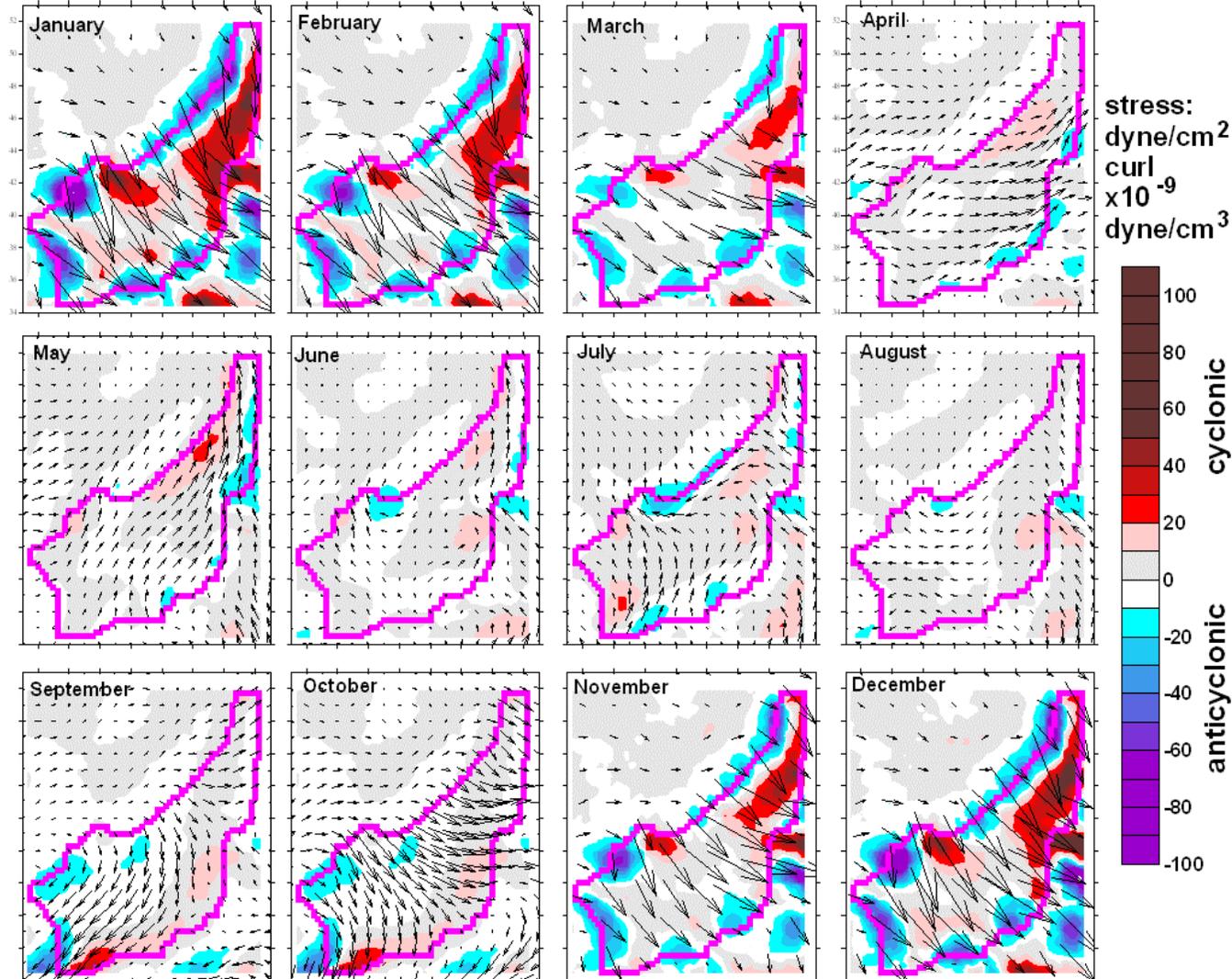
*Трусенкова О.О.<sup>1</sup>, Кожанов А.Н.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН*

*<sup>2</sup>ООО "Сперасофт", г. Санкт-Петербург*

# Введение

*Средние месячные напряжение и вихрь ветра*



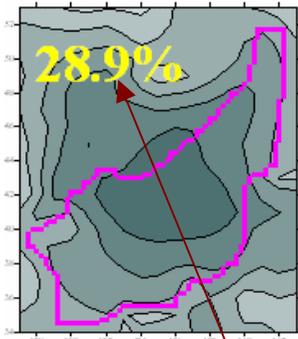
Подготовка  
полей ветра для  
Г-м модели  
Японского  
моря.

Стабильные  
зимние условия,  
высокая  
изменчивость в  
теплый сезон.

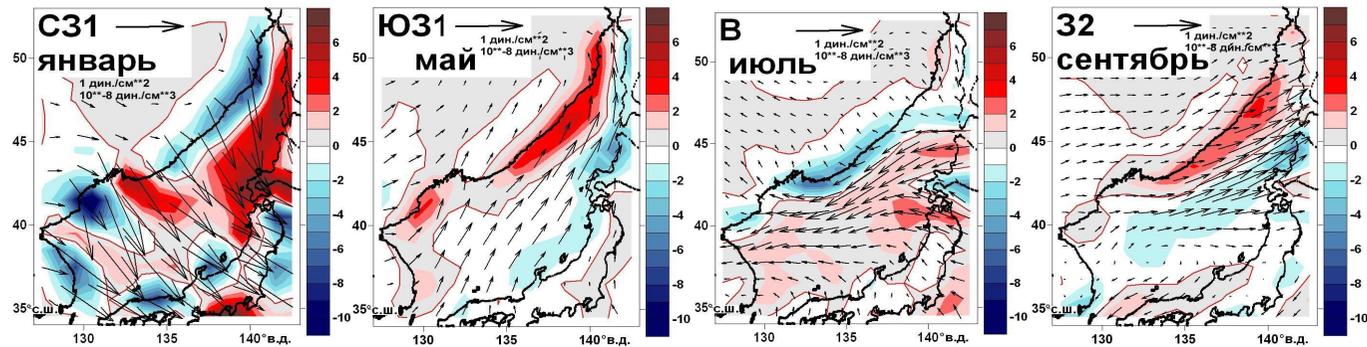
# Предварительный анализ по 1°-м данным NSCP

Определяет генеральное направление муссонного ветра (Трусенкова и др., 2007); соответствует экспертной классификации С.И. Глебовой (2003).

*КЭОФ 1*



*Типовые поля, отвечающие ветру различных направлений*

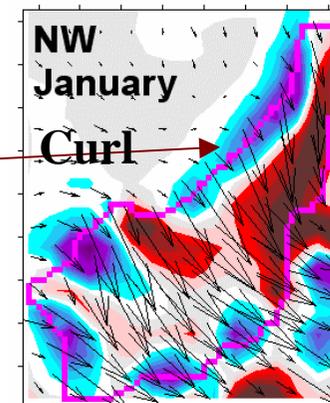
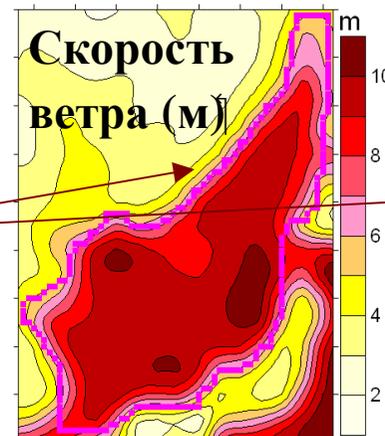


Но...

учитывает <50% дисперсии → вклад младших мод?

Фиктивные градиентные зоны вдоль берегов.

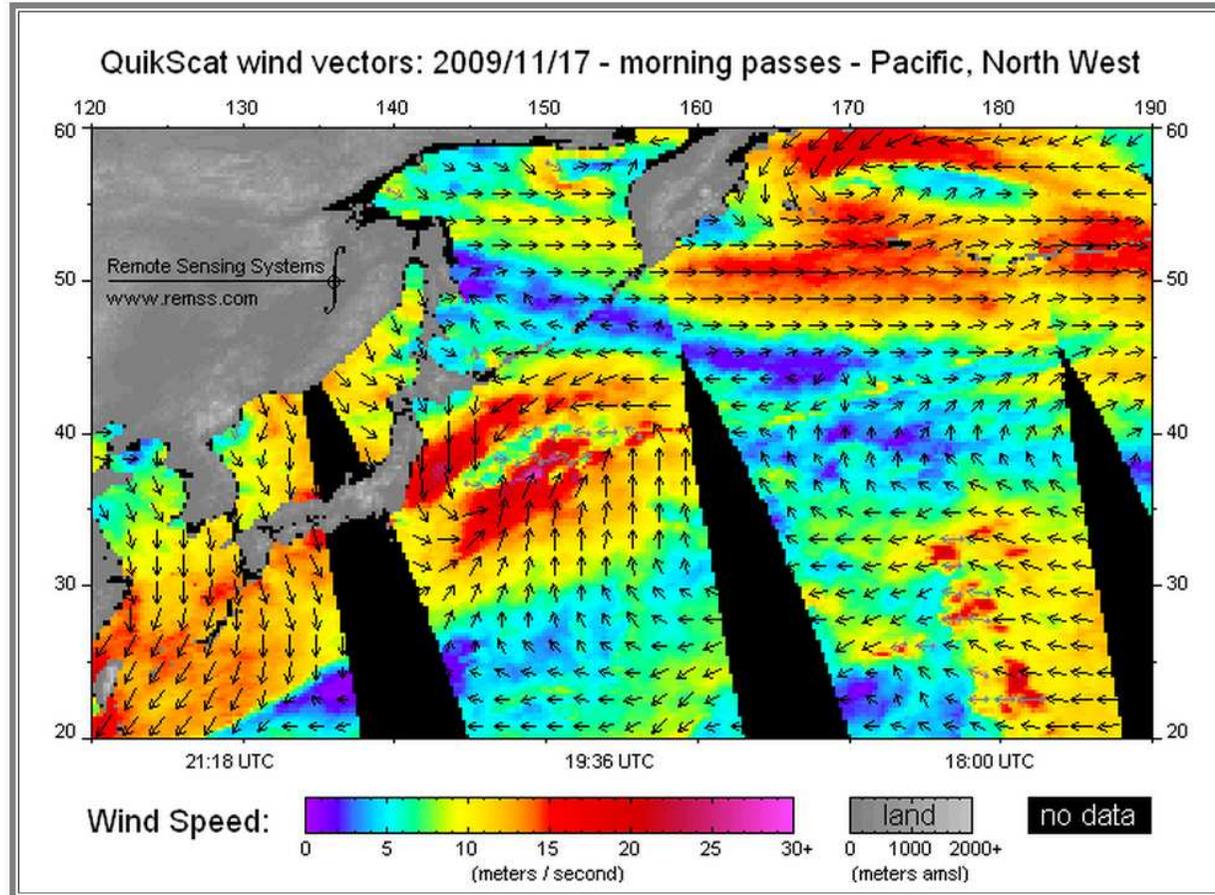
Нет объективного критерия для классификации (типизации).



## Цель работы

Обосновать результаты, полученные ранее на основе полей реанализа, путем многомерного статистического анализа данных спутниковой скаттерометрии, в том числе провести ЭОФ анализ полей завихренности ветра

# Поля ветра по данным спутника QuikSCAT



[http://www.remss.com/qscat/scatterometer\\_data\\_daily](http://www.remss.com/qscat/scatterometer_data_daily)

Данные высокого разрешения ( $1/4^{\circ}$ - $1/8^{\circ}$ ) над водной поверхностью.

Многочисленные пропуски из-за расхождения полос зондирования и при сильных осадках.

Предпочтительны комбинированные (интерполированные) поля QSCAT и реанализа.

# Данные

QSCAT/NCEP Blended Ocean Winds

(разработка Colorado Research Associates),

за период с июля 1999 по июль 2009,

34°-53°N, 127°-143°E

(Японское море и прилегающие районы суши),

4 поля в сутки,

горизонтальное разрешение 0.5°,

1287 квадрата для напряжения ветра и

386 квадратов для вихря (только над поверхностью моря),

14724 временных отсчета.

# Методика ЭОФ-анализа

1) Разложение векторов ветра на ЭОФ в комплексной форме (КЭОФ).

$X(r, t) = \sum A_k^*(r)B_k(t)$ , где

$X(r, t) = U(r, t) + iV(r, t)$ ,  $U/V$  – зональная и меридиональная компоненты,

$A_k(r) = A_k(r)e^{-i\phi}$  - пространственные КЭОФ, \* - комплексное сопряжение,

$B_k(t) = B_k(t)e^{-i\phi}$  - временные главные компоненты (ГК),

$A_k, B_k$  - пространственная и временная амплитуда ~ сила ветра,

$\phi_k, \phi_k$  ( $-180^\circ, 180^\circ$ ) - пространственная и временная фаза ~ повороты ветра в пространстве и во времени.

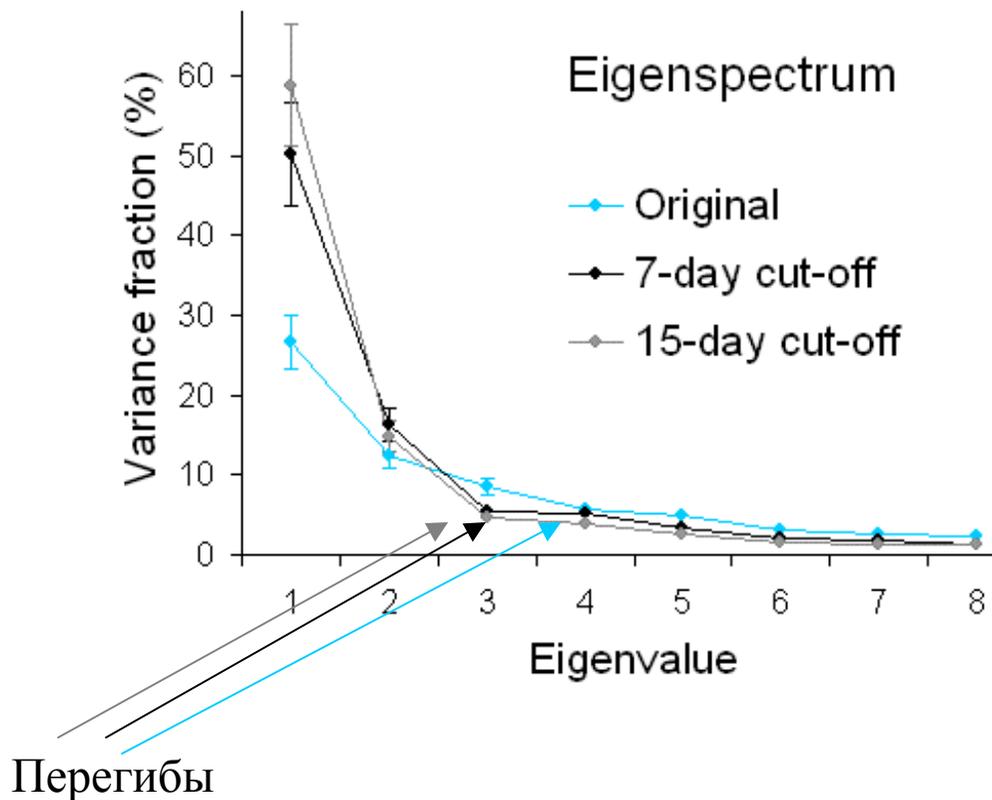
2) Корреляции  $\rightarrow$  вклад низкоамплитудных сигналов ~ ветер над сушей;

Ковариации ~ величине сигнала  $\rightarrow$  низкоамплитудные аномалии теряются.

3) Низкочастотная фильтрация путем вейвлет-преобразования, с использованием материнского вейвлета Морле бго порядка.

# Разложения векторов напряжения ветра

- Исходные поля.
- Фильтрованные поля с удалением периодов меньше 7 и 15 дней.

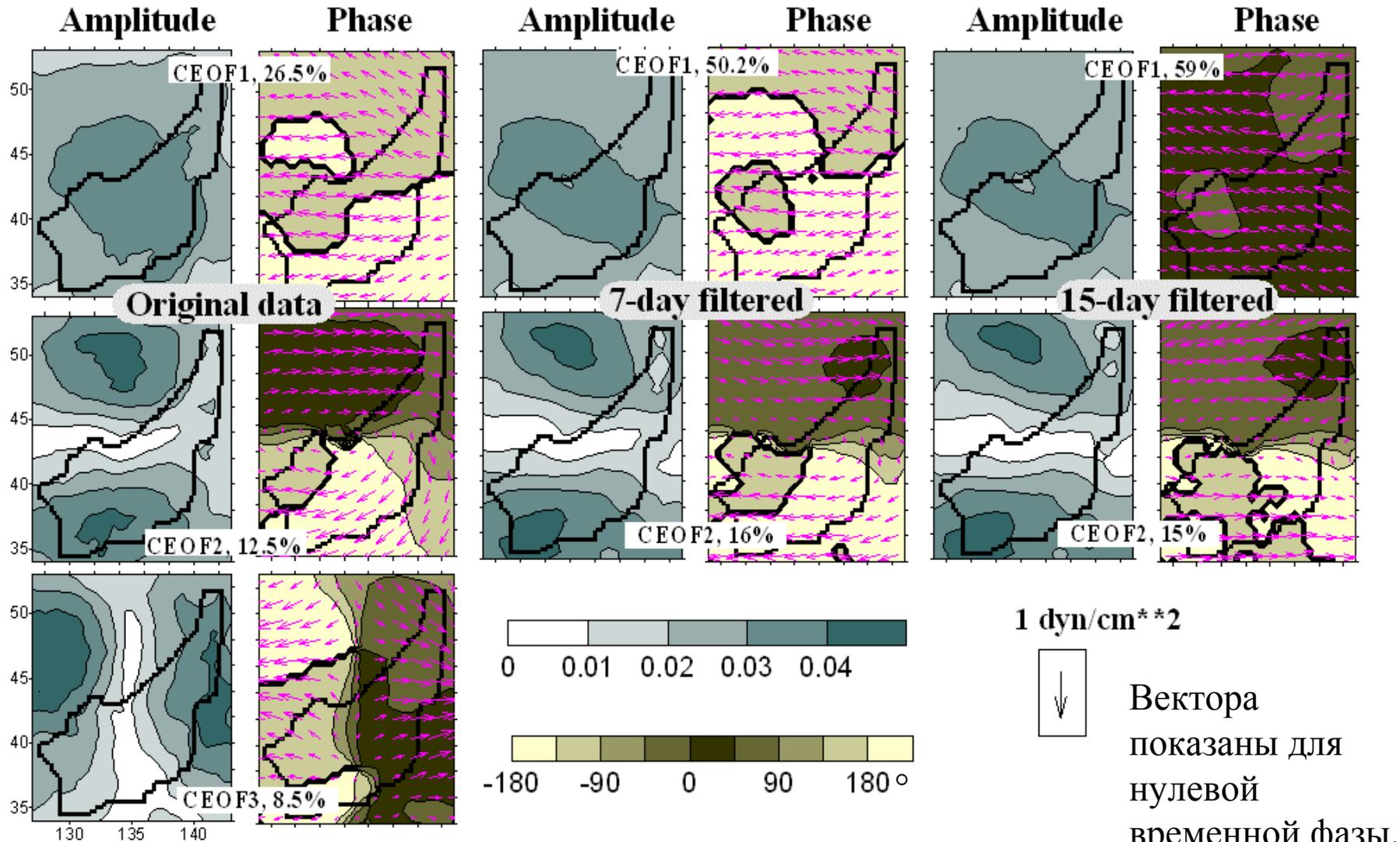


КЭОФ 1-3 исходных и КЭОФ 1-2 фильтрованных данных удовлетворяют тесту Монте-Карло; их собственные значения невырождены.

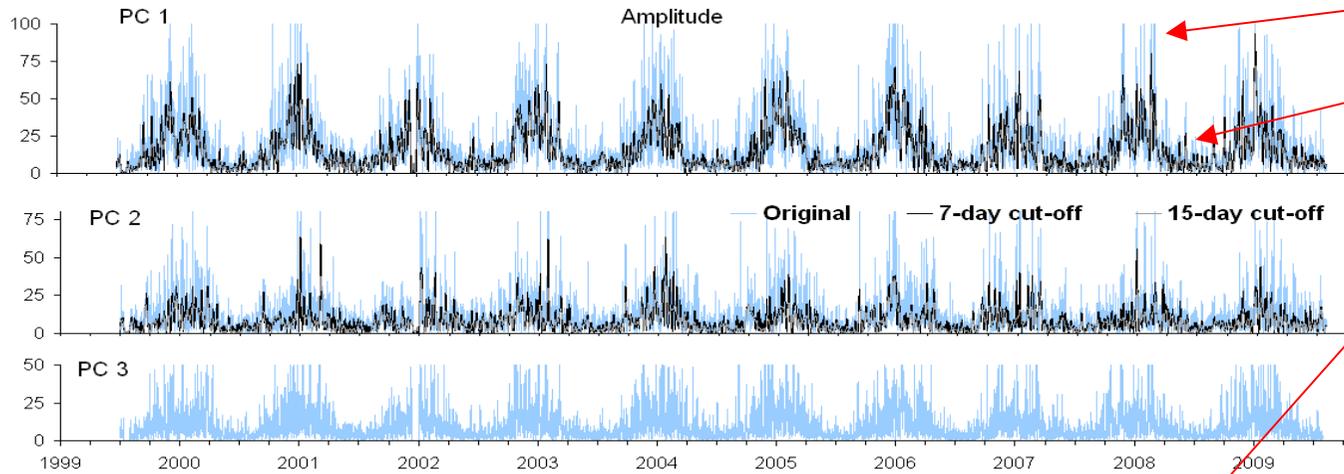
Вклад КЭОФ 1 фильтрованных данных в общую дисперсию  $>50\%$ .

# Пространственные распределения

подобны для КЭОФ 1 и 2 исходных и фильтрованных данных.

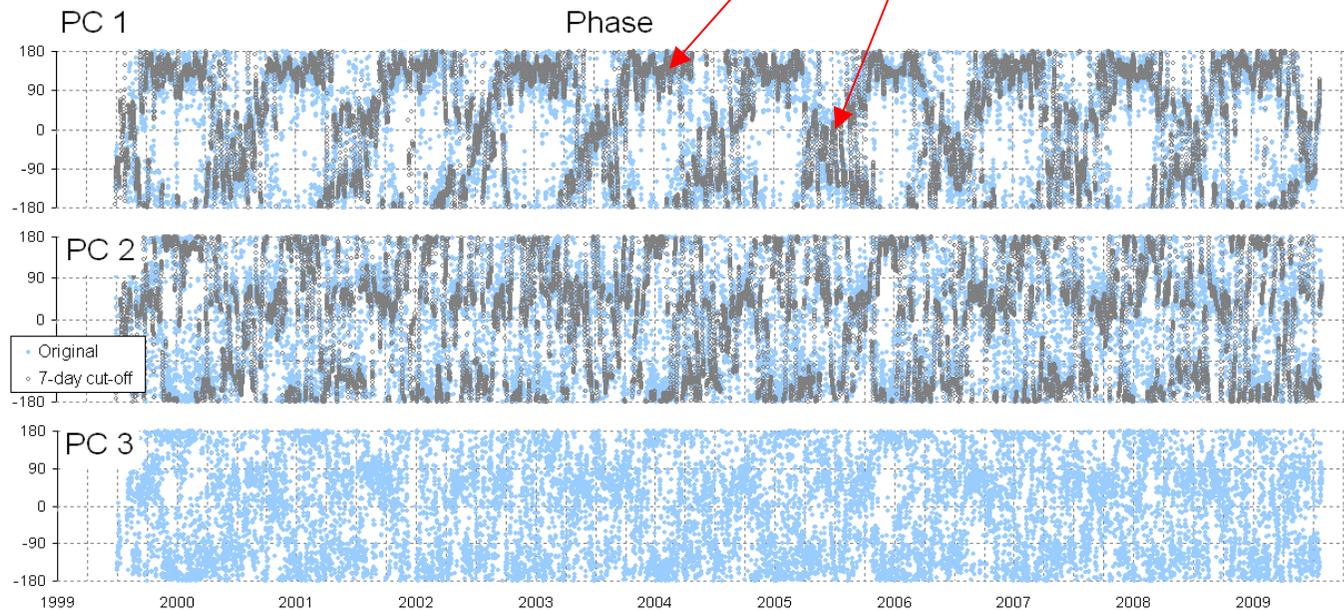
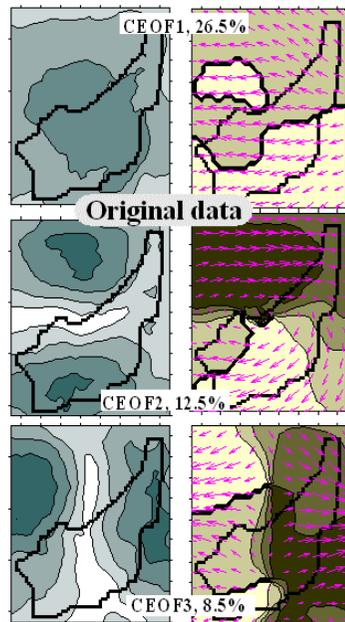


# Временная изменчивость (ГК)

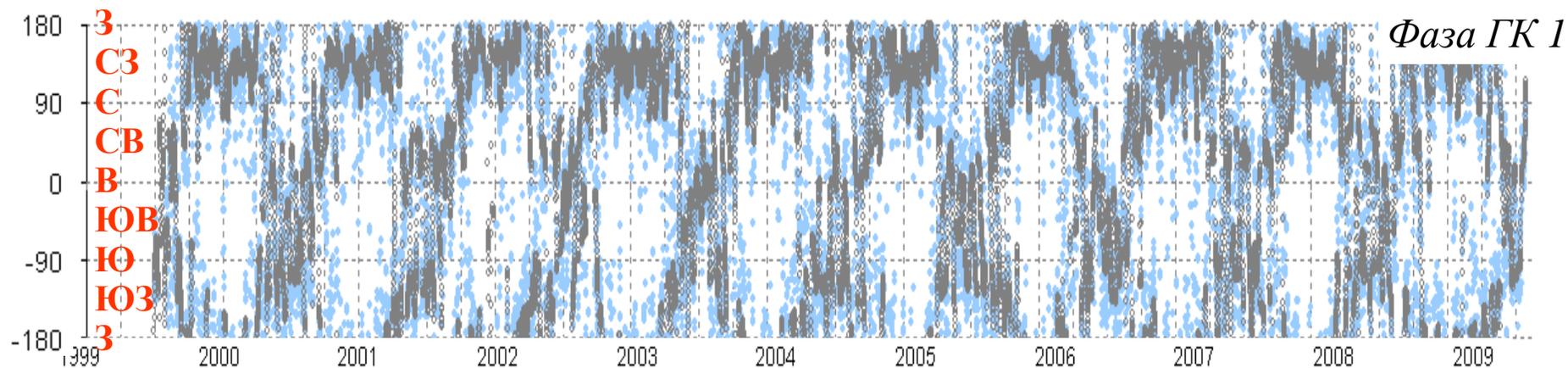


*Зима:*  
сильный ветер  
*Лето:*  
Слабый ветер

*Зима:*  
Преобладают СЗ ветра  
*Лето:*  
ВЫСОКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ



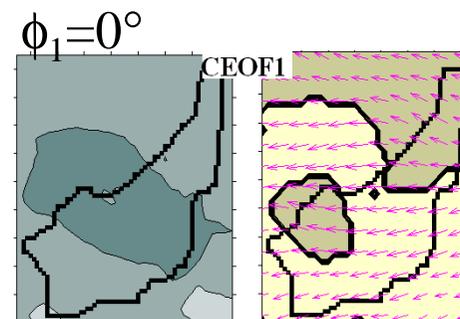
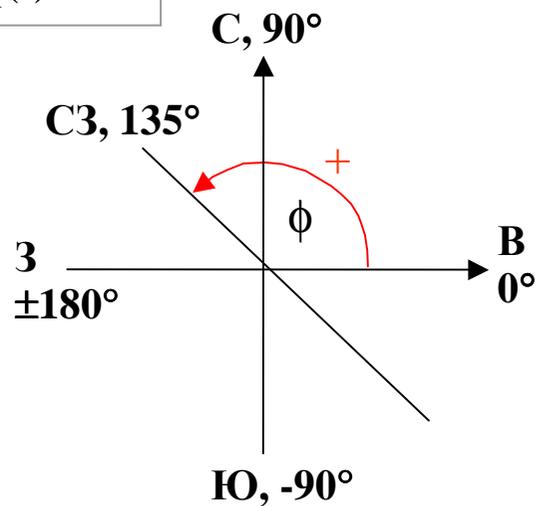
# КЭОФ 1: преобладающее направление ветра



$$X_k(r,t) = (A_k(r)e^{-i\phi(r)}) * B_k(t)e^{-i\phi(t)}$$

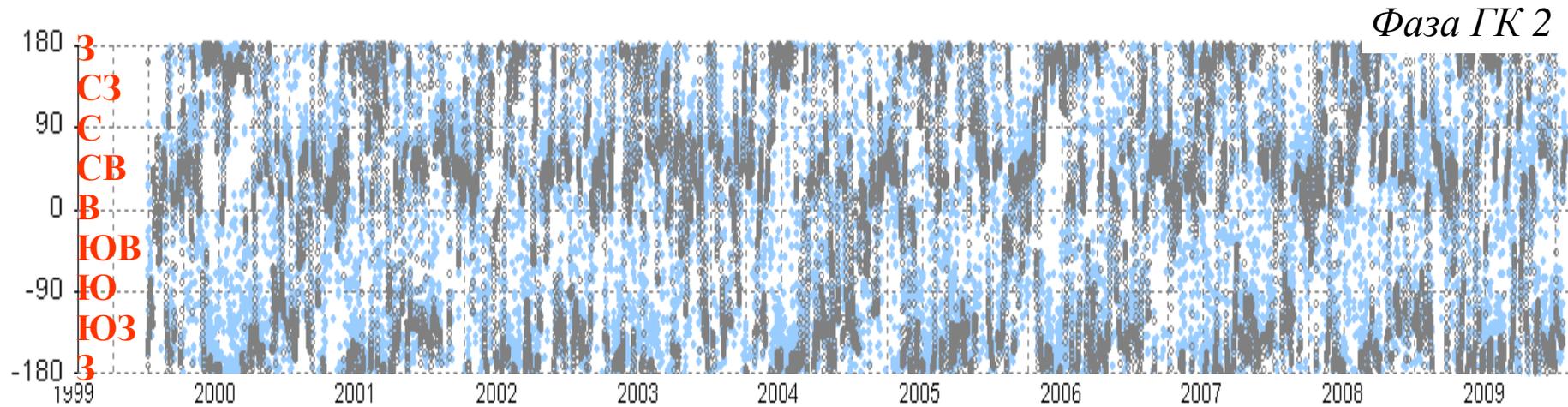
$\phi_t = 0^\circ \sim$  восточный ветер

$\phi_1 = 135^\circ \sim$  СЗ ветер



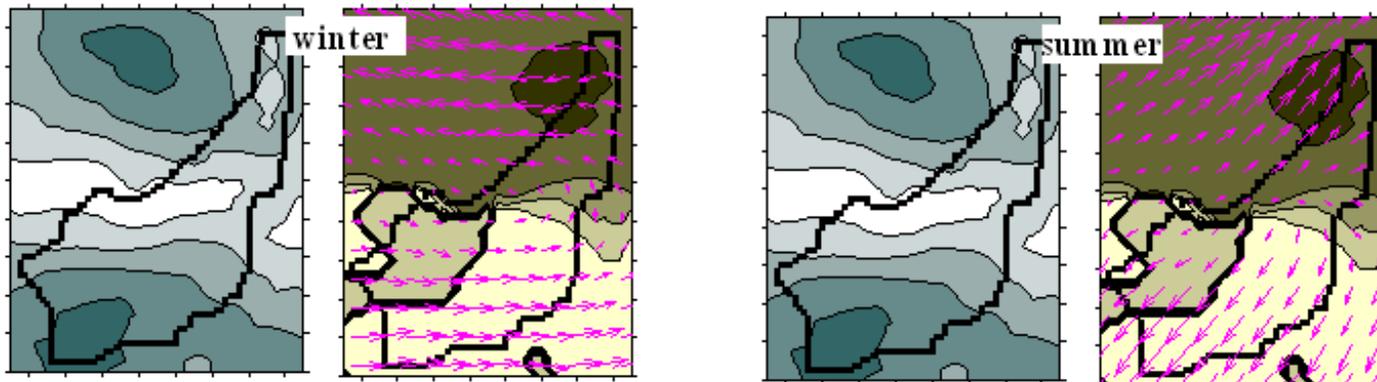
Шум в исходной фазе  $\phi(t)$ , закономерности сезонных поворотов ветра в фильтрованных данных.

# КЭОФ 2: противофаза между субтропиками и субарктикой

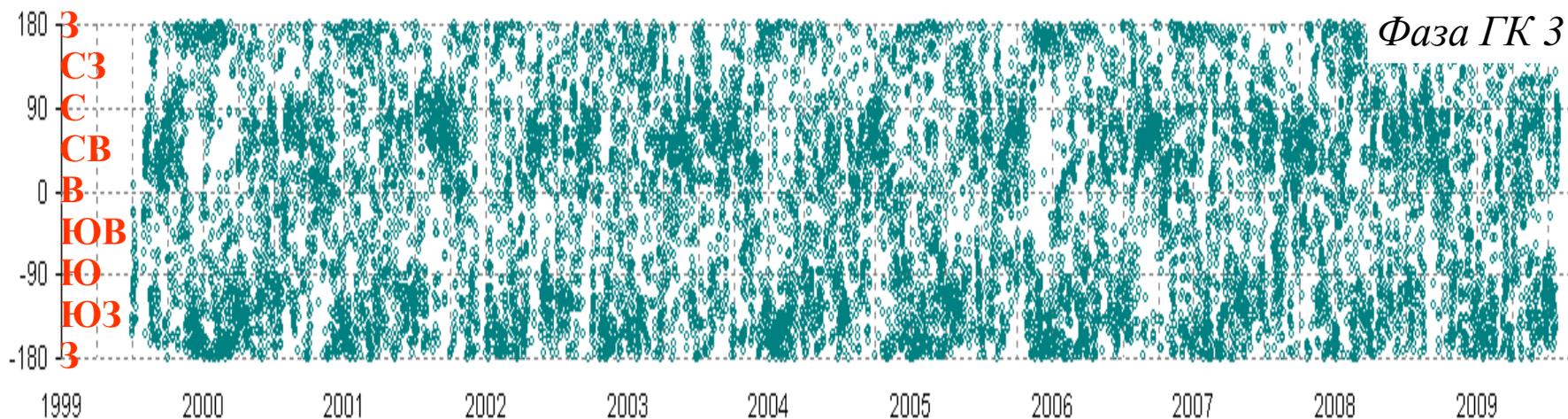


$\phi = 0$  ~ восточный ветер

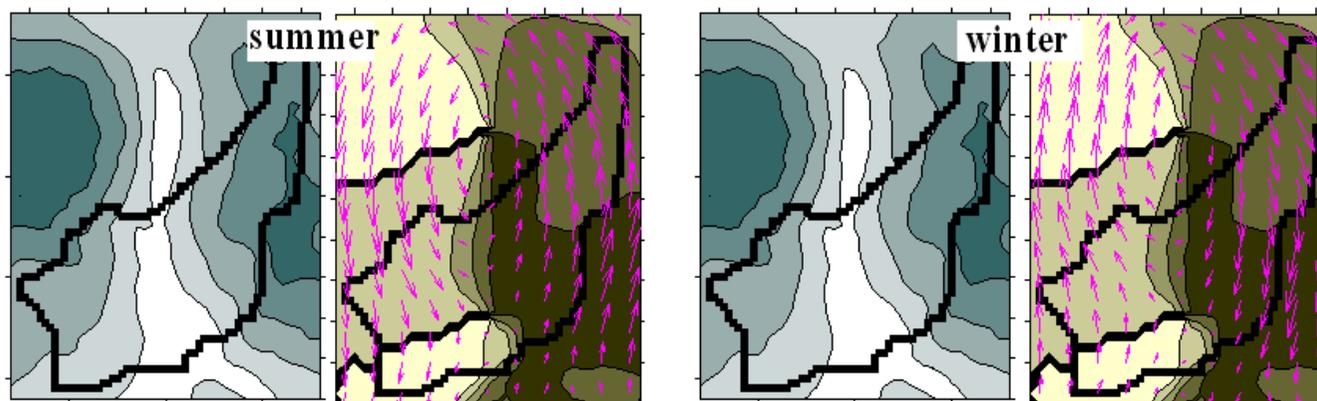
*Аномалии ветра, связанные с КЭОФ 2*



# КЭОФ 3 (только исходные поля): циклонический/антициклонический вихрь



*Аномалии ветра, связанные с КЭОФ 3*

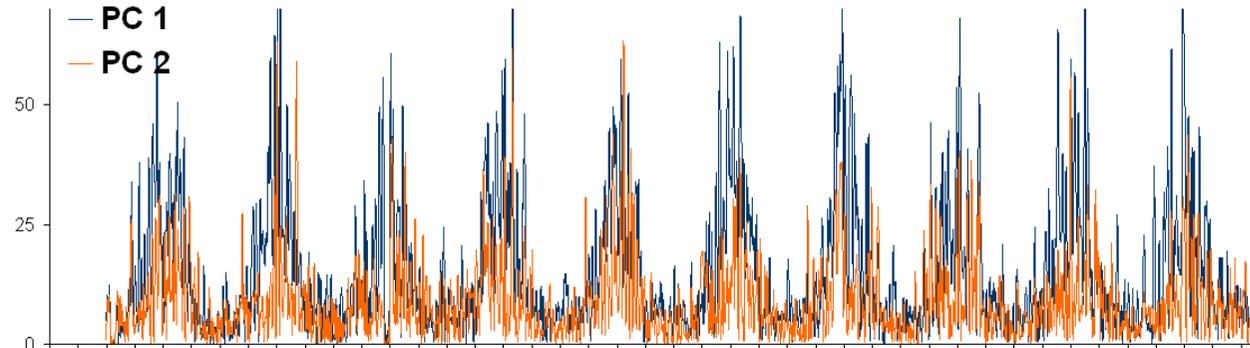
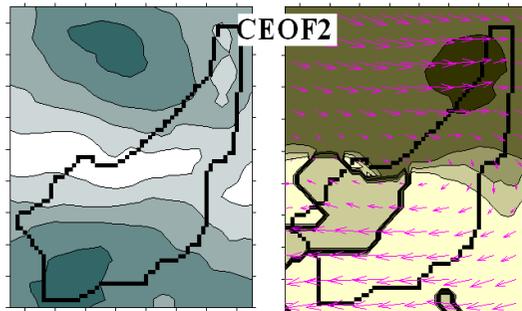
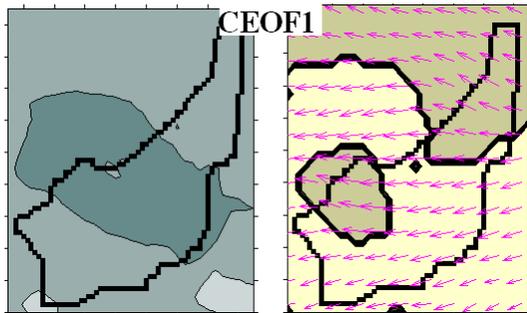


Циклон

Антициклон

# Оценка вклада младших мод в генеральное направление ветра

Для КЭОФ 2



$\Gamma K1/\Gamma K2=1.5$ .

Отклонение ветра за счет вклада КЭОФ2 к северу и югу от  $39^\circ N$  составляет  $< 10^\circ$  и  $< 20^\circ$  соответственно.

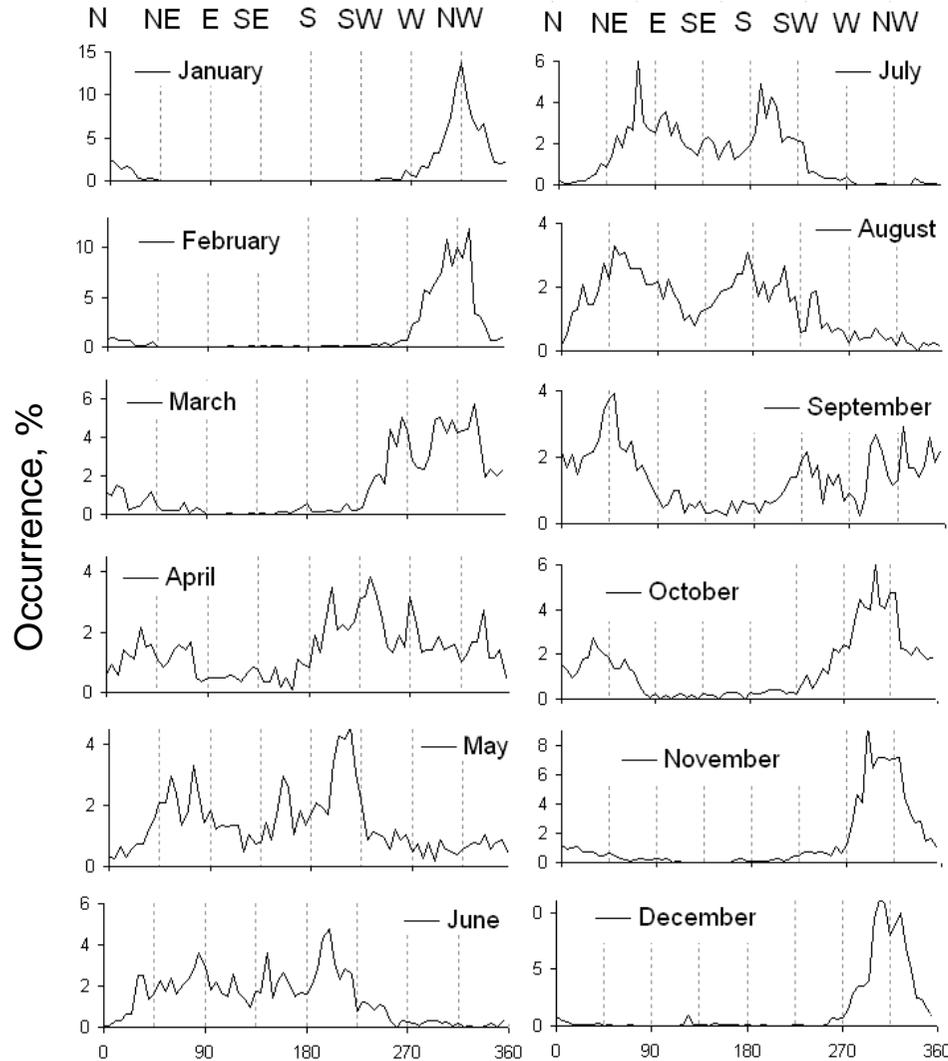
КЭОФ 3 связана с синоптическими масштабами.

---

Вклад младших мод незначителен →

КЭОФ 1 определяет восточно-азиатский муссон

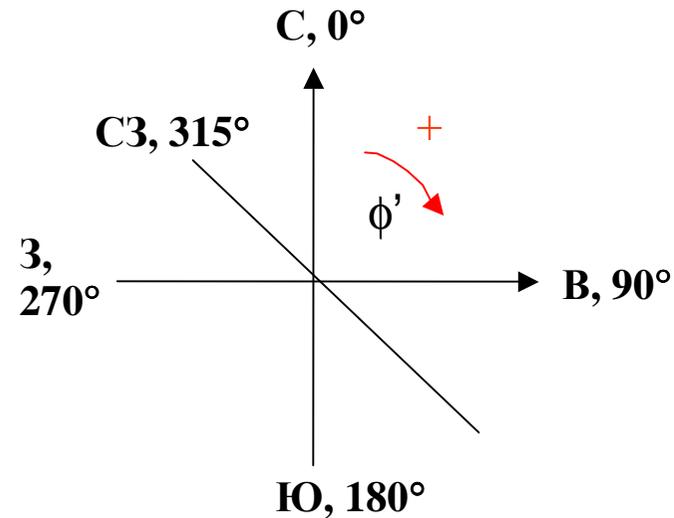
# Гистограммы генеральных направлений ветра (на основе временной фазы КЭОФ 1 фильтрованных данных)



Градусы 5°

*Преобразование фазы*

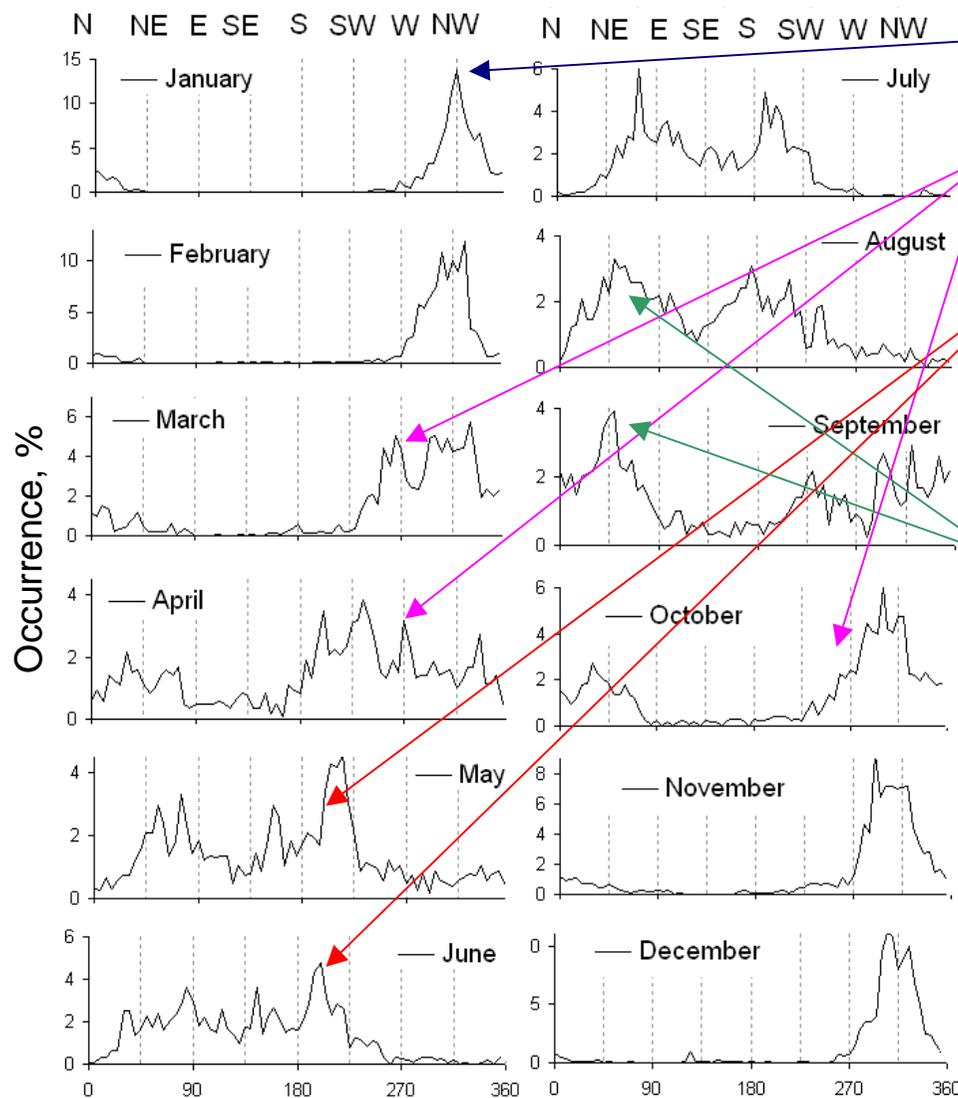
$$\phi' = -\phi + 90^\circ$$



$\phi' = 0^\circ$  ~ северный ветер

$\phi' = 315^\circ$  ~ СЗ ветер

# Помесячная повторяемость муссонных ветров



Градации 5°

*СЗ*: единственная мода в ноябре – феврале;

*З*: отдельная мода в марте и апреле, сливается с *СЗ* в октябре;

*ЮЗ*: апрель – сентябрь, наиболее сильна в мае и июне;

*Ветра с восточной составляющей*: повторяемость увеличивается во второй половине лета;

*СВ*: сильная мода в августе и сентябре.

*Ноябрь - февраль*: только одна мода;

*апрель и сентябрь*: шум;

*июль*: бимодальность (*ЮЗ* и восточная моды).

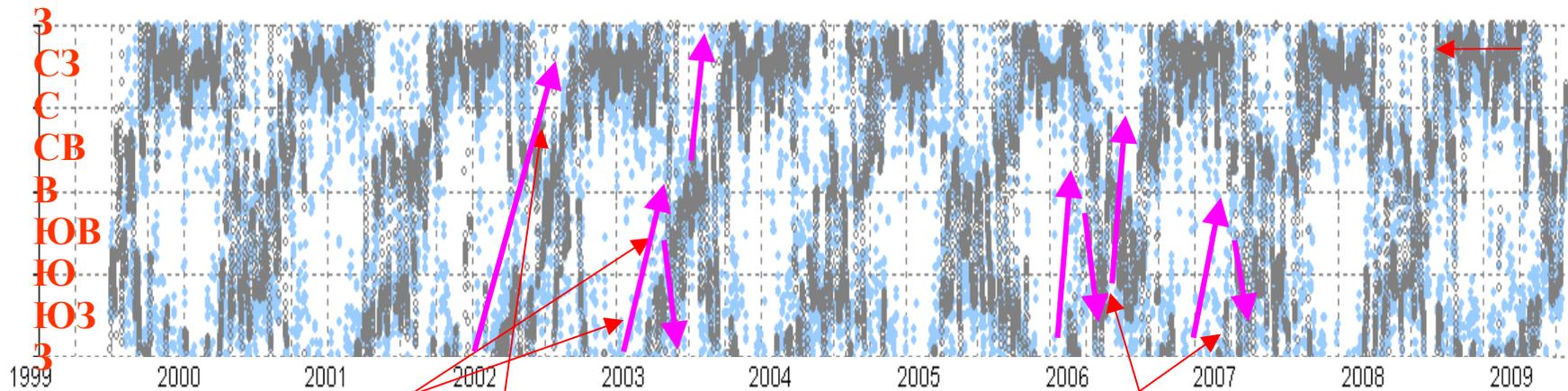
---

Южный ветер не является главной модой

# Внутригодовые повороты ветра

Фаза ГК 1

зима



*Сезонные повороты ветра:*

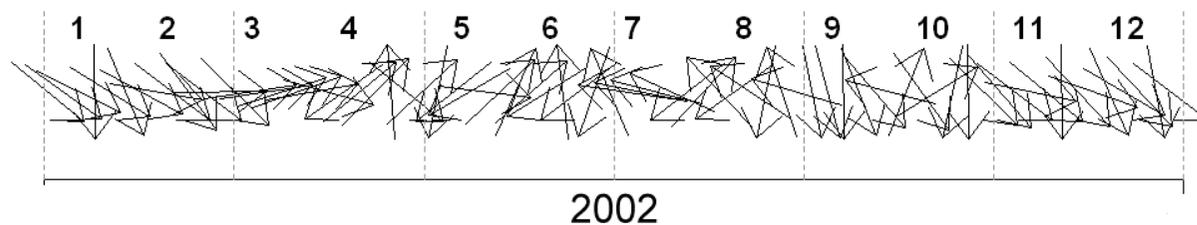
*От зимы к весне: СЗ → З → ЮЗ.*

*От начала к концу лета: ЮЗ → ЮВ → В.*

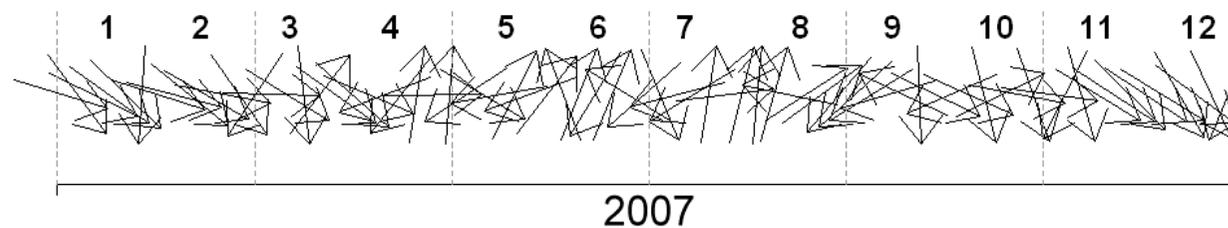
*Осенью: В → СВ → С → СЗ или В → ЮВ → ЮЗ → З → СЗ.*

## Примеры сезонных поворотов ветра

$$X_1(t) = (A_1^{av} e^{-i\phi_1^{av}}) * B_1 e^{-i\phi_1(t)}$$



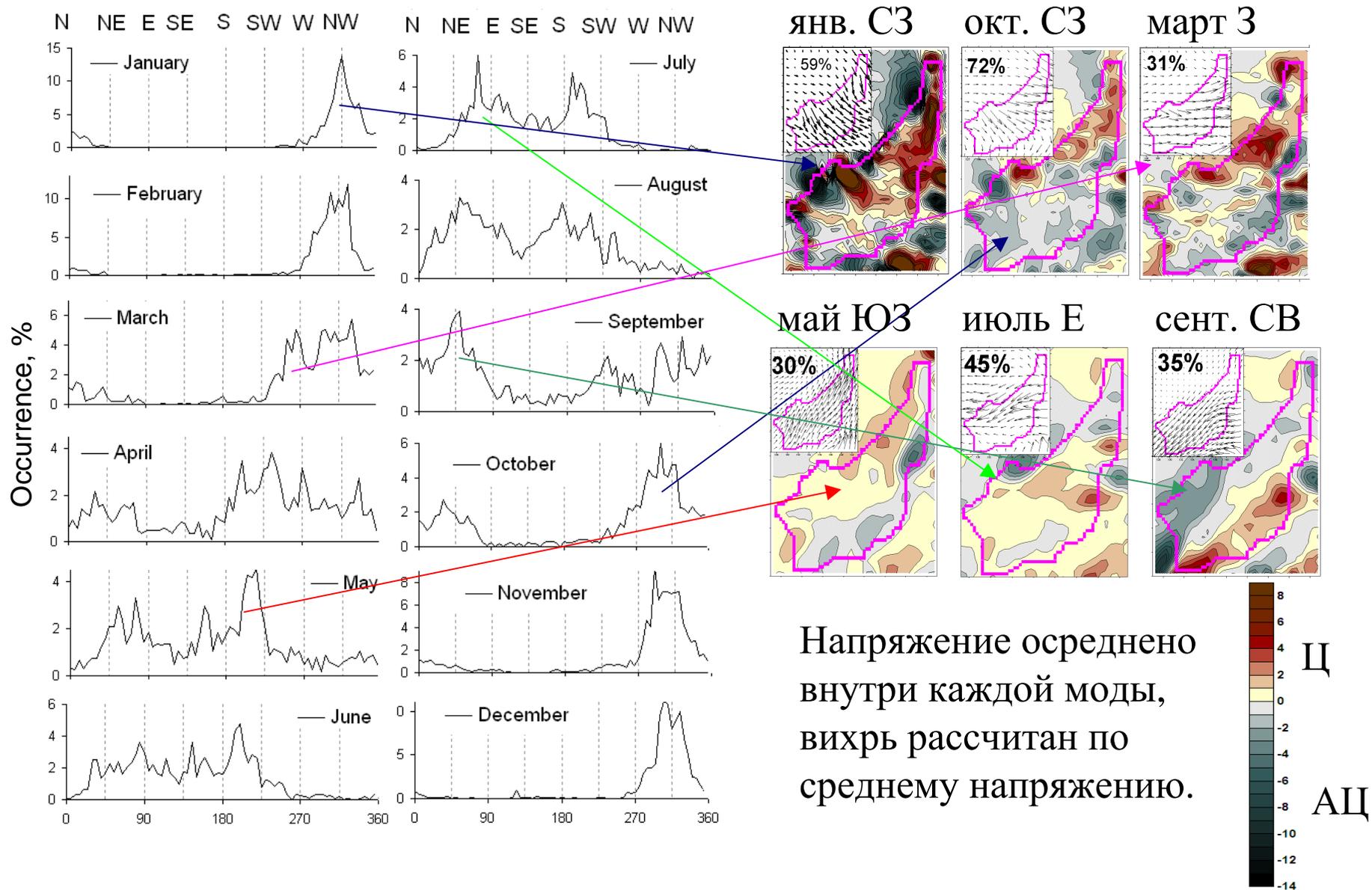
Осень: В → СВ → С → СЗ



Осень: В → ЮВ → ЮЗ → З → СЗ

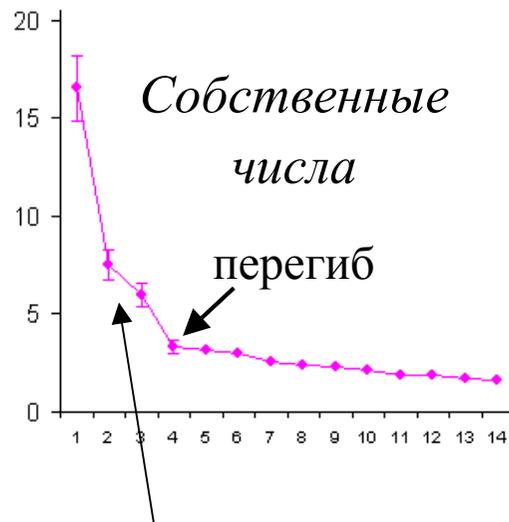
(показан 1 вектор каждые 5 дней)

# Типовые поля напряжения и вихря ветра



Напряжение осреднено  
 внутри каждой моды,  
 вихрь рассчитан по  
 среднему напряжению.

# Разложение вихря ветра (только над водной поверхностью)

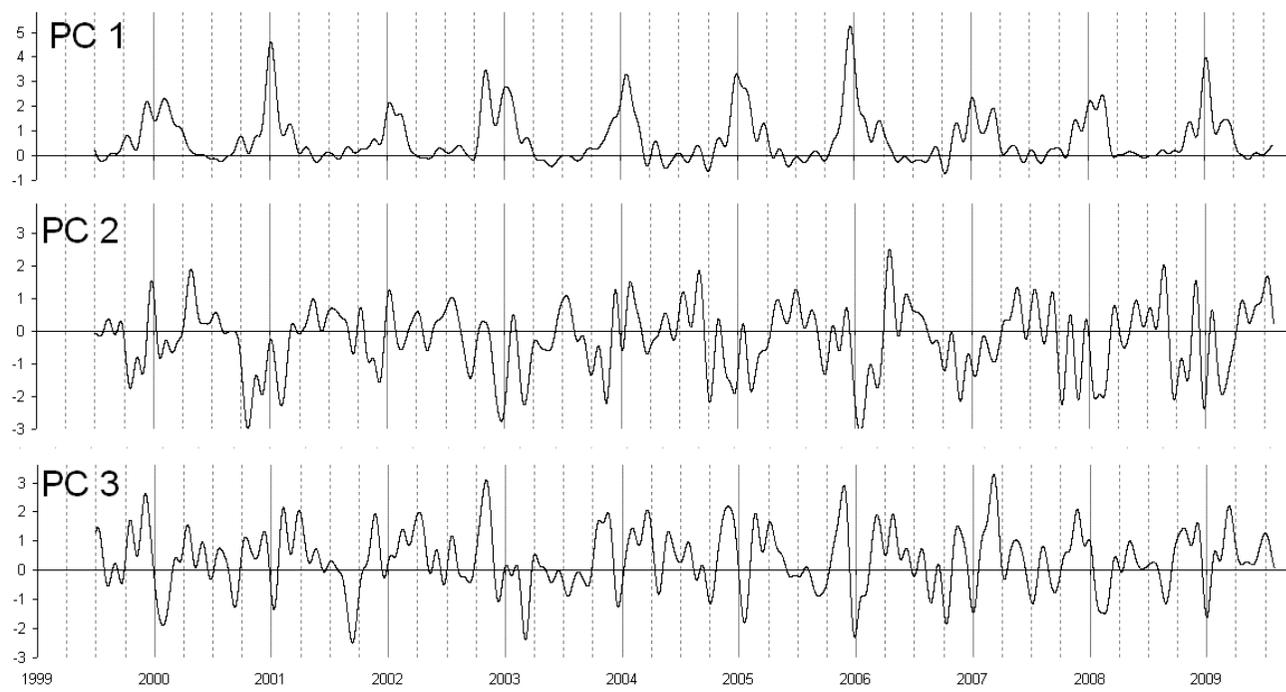
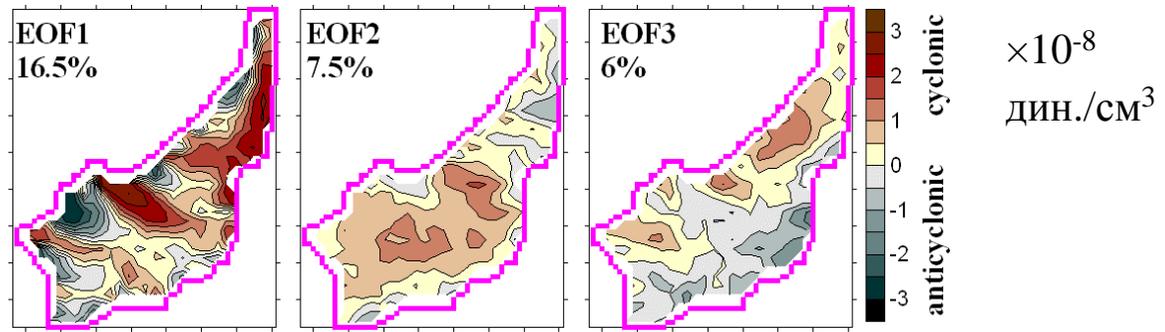


Низкочастотная вейвлет-фильтрация полей вихря, с удалением периодов меньше 40 дней.

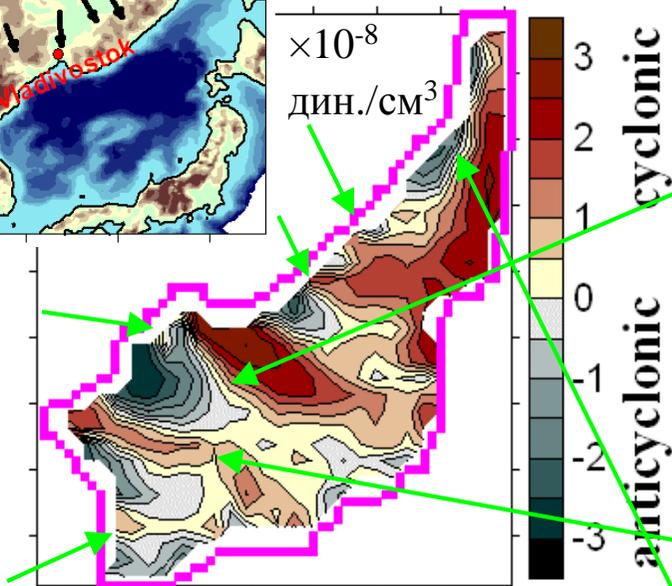
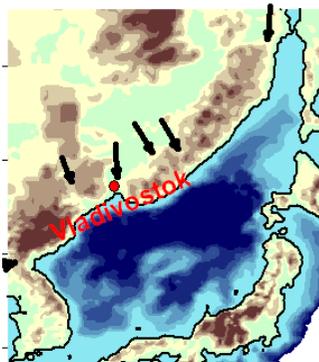
ЭОФ 1-3 статистически значимы.

ЭОФ 1 можно рассматривать отдельно.

ЭОФ 2 и 3 лучше рассматривать вместе.

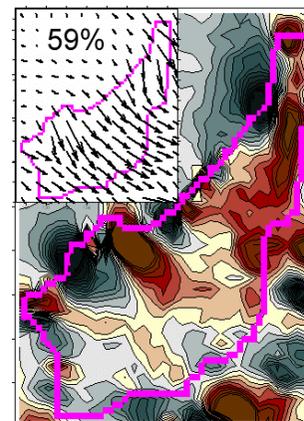


# Зимняя мода (ЭОФ 1)

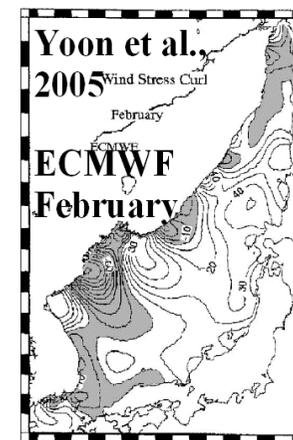


Район отрыва ВКТ от берега

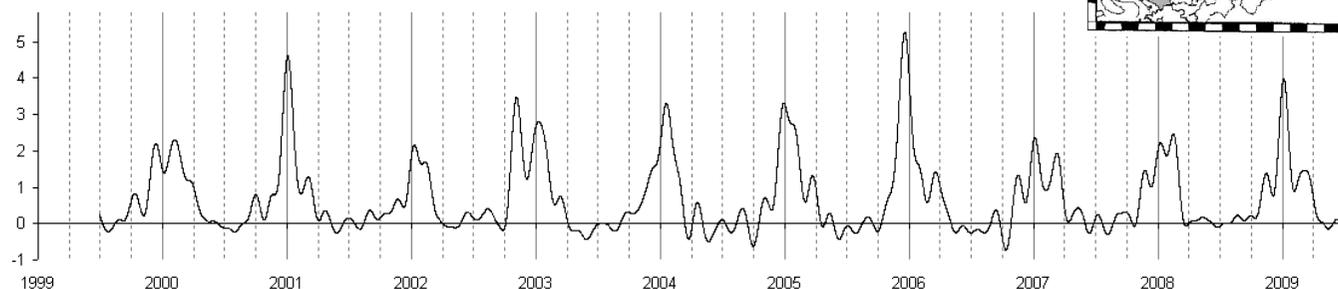
Ц вихрь;  
 вихревой диполь  
 (Kawamura and Wu,  
 1998; Дашко и  
 Варламов, 2003);  
 диполи вдоль  
 побережья  
 Приморского и  
 Хабаровского края,  
 зона Ц вихря от Вост.-  
 кор. залива.  
 зона АЦ вихря вдоль  
 берега Хаб. края.



Типовое поле СЗ  
 ветра для января



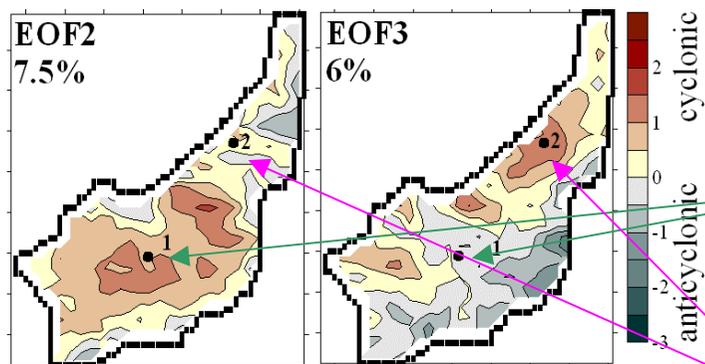
*Сильная мода:*  
 зима 2000/2001,  
 2005/2006  
*Слабая мода:*  
 зима 2001/2002  
 2006/2007,  
 2007/2008



ГК 1 отлична от нуля с ноября по середину марта

# Мода теплого сезона: суммарный эффект ЭОФ 2 и 3

## Оценка вклада ЭОФ 2 и 3

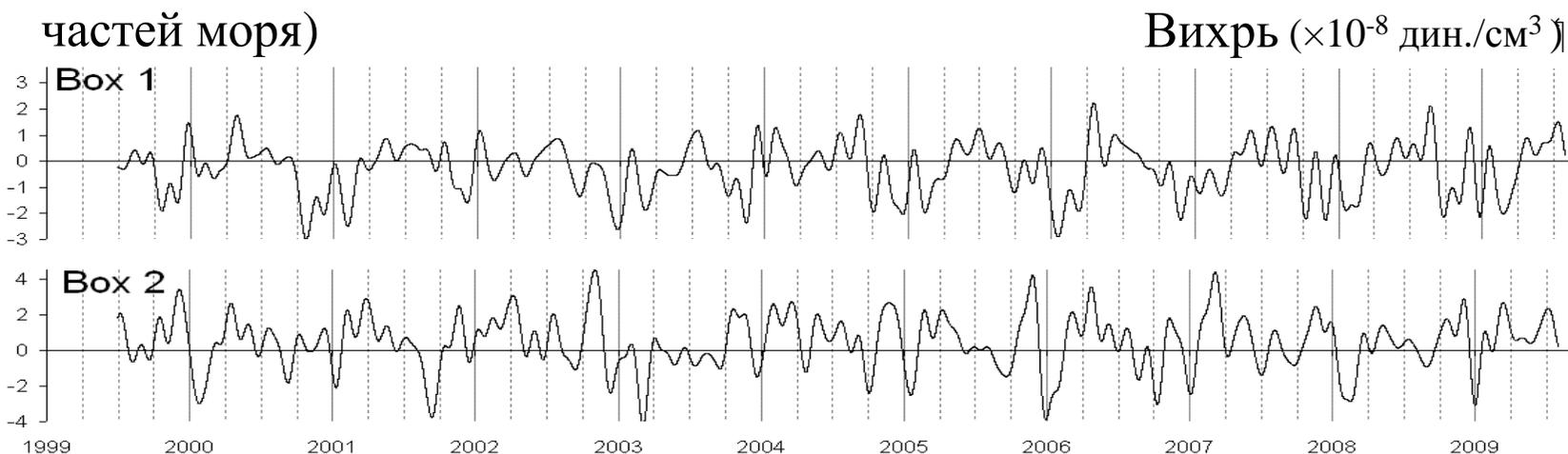


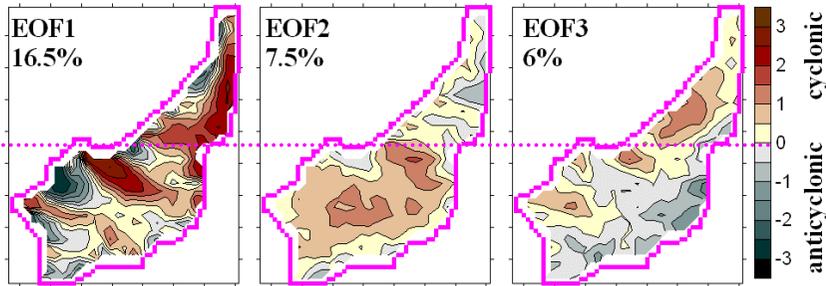
$$X_{1,2}(t) = A_2(r_{1,2})B_2(t) + A_3(r_{1,2})B_3(t)$$

Кв. 1 («широкая» часть моря к югу от 43° с.ш.): преобладает ЭОФ 2,  $\text{corr}(\text{ГК2}, X_1) = 0.98$

Кв. 2 (северная часть моря и Татарский пролив): преобладает ЭОФ 3,  $\text{corr}(\text{РС3}, X_2) = 0.97$

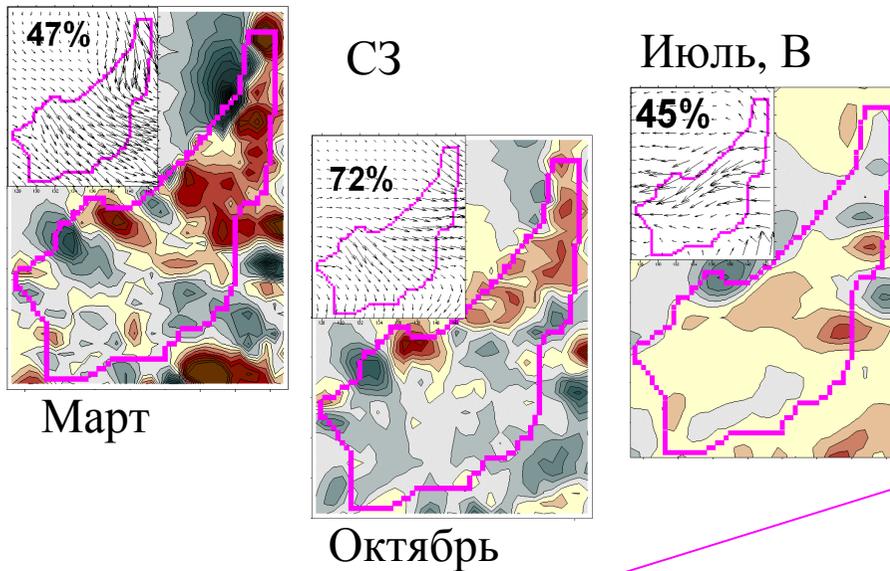
Противофаза районов к северу и югу от 43° с.ш. («широкой» и «узкой» частей моря)



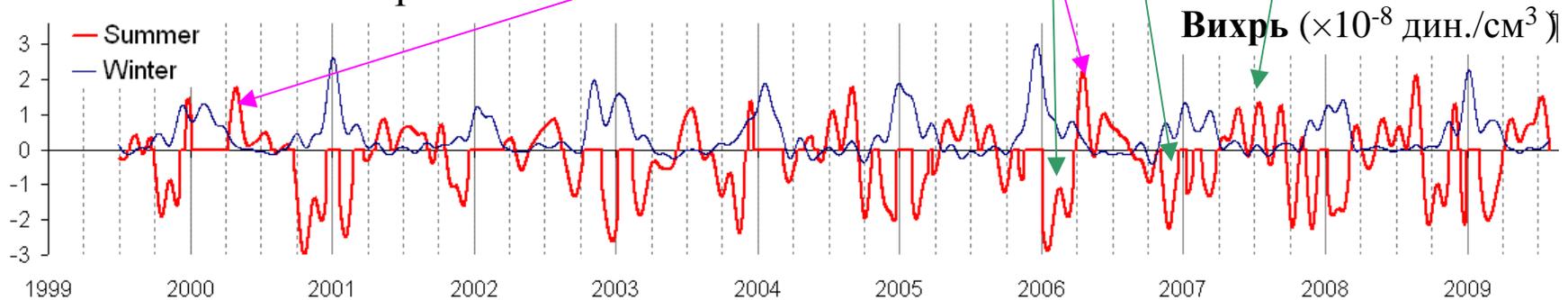


## Мода теплого сезона: (к югу от 43° с.ш.)

АЦ вихрь в конце зимы и  
осенью, колебания между  
нулевым и Ц вихрем во 2й  
половине лета.

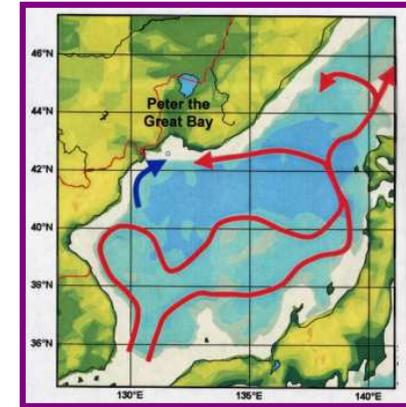
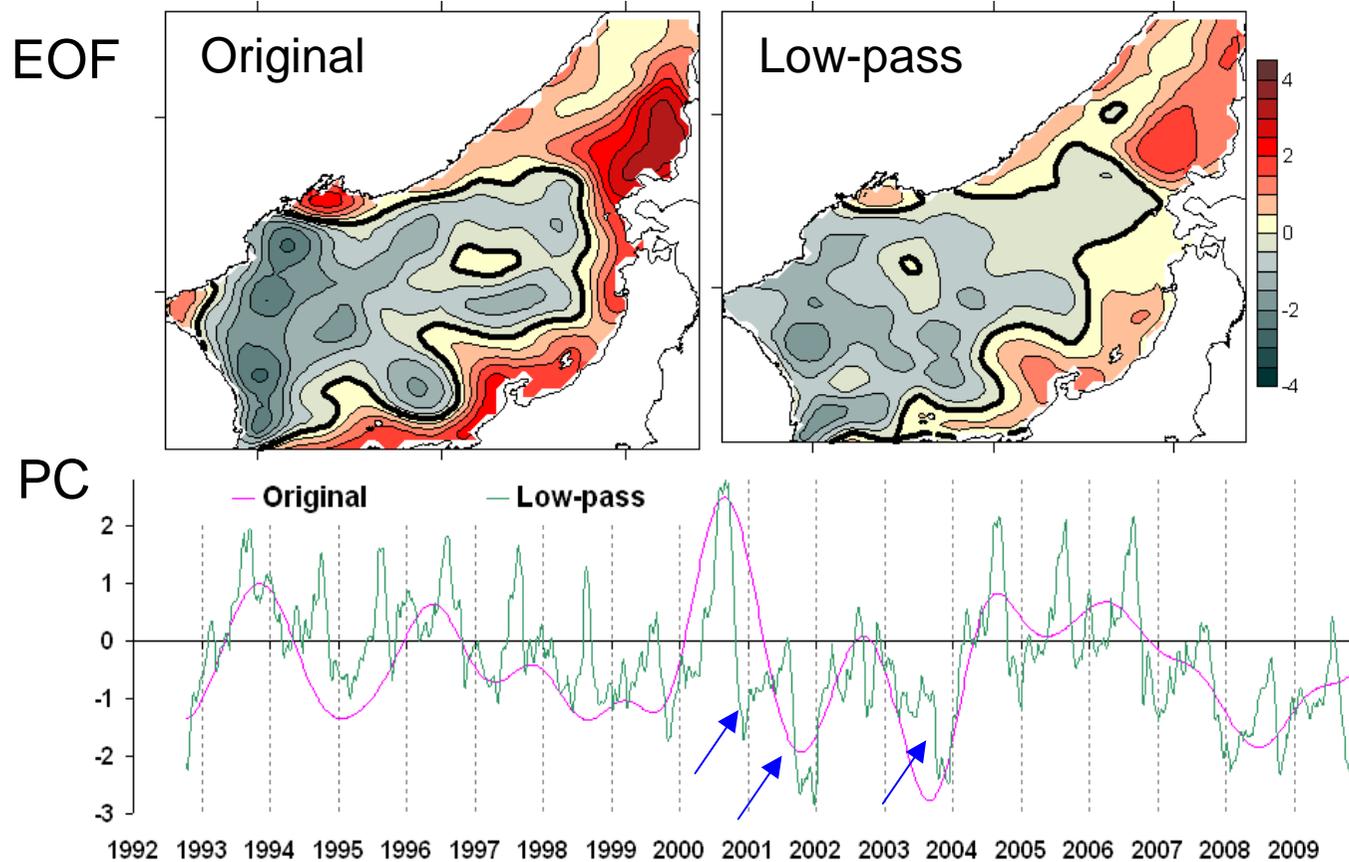


*Апрель 2000, 2006:*  
сильный Ц вихрь.



$$|\xi_{\text{лето}}| \neq 0 \text{ если } > |\xi_{\text{зима}}|$$

# Seasonal and interannual Pathway Mode (AVISO altimetric 0.25°-gridded SLA)



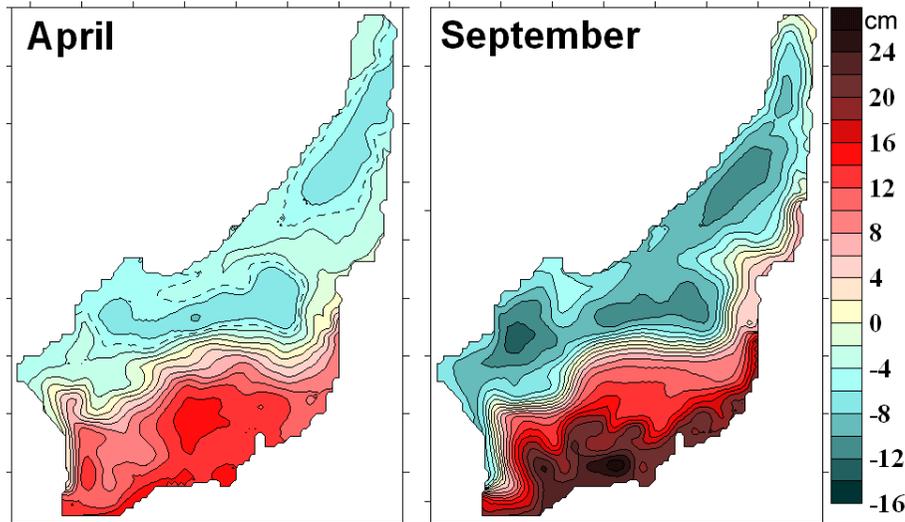
Seesaw between the western/central JES and eastern JES – between two major pathways of the northward transport of water

The third EOF mode:  
the negative phase from fall through late winter or spring,  
weakening in late winter, while the positive phase is in late summer.

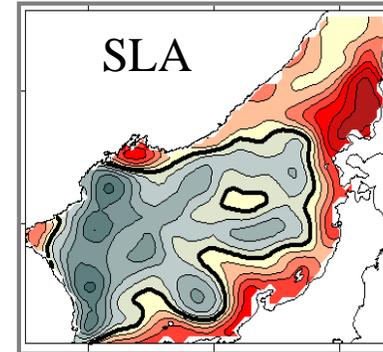
# Forcing by wind stress curl

Well known NW branch of SAF in fall (Yoon et al., 2005; Yoon and Kim, 2009; Trusenkova et al., 2005, 2009).

*Numerical simulation with an oceanic model*



NW branch of SAF in spring, as well as in fall documented from infrared satellite imagery (Nikitin, 2006).

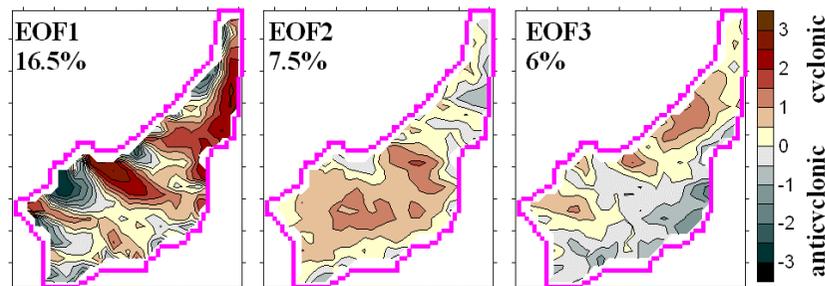
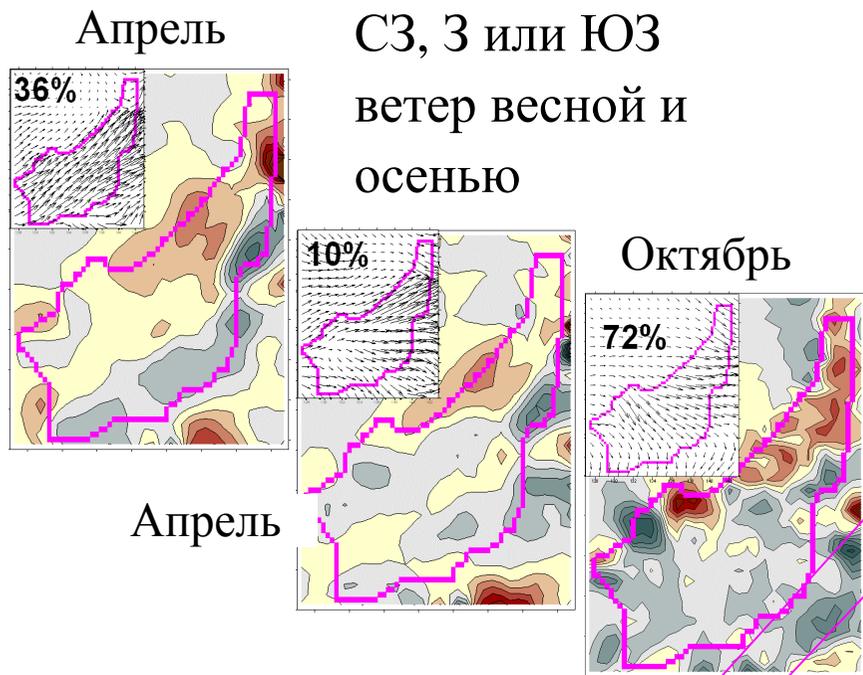


Negative phase (the intensified AC circulation in the western JES) forced by the AC wind curl in fall and late winter/spring – 'anticyclonicity'.

Positive phase (the intensified TWC and its westward branch) forced by the C curl in late summer – 'cyclonicity'.

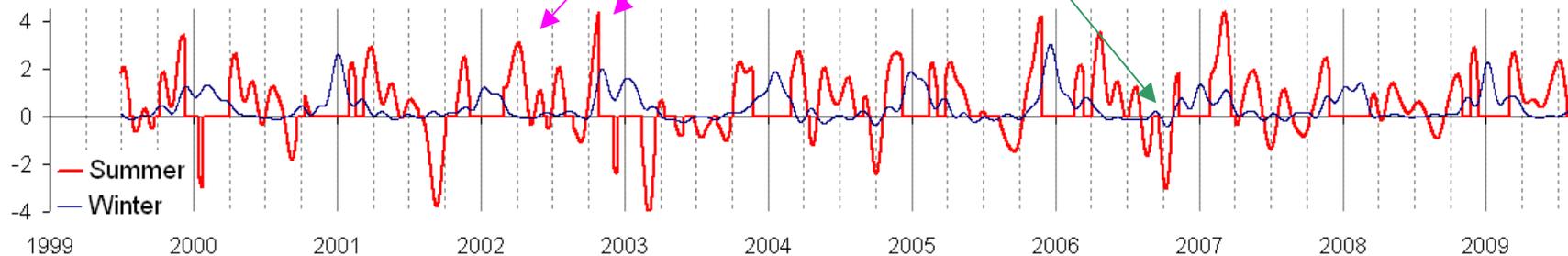
SSH pattern for September corresponds to the summer circulation scheme by Yoon and Kim (2009).

# Мода теплого сезона: северная часть моря



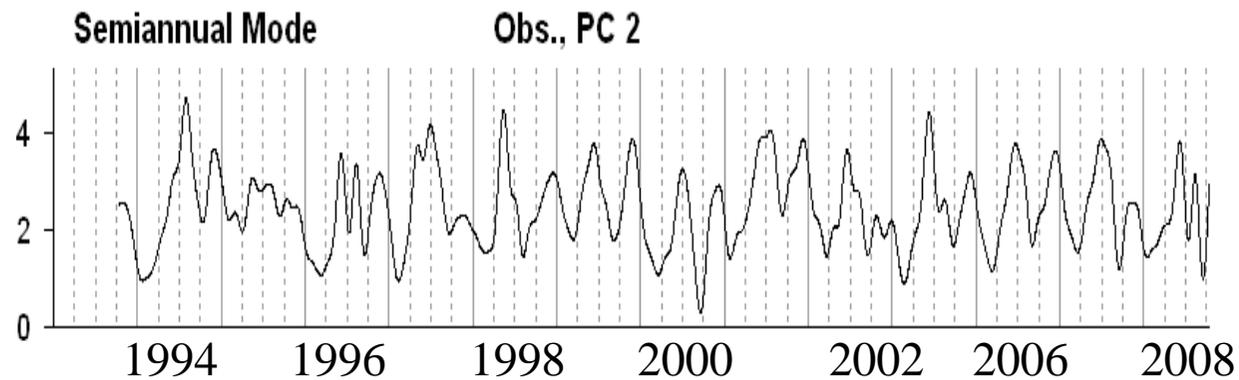
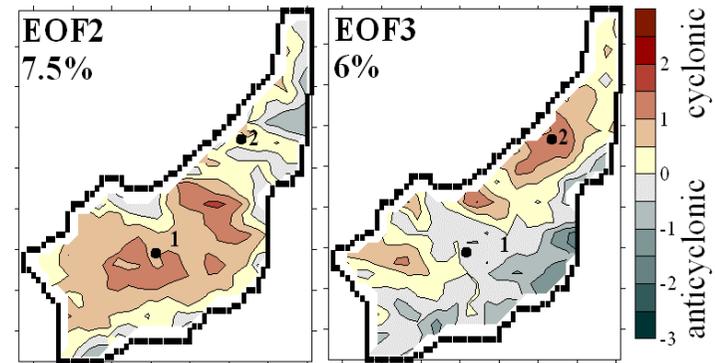
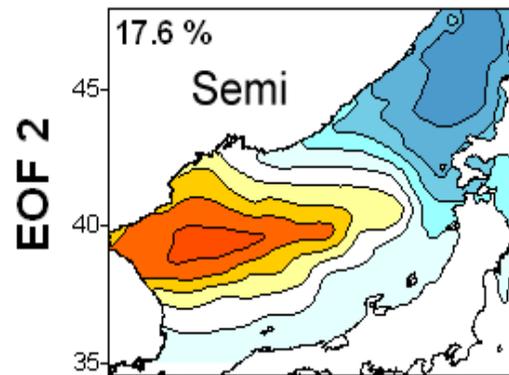
Ц вихрь весной и осенью, слабый ветер или АЦ вихрь в конце лета

Июль 45%



$$|\xi_{\lfloor \Sigma \rfloor}| \neq 0 \text{ если } > |\xi_{\lfloor \rho \rfloor}|$$

# Полугодовые АТПМ: противофаза между северной и западной частями моря



Ежедневные данные ТПМ: JMA SST, 1993-2008 гг.

# Выводы

- КЭОФ 1 поля напряжения ветра – это мода восточно-азиатского муссона, с характерными сезонными поворотами ветра и распределением вихря; вклад младших мод несущественен.
- Результаты уточняют полученные ранее по данным реанализа.
- ЭОФ 1 поля вихря ветра соответствует его пространственно-временному распределению в период зимнего муссона.
- Периоду летнего муссона свойственна противоположность вихря ветра над «широкой» (более южной) и «узкой» (северной) частями моря.
- В конце зимы и осенью над “широкой” частью моря преобладает АЦ вихрь, во 2й половине лета происходят колебания между Ц и нулевым вихрем.
- Весной и осенью над северной частью моря преобладает Ц вихрь ветра.



**Спасибо за  
внимание**