Выявление мод изменчивости температуры поверхности Японского моря по ежедневным спутниковым данным

О.О. Трусенкова, В.Б. Лобанов, Д.Д. Каплуненко
ТОИ ДВО РАН
Владивосток

Введение

Межгодовая и междесятилетняя изменчивость ТПО за счет вариаций локального теплообмена с атмосферой; связи с атмосферными системами:

- Сибирский максимум ~ Арктическое и Северо-атлантическое колебания
- Северо-тихоокеанский максимум
- Алеутская депрессия (Minobe et al., 2004; Park and Chu, 2006)
- струйное течение в верхней тропосфере.

Физический механизм формирования АТПО за счет динамических процессов: турбулентное вовлечение на нижней границе ВКС (Федоров и Гинзбург, 1988):

- локальная завихренность ветра (дивергенция поверхностных течений)
- адвекция тепла течениями и структурами синоптического масштаба.

Интенсивная синоптическая динамика в Японском море.

Доступность данных о ТПО высокого разрешения.

Цель работы

Выявление динамически обусловленных аномалий температуры поверхности Японского моря на основе статистического анализа ежедневных полей высокого разрешения

Данные ТПМ

Daily New Generation (NG) **SST**, Tohoku University, Sendai, Japan,
1 июля 2002 г. – 9 июля 2006 г., 34.5°- 48°с.ш., 127.5°- 142°в.д.,
исходная сетка: 0.05°, усреднены до 0.25° для расчетов,
спутниковые данные, ИК и МК диапазоны

Daily Japan Meteorological Agency (JMA) **SST**,
12 октября 1993 г. – 8 ноября 2006 г., 35°- 48°с.ш., 127.5°- 142°в.д.,
сетка: 0.25°, спутниковые ИК и МК + *in situ*

Поля ветра у поверхности Земли

NCEP/NCAR Reanalysis, 4 срока в сутки, сетка: 1°x1°,
1998-2005 гг., 34°-53°с.ш., 127°-143°в.д.
(SeaWiFS Project Ancillary Data)

Комплексный ЭОФ анализ

$X(\mathbf{r}, t) = \sum A_k(\mathbf{r})B_k(t)$,

где $\mathbf{r}$ – пространственные координаты и t - время,

$X(\mathbf{r}, t) = X_r(\mathbf{r}, t) + iX_i(\mathbf{r}, t)$,

$X_r(\mathbf{r}, t)$ – вещественная часть (исходные поля),

X_i – мнимая часть, рассчитанная с помощью преобразования Гильберта,

$A_k(\mathbf{r}) = A_k(\mathbf{r})e^{-i\varphi}$ - пространственная функция (КЭОФ),

$B_k(t) = B_k(t)e^{-i\phi}$ - временная функция (ГК),

A_k / B_k – временная и пространственная амплитуда,

φ_k / ϕ_k – временная и пространственная фаза (-180°, 180°).

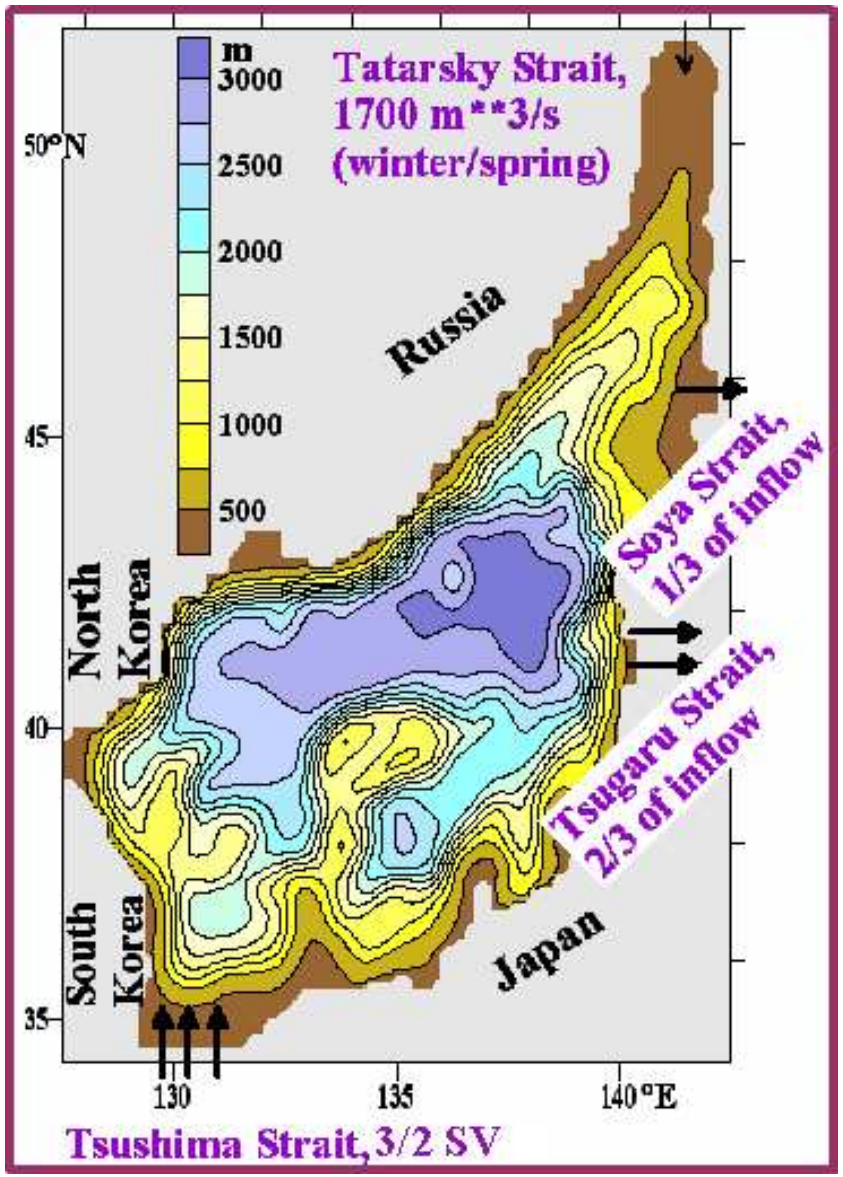
$X_a(\mathbf{r}, t) = X(\mathbf{r}, t) - A_1(\mathbf{r})B_1(t)$ – остаточные аномалии,

$X_{a'}(\mathbf{r}_0, t) = A_k(\mathbf{r}_0)B_k(t)$ – временной ряд аномалий, связанных с k-той модой в точке $\mathbf{r}_0$,

$X_{a'}(\mathbf{r}, t_0) = A_k(\mathbf{r})B_k(t_0)$ – поле аномалий, связанных с k-той модой, в момент времени t_0.

Гидротермодинамическая многослойная модель циркуляции Японского моря

(Шапиро и Михайлова, 1992-1998)

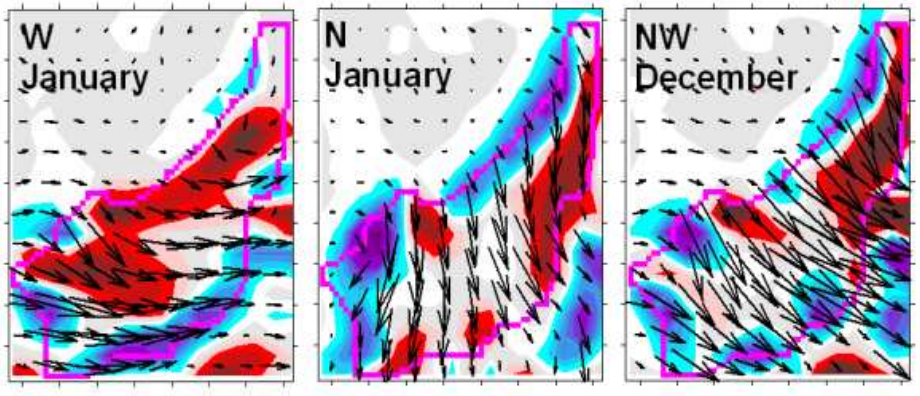


- Примитивные (полные) уравнения гидродинамики в приближениях гидростатики и Буссинеска;
- свободное перемещение поверхностей раздела по вертикали;
- термодинамический блок: баланс тепла и влаги на поверхности моря, интегральная модель ВКС, прогностические уравнения для T и S;
- переменная плотность во всех слоях в пределах, определяемых «базовой» плотностью;
- бигармоническая вязкость;
- приближение свободной поверхности моря;
- конвективное приспособление.

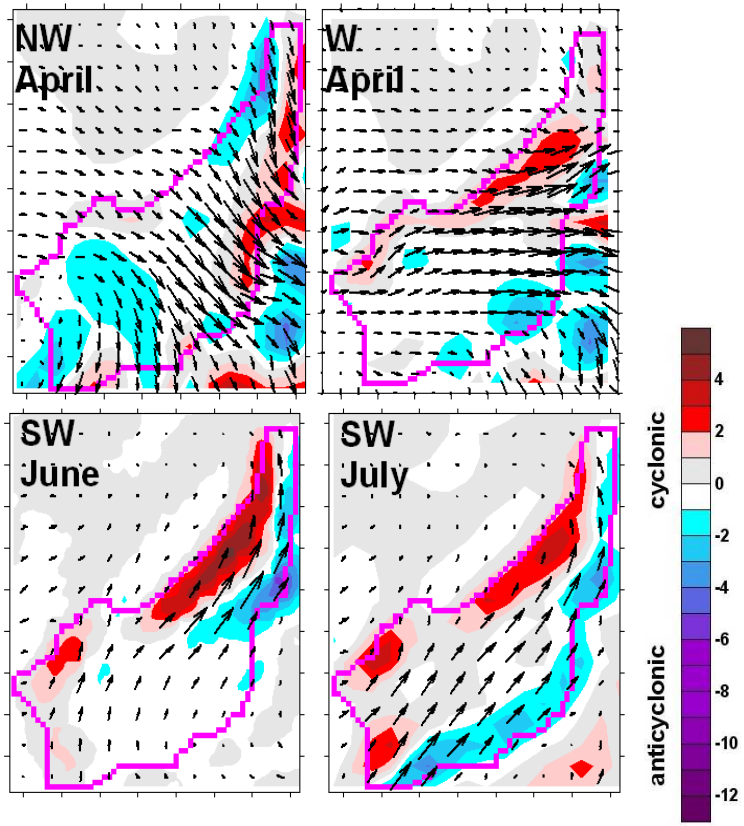
Типовые поля напряжения и завихренности ветра

(Трусенкова и др., 2007, Изв. АН, ФАО, №5)

Зимний муссон

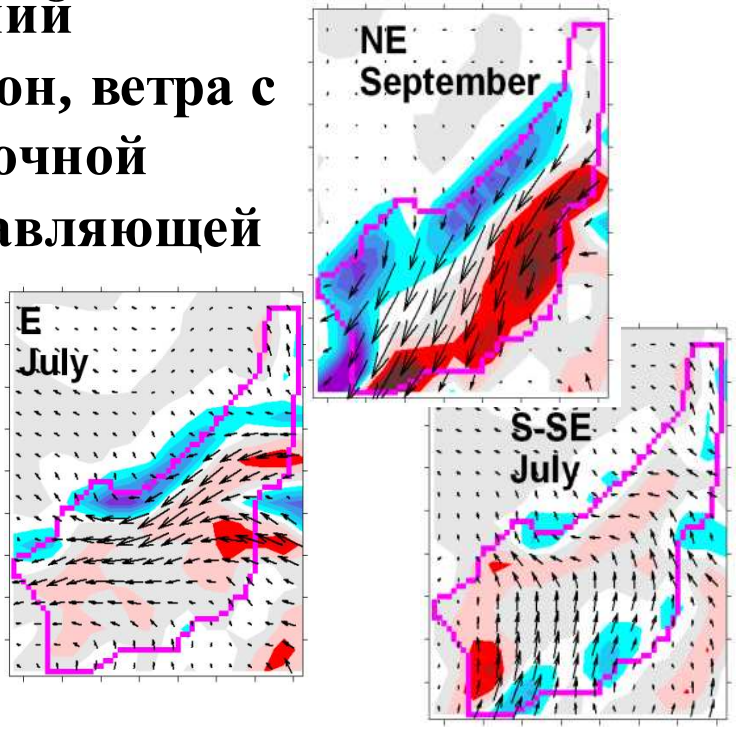


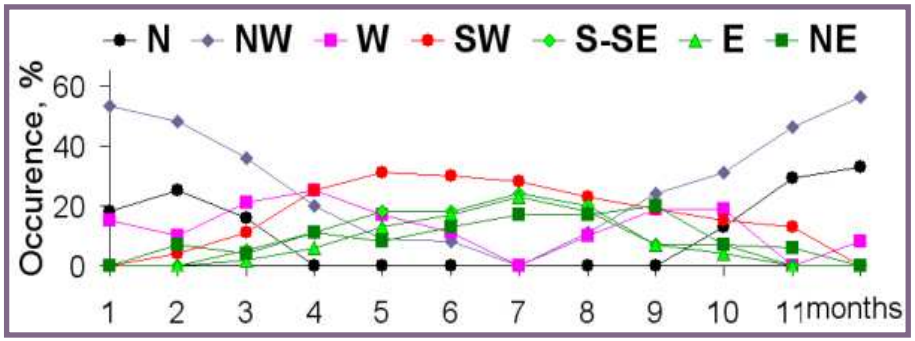
Летний муссон, ветра с западной составляющей



Вектора:
дин./см^2
изолинии:
$2x10^{-8}$
дин./см^3

Летний муссон, ветра с восточной составляющей

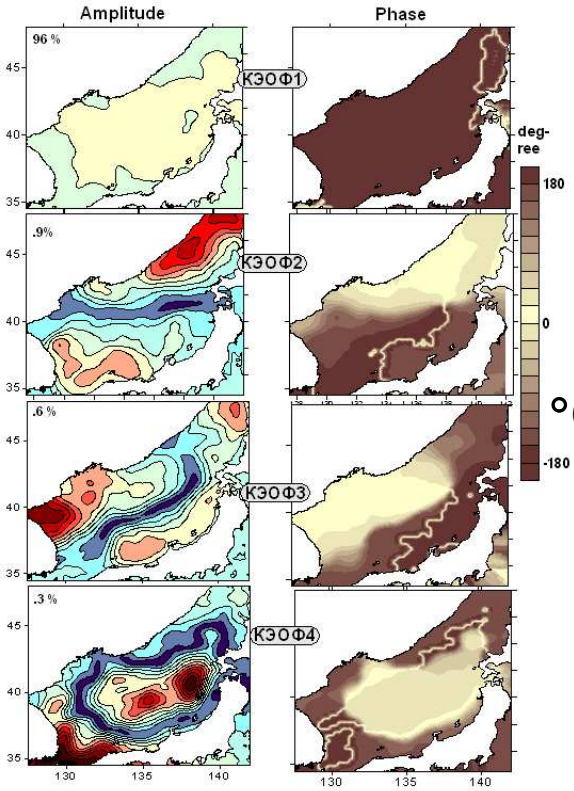


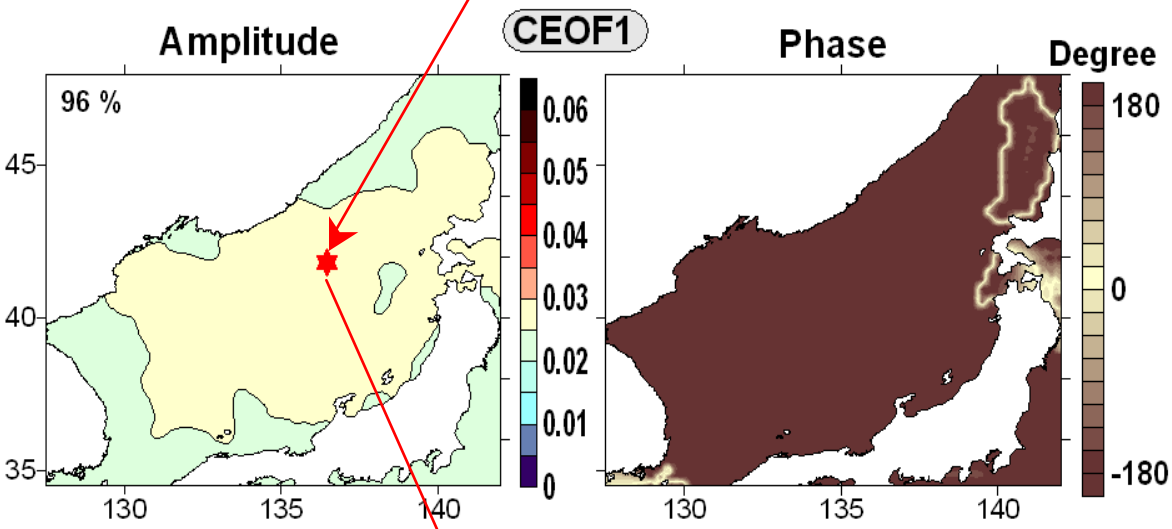


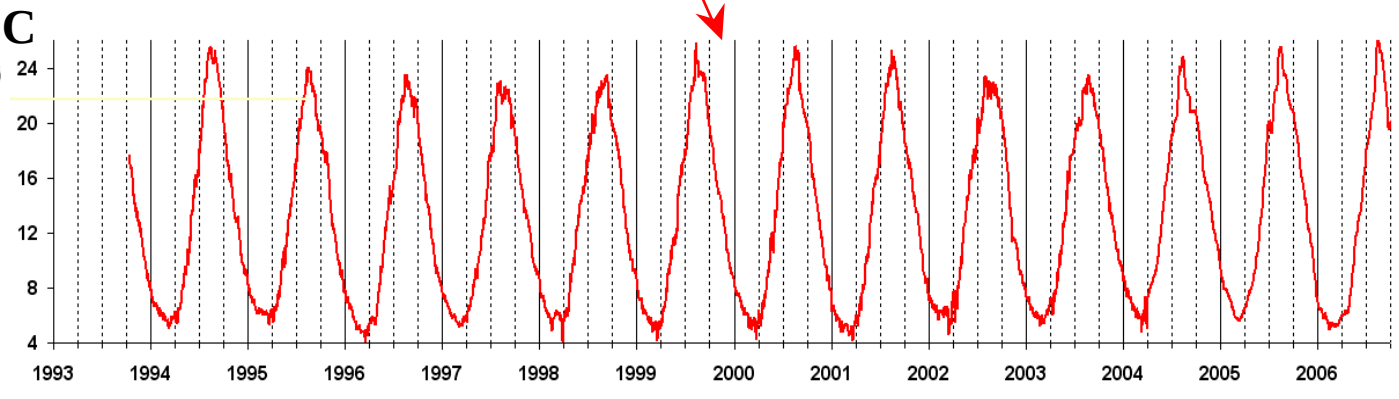
Разложение полей JMA, мода 1: средний годовой ход

Средний годовой ход:
- однородность по морю,
- минимум ТПМ в феврале-марте, максимум в августе,
- асимметрия: быстрый весенний прогрев, медленное осеннее охлаждение;
- межгодовая изменчивость за счет вариаций теплообмена с атмосферой.

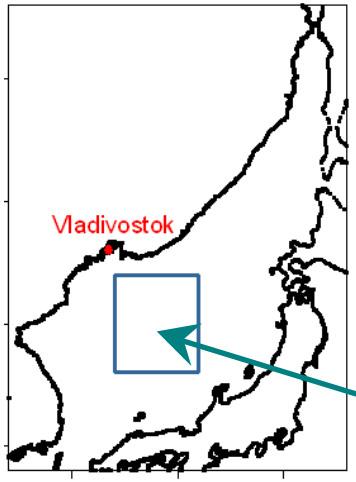
АТПМ, связанная с 1й модой:
$\mathbf{X_a}'(\mathbf{r}_0, t) = A_1(\mathbf{r}_0)B_1(t)$



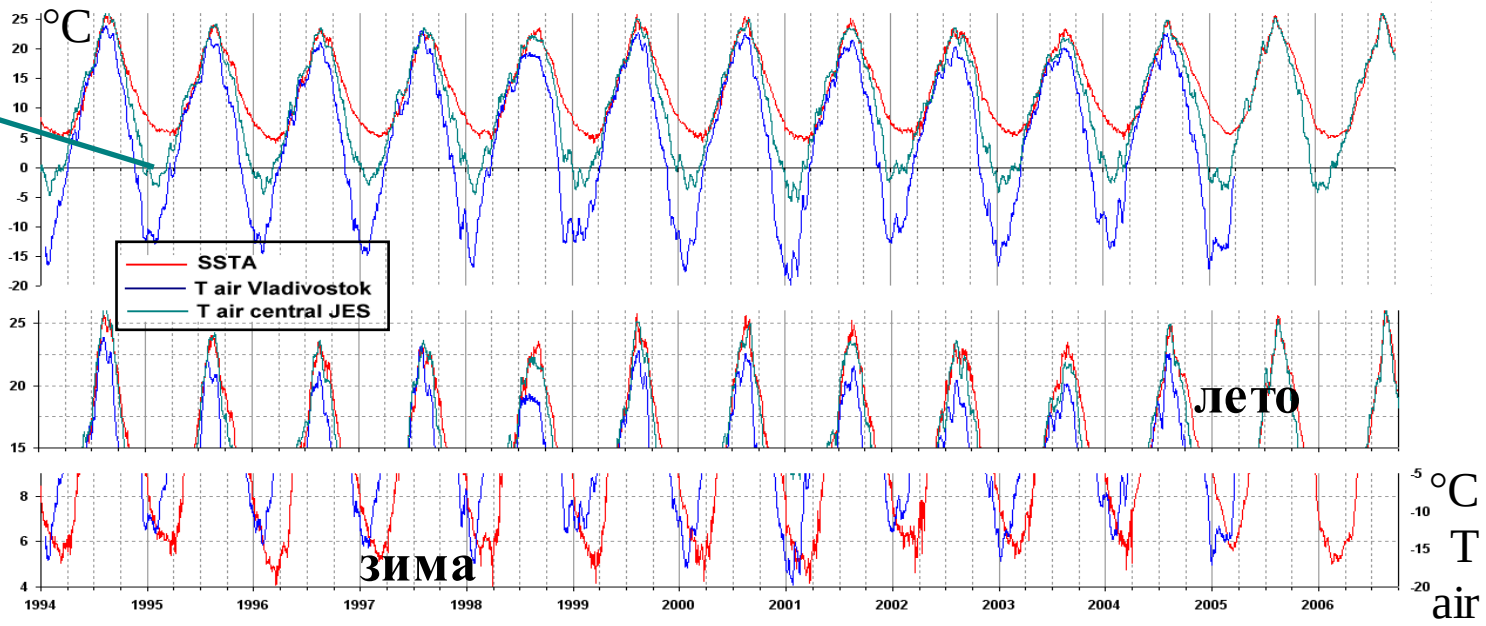


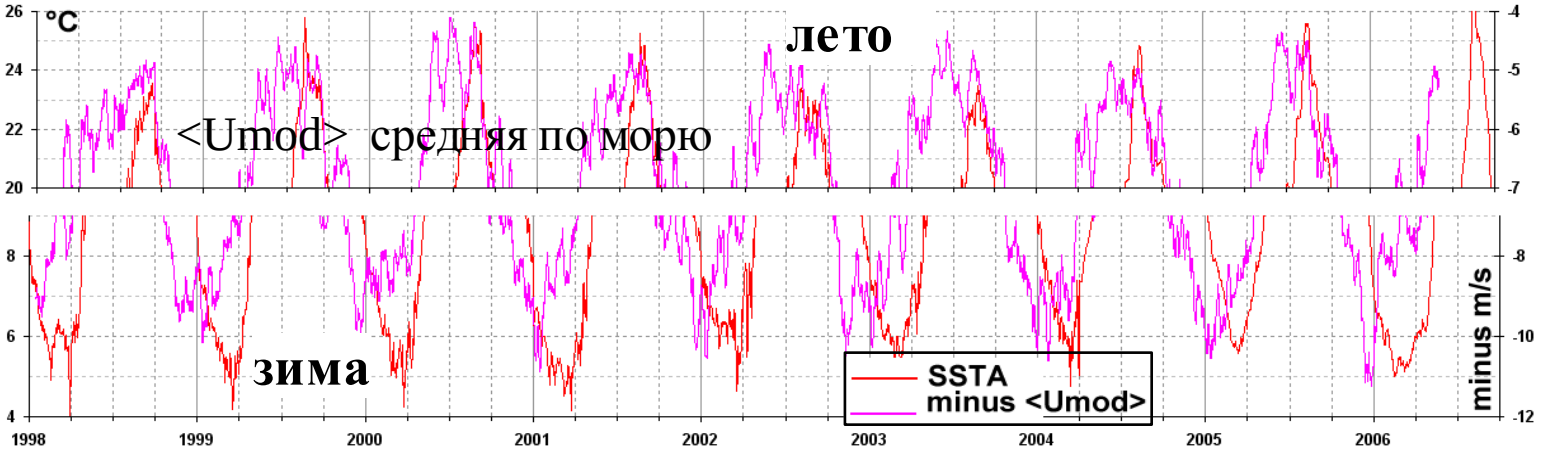


Межгодовая изменчивость годового хода за счет вариаций теплообмена с атмосферой



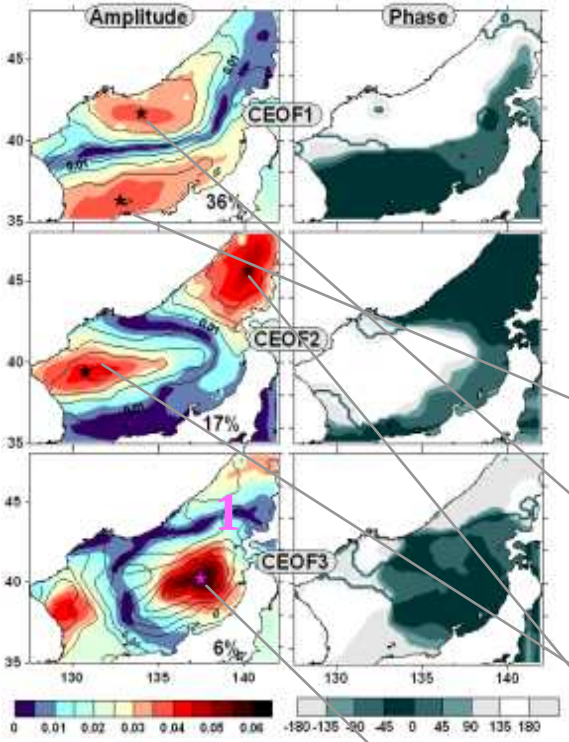
Связь АТПМ с температурой воздуха зимой и летом





Связь АТПМ со скоростью ветра летом, менее очевидна зимой

Остаточные аномалии ТПМ: сравнение полей JMA и NG



АТПМ 1го порядка получены вычитанием среднего годового хода (вклада моды 1):

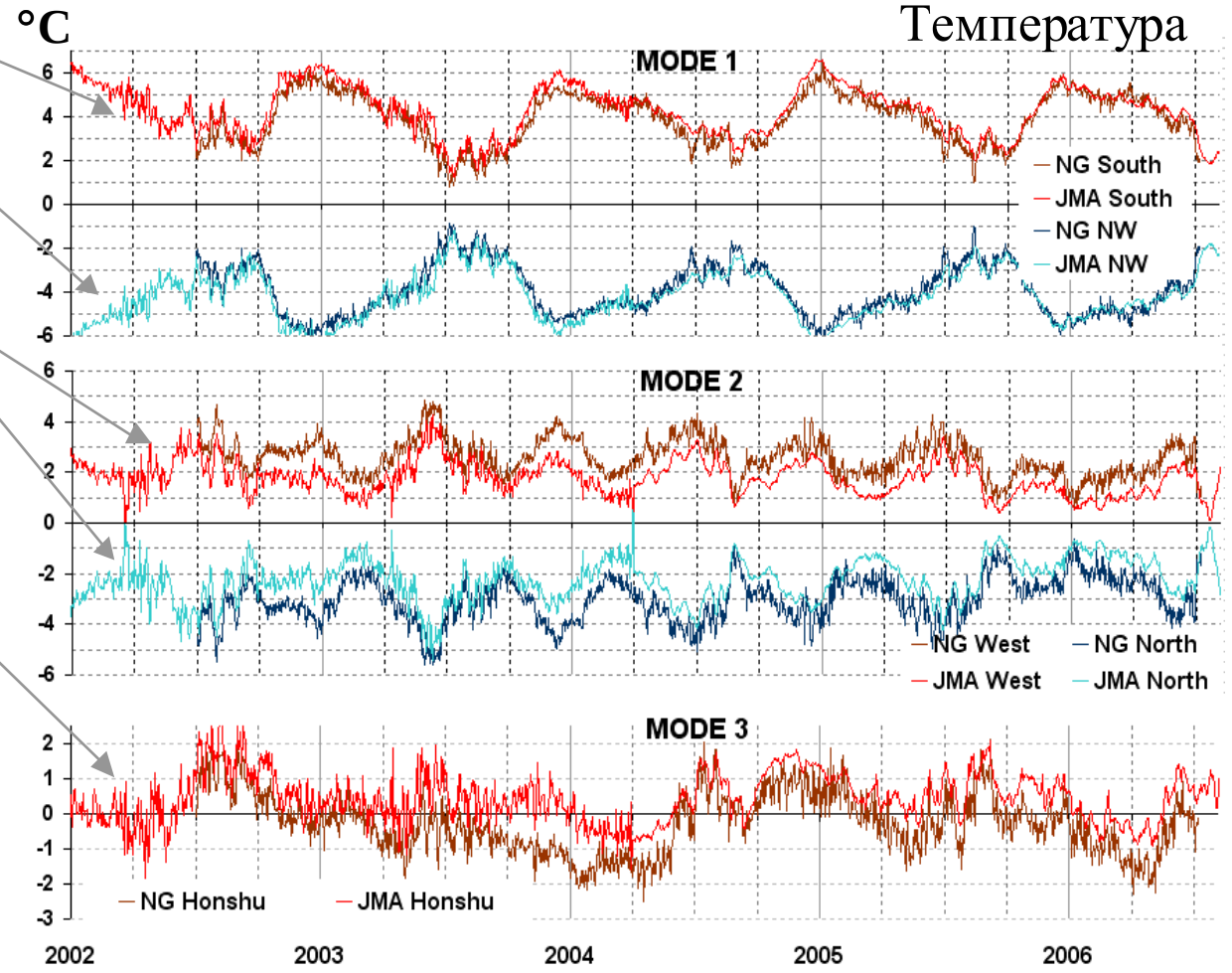
$\mathbf{X}_a^{(1)}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{X}(\mathbf{r}, t) - A_1^{(0)}(\mathbf{r})B_1^{(0)}(t)$

Амплитуда:
JMA цветом, NG линиями

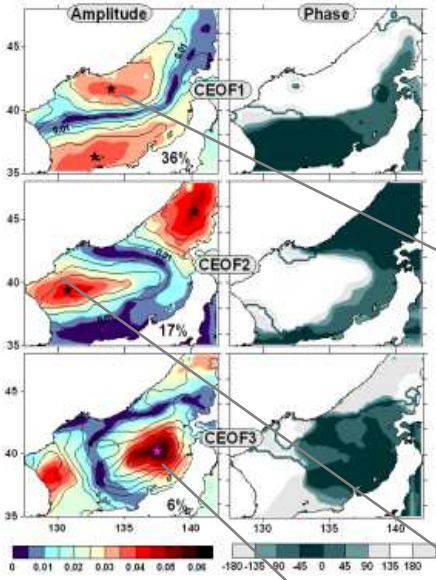
Фаза показана для JMA, для NG - аналогично

Сходные распределения для мод 1 и 2

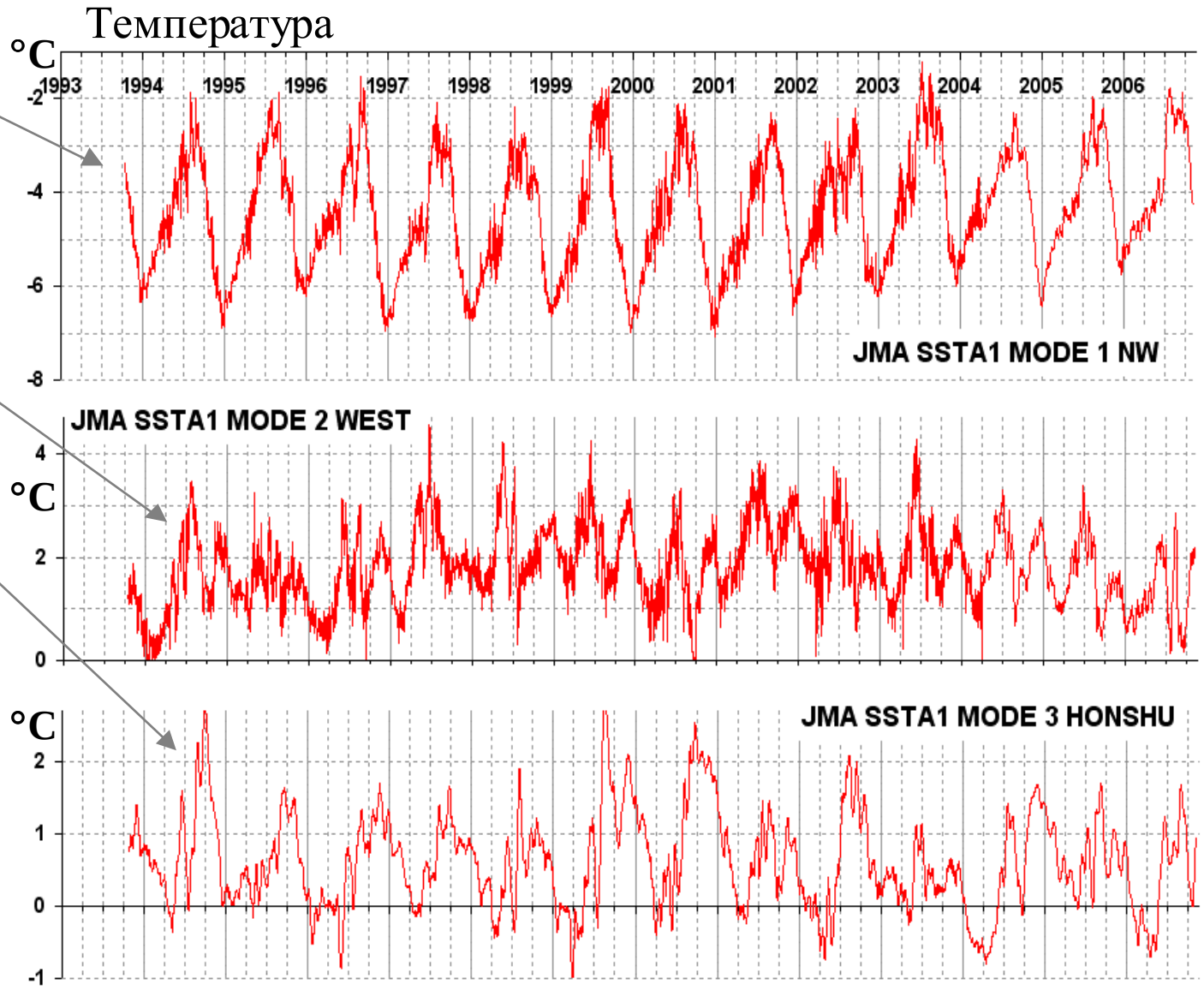
Различия для моды 3



Поля JMA: доминирующие периодичности мод 1-3

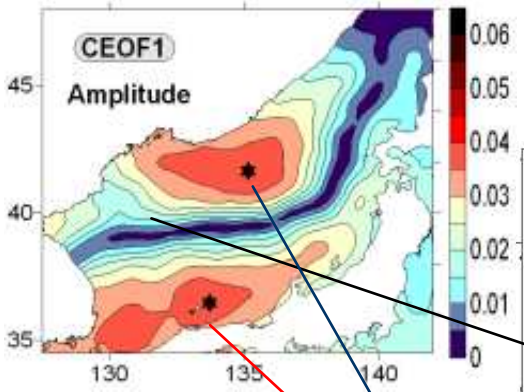


Мода 1: 12 месяцев, макс. АТПМ в декабре.
Мода 2: 6 месяцев, макс. АТПМ в мае-июне и ноябре-декабре.
Мода 3: 12 месяцев, макс. АТПМ в июле-октябре.

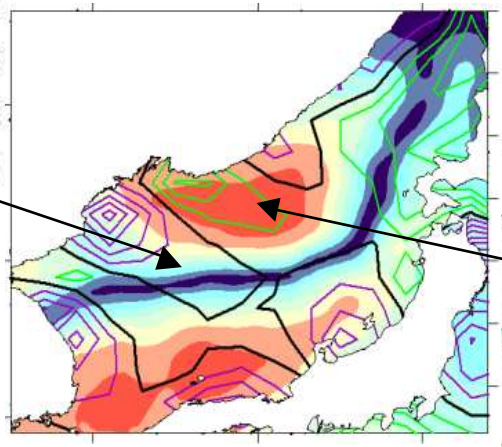


СЗ ядро

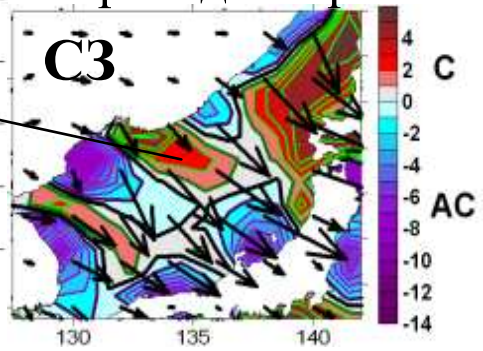
Мода 1: поправка к среднему годовому ходу



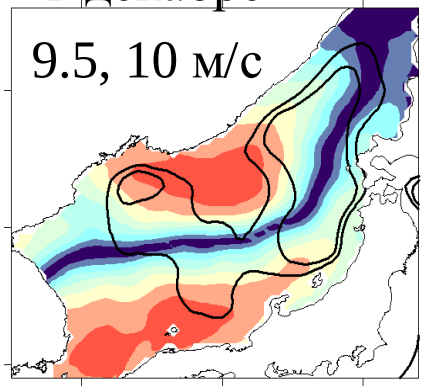
АТПМ связана с вихрем, а не со скоростью ветра



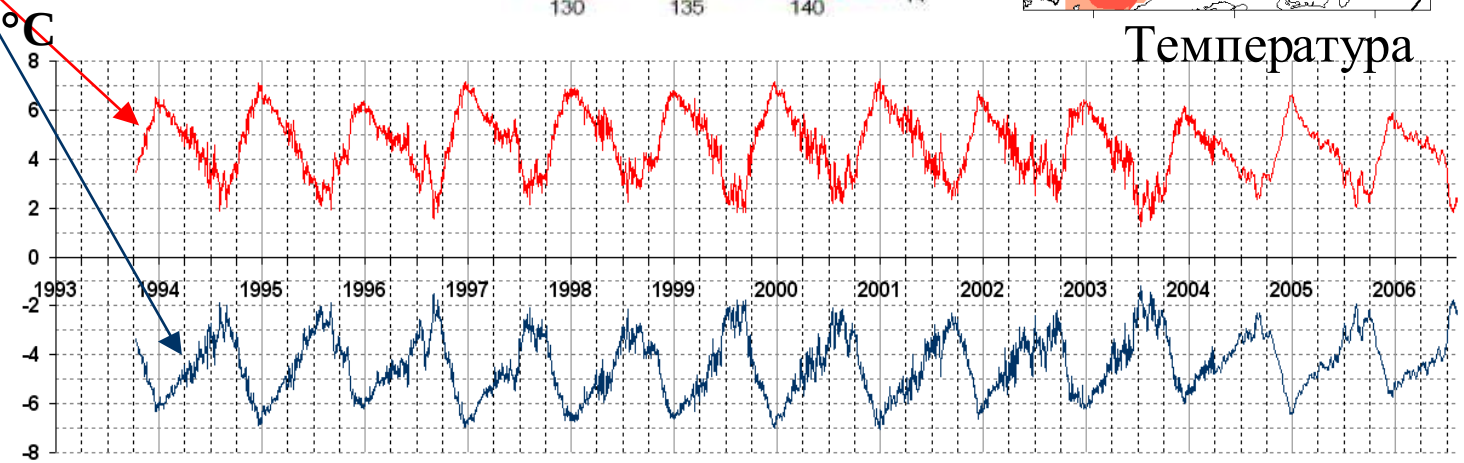
Напряжение и вихрь ветра в декабре



Скорость ветра в декабре



Температура



Макс. АТПМ в декабре

Южное ядро

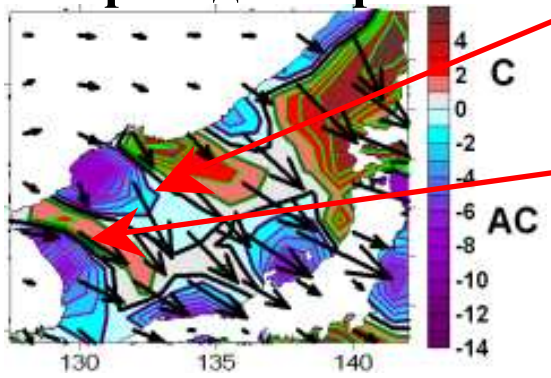
АТПМ связана с поступлением субтропических вод в Корейский пролив

Макс. расход: октябрь-ноябрь (Takikawa, Yoon, 2005)

Южное и СЗ ядра связаны с различными процессами, но имеют сходную временную изменчивость → одна мода

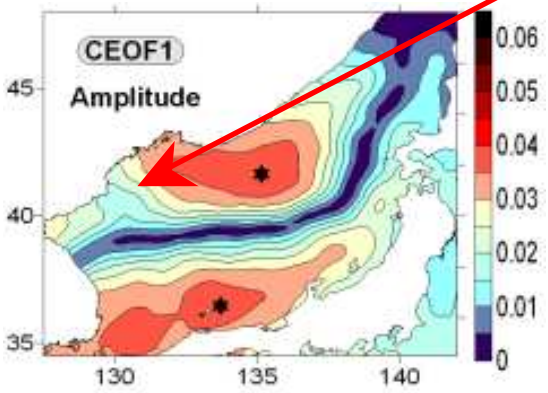
Модельная циркуляция Японского моря (осень – зима)

Напряжение и вихрь ветра в декабре



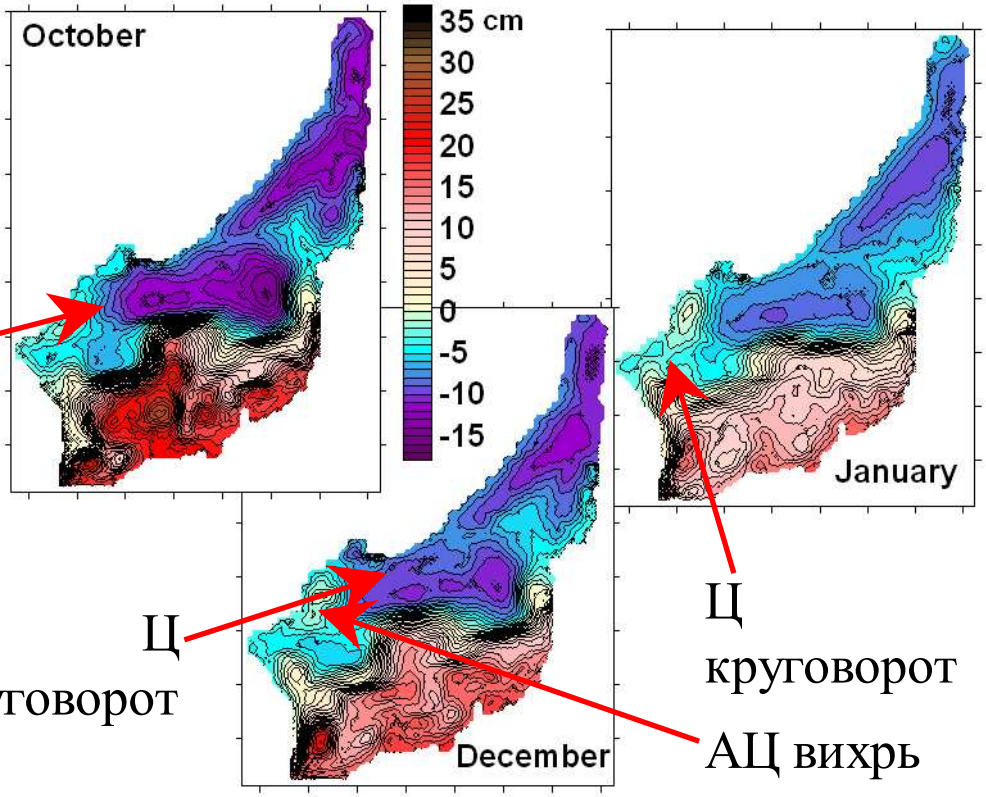
Диполь вихря

Ц вихрь



СЗ фронт (Danchenkov et al., 1997; Lobanov et al., 2001; Никитин, 2002, 2006)

Уровень моря



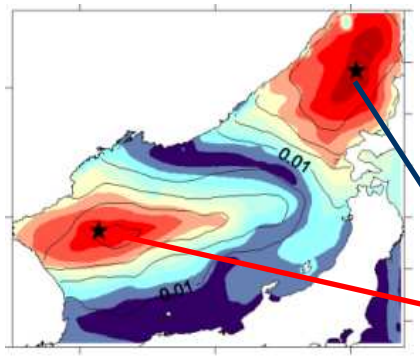
Ц круговорот

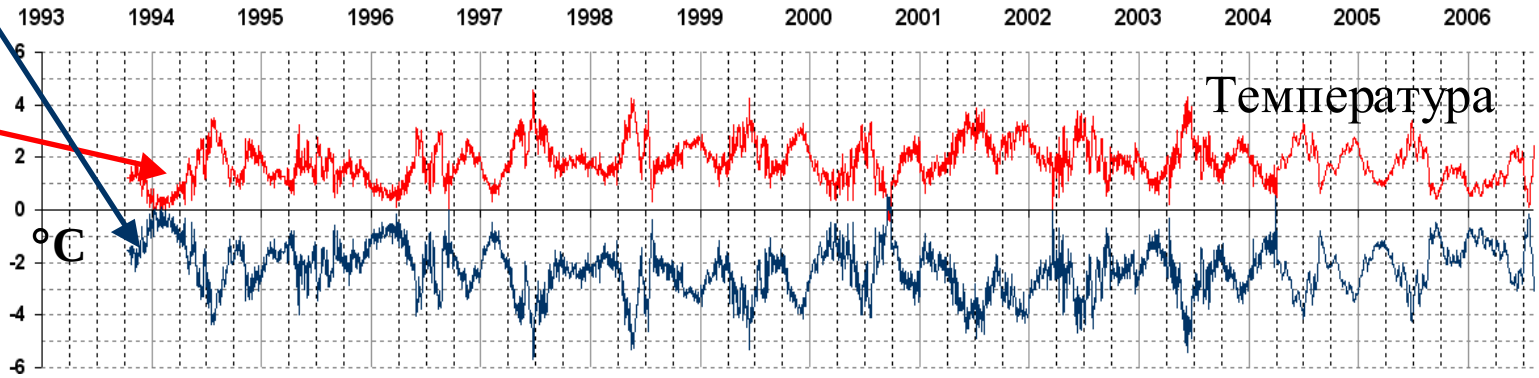
Ц круговорот

АЦ вихрь

- Диполь вихря - особенность ветрового режима в период зимнего муссона;
- понижение ТПМ за счет дивергенции поверхностных вод под воздействием Ц вихря ветра;
- воспроизведено также двухслойной моделью (Yoon et al., 2005).

Мода 2: полугодовая периодичность



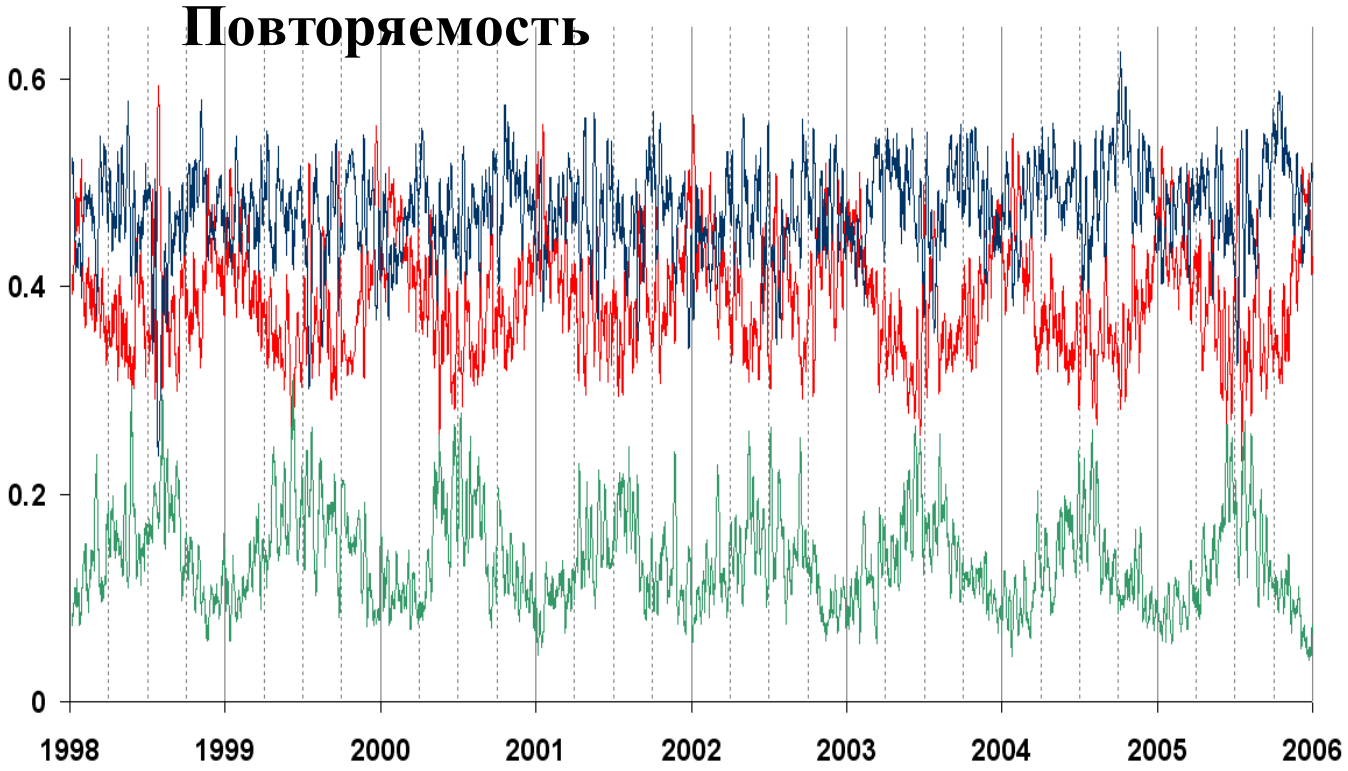


АТПМ максимальна в мае-июне и ноябре-декабре,
минимальна в феврале-марте и августе-сентябре

Полугодовой масштаб выявлен в:

- исходных полях спутниковой ТПМ, особенно в северной части Японского моря (Park and Chung, 1999);
- уровне, особенно в западной части Японского моря (Колдунов и др., 2007);
- расходе в Корейском проливе (Takikawa and Yoon, 2005);
- интегральном расходе между г. Находка и Наоетсу (Пальшин и др., 2001);
- давлении у поверхности Земли, особенно в средних широтах над СЗТО (Седов, 1990).

Полугодовая периодичность в повторяемости вихря ветра над Японским морем



Повторяемость: (доля боксов над морем):

Ц вихрь,
если $rot\tau > C_1$;
АЦ вихрь,
если $rot\tau < -C_1$;
Слабый ветер,
если $-C_1 < rot\tau < C_1$

$C1 = 0.5x10^{-8}$ дин./см^3

АЦ вихрь (синим), макс.: апрель-июнь, сентябрь-октябрь

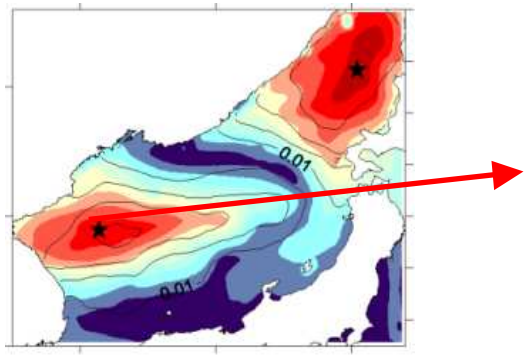
Ц вихрь (красным), макс.: зима, июль-август

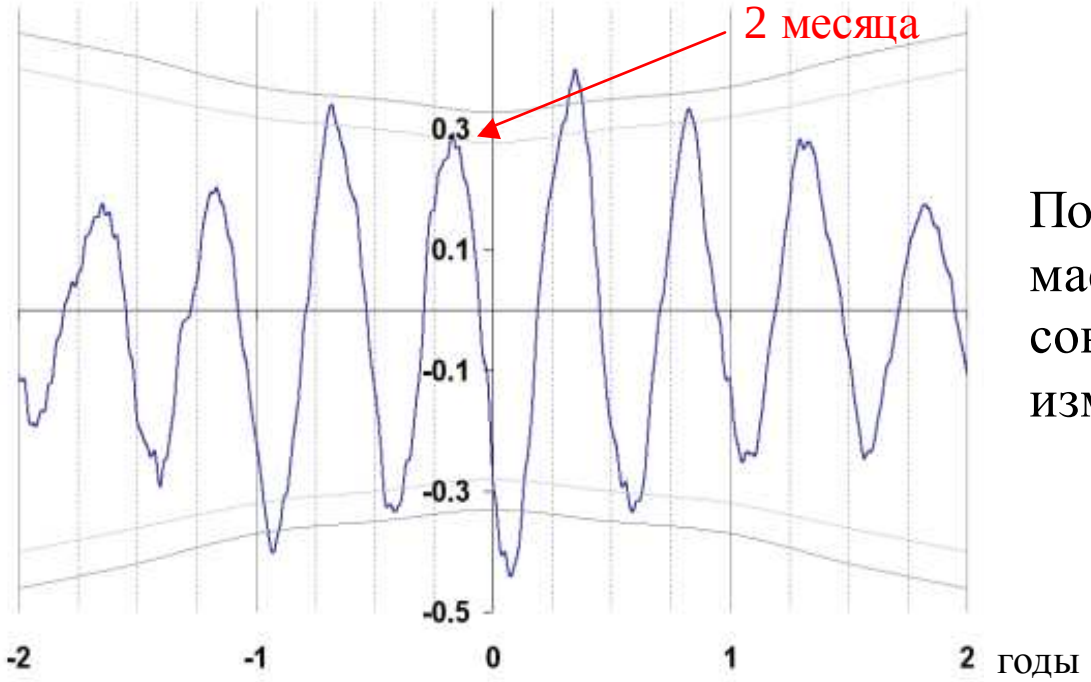
Слабый ветер (зеленым): макс. – лето, мин. - зима

- Противофаза повторяемости Ц и АЦ вихря (R = -0.67).
- Полугодовая периодичность Ц/АЦ вихря.
- Годовая периодичность слабого ветра.

Связь АТПМ в западном ядре полугодовой моды с повторяемостью АЦ вихря ветра

Лаговые корреляции:
повторяемость АЦ вихря ветра - АТПМ



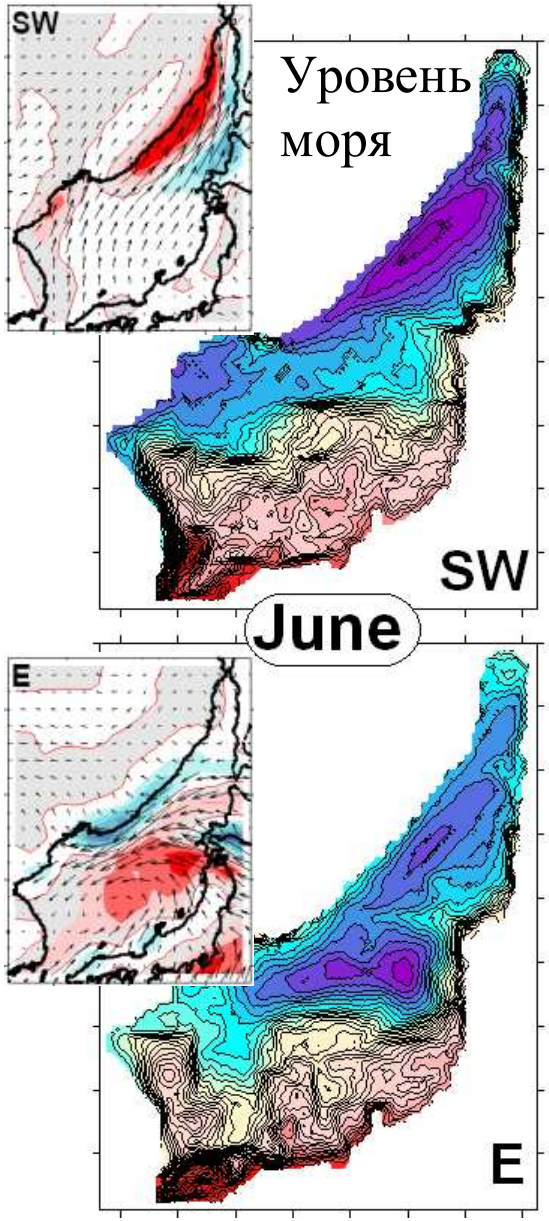


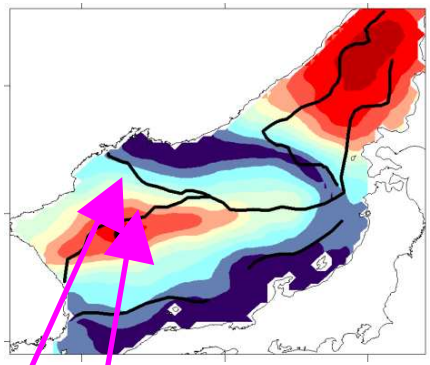
Полугодовой масштаб совместной изменчивости

АТПМ, связанные со 2й модой, запаздывают по отношению к повторяемости вихря ветра на 2 месяца

Сезонная изменчивость субарктического фронта и АЦ вихреобразование

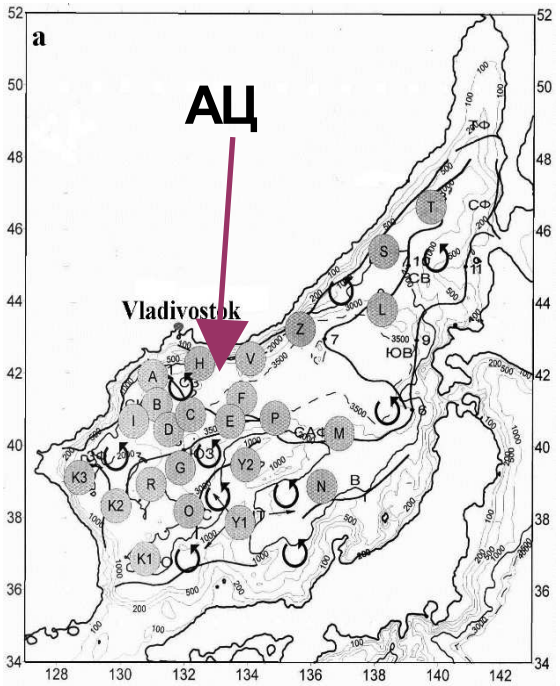
Модельная циркуляция





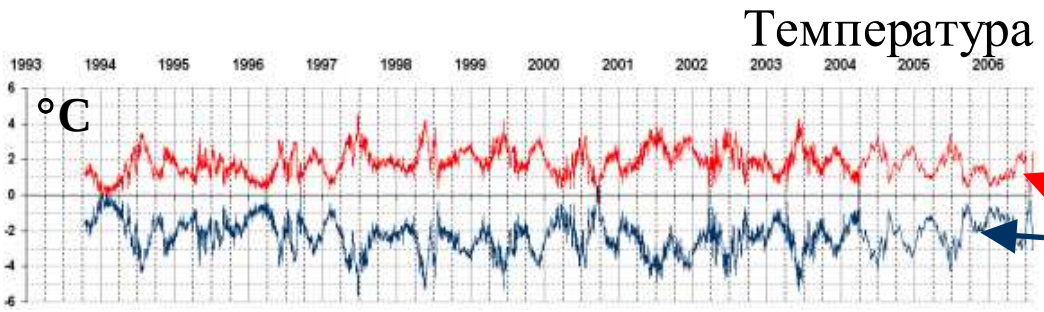
Сдвиг САФ на север в апреле-июне (Никитин, 2006)

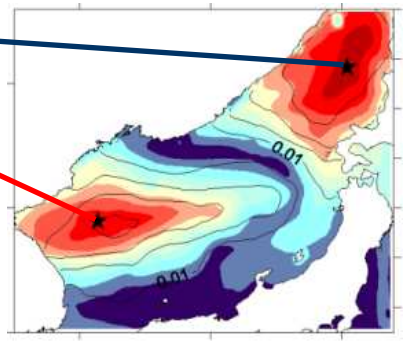
Положительные АТПМ в западном ядре полугодовой моды можно объяснить северным сдвигом САФ и интенсификацией АЦ вихреобразования, вызванными АЦ вихрем ветра.



Интенсификация вихреобразования в апреле и октябре (Никитин, 2006)

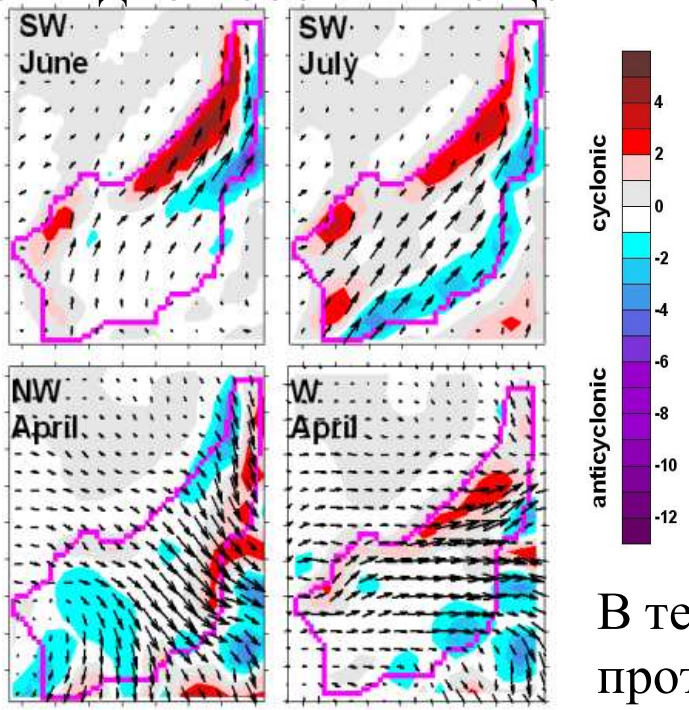
Полугодовая мода: северное ядро



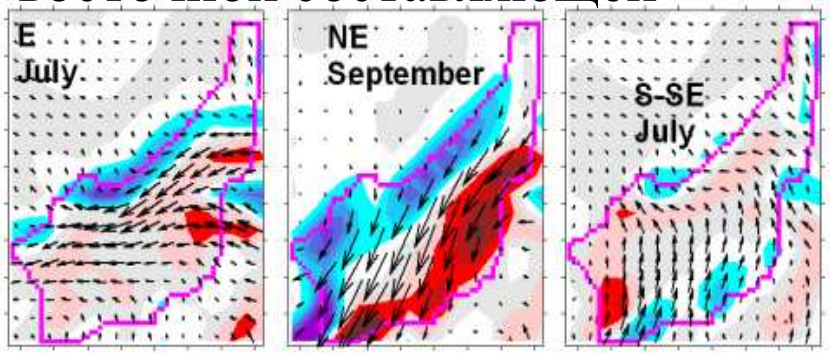


Почему противофаза?

Летний муссон, ветра с западной составляющей



Летний муссон, ветра с восточной составляющей

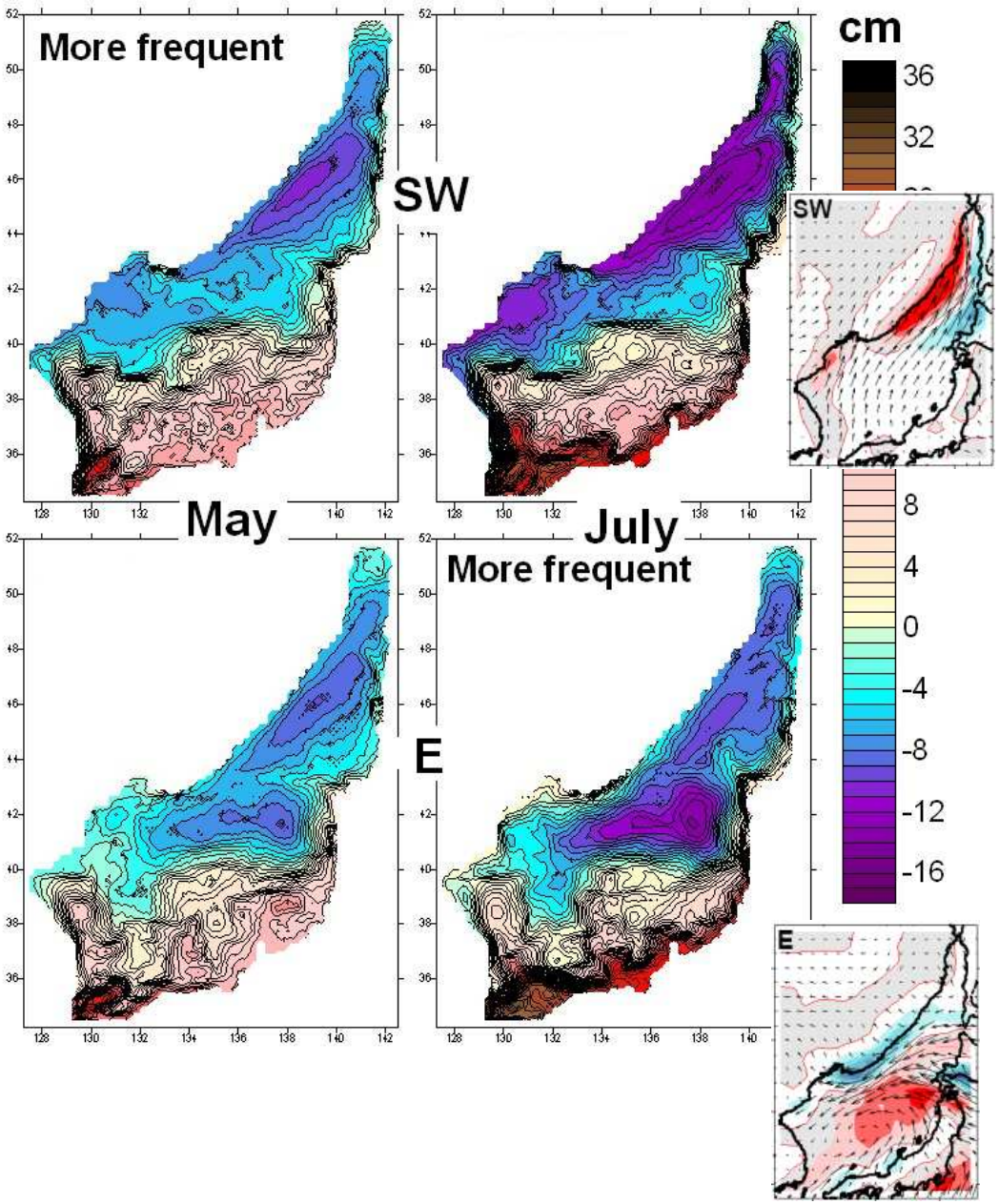


В теплые месяцы имеется тенденция к противоположному знаку вихря ветра над центральной и северной (Татарским проливом) частями моря

Изменения вихря ветра могут привести к различиям в циркуляции вод северной части моря и Татарского пролива

Модельная циркуляция вод северной части Японского моря и Татарского пролива

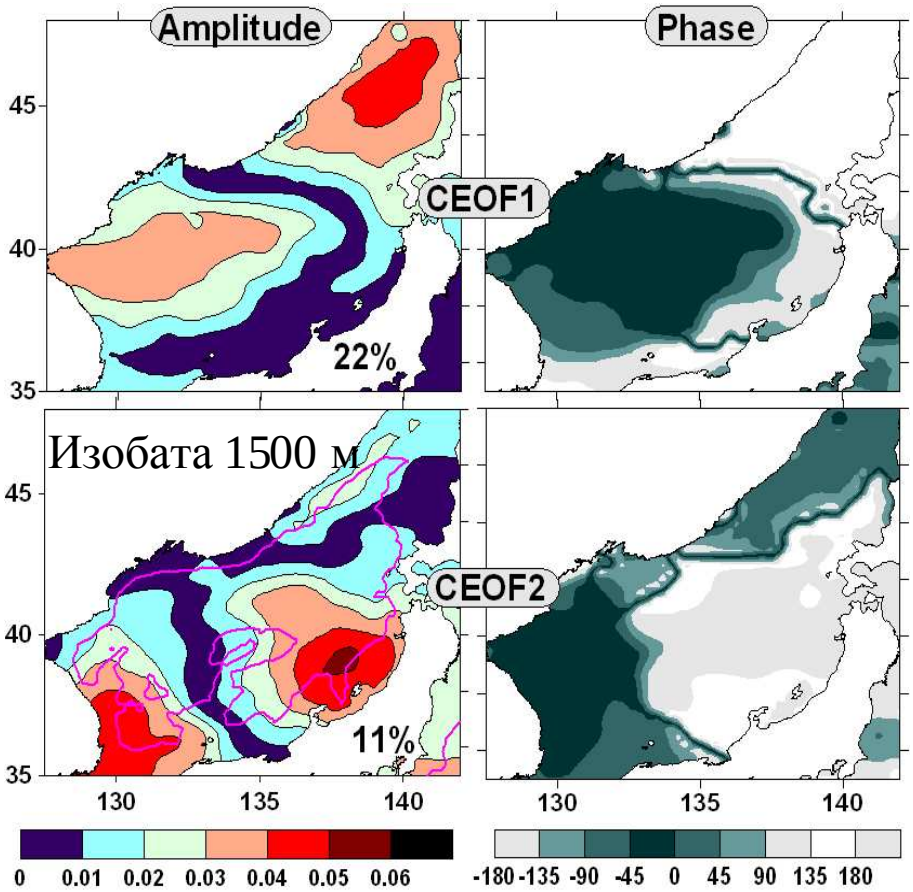
Уровень моря



Ц циркуляция северной части моря усиливается (ослабевает) под воздействием ветров с западной (восточной) составляющей, в противоположность центральной части.

Межгодовая изменчивость циркуляции весной и летом (Дьяков, 2006);
АЦ вихреобразование в северной части Японского моря (Никитин, 2005)

АТПМ2 полей JMA: полугодовая и 3х-ядерная моды



АТПМ 2го порядка :

$\mathbf{X_a^{(2)}}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{X_a^{(1)}}(\mathbf{r}, t) - A_1(\mathbf{r})B_1(t)$

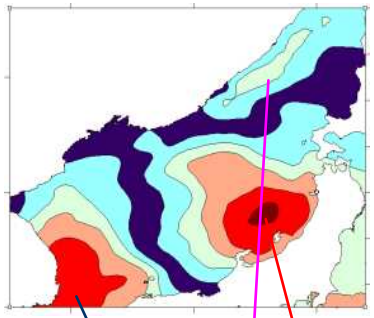
АТПМ2 и АТПМ1 полей JMA и NG:

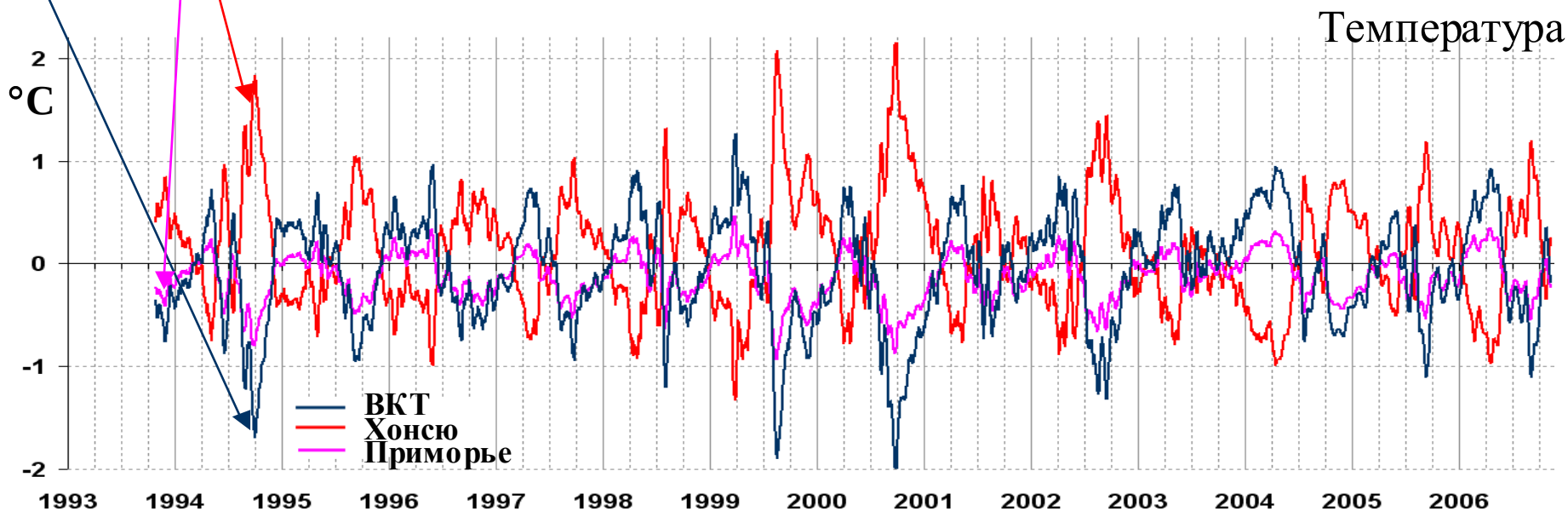
Полугодовые моды подобны.

3х-ядерная мода:

- ЮЗ ядро в районе Восточно-корейского течения;
- восточное ядро над склоном у о. Хонсю – район Цусимского течения;
- северное ядро над континентальным склоном в зоне Приморского течения.

Временная изменчивость 3х-ядерной моды АТПМ2 полей JMA





- АТПМ слабее, чем у старших мод.
- Наибольшее развитие АТПМ в августе-сентябре, иногда с июля по ноябрь.
- Слабые АТПМ противоположного знака весной.
- **Межгодовая изменчивость**. *Сильные АТПМ летом 1994, 1999, 2000, 2002 гг.*

В 2003 г. нет летних аномалий, что является причиной различия полей NG и JMA.

Схема течений Японского моря и 3х-ядерная мода JMA

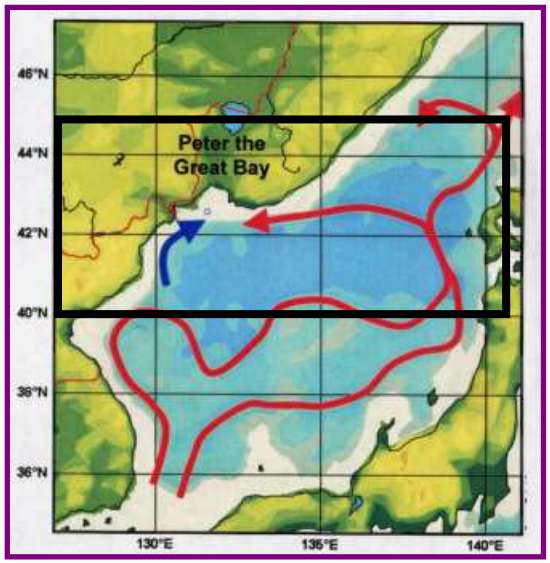
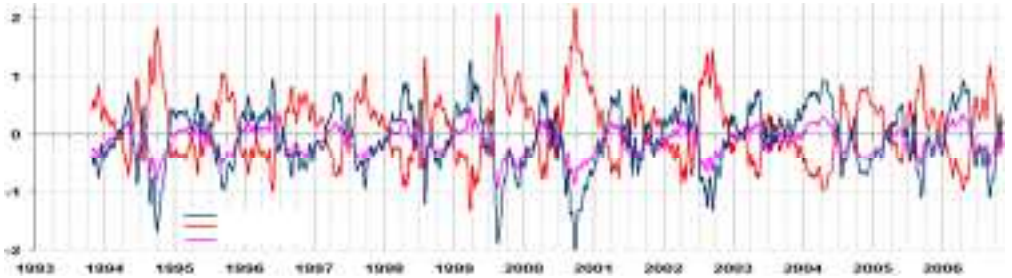


Схема переноса субтропических вод к берегам Приморья (Лобанов и др., 2001)



•Положительные (отрицательные) АТПМ в ядре Хонсю (Приморском) → усиление Цусимского течения в восточной части моря и Приморского течения.

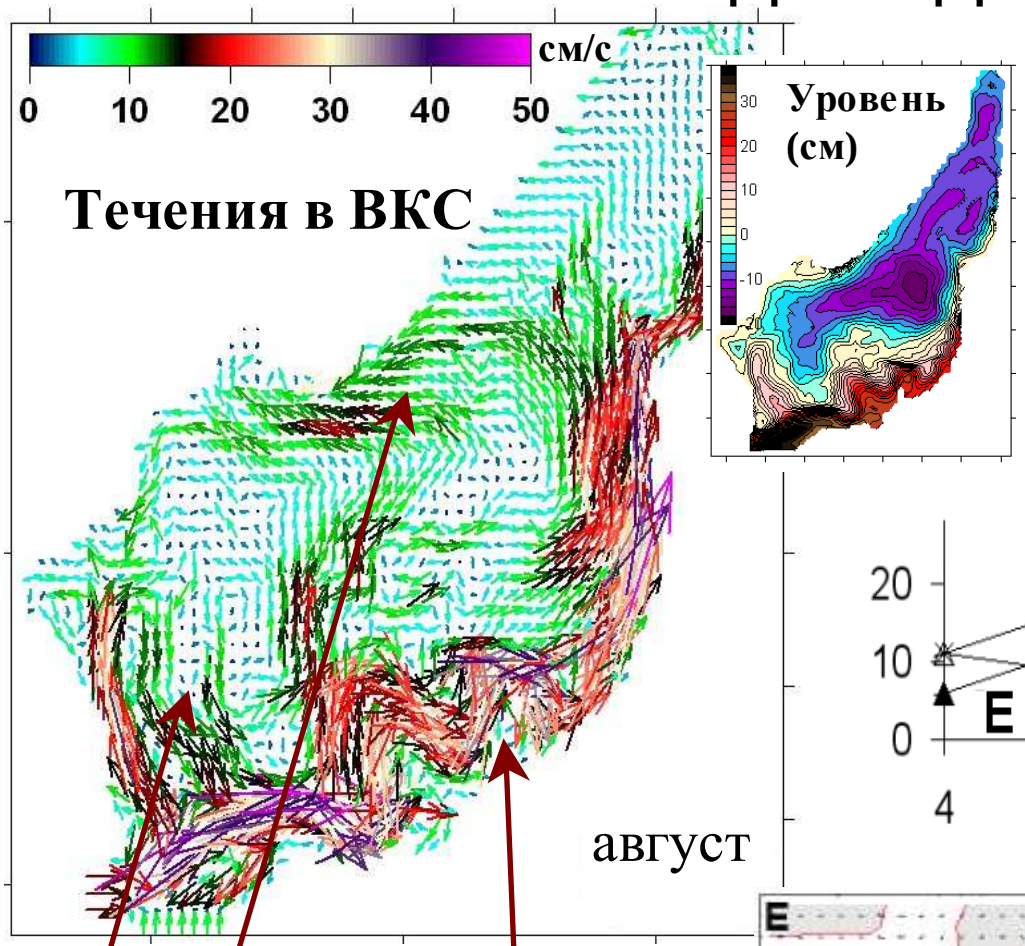
•Отрицательные АТПМ в южно-корейском ядре → ослабление АЦ циркуляции вод.

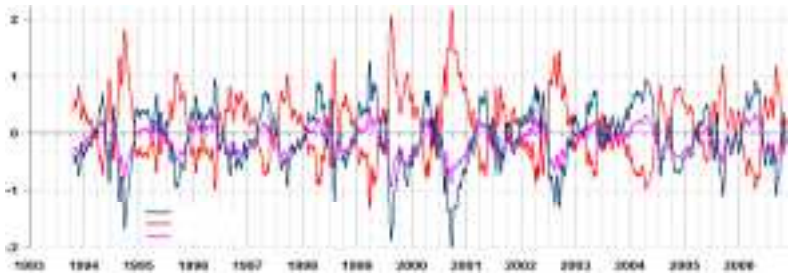
•АТПМ противоположного знака весной → противоположный характер динамических процессов.

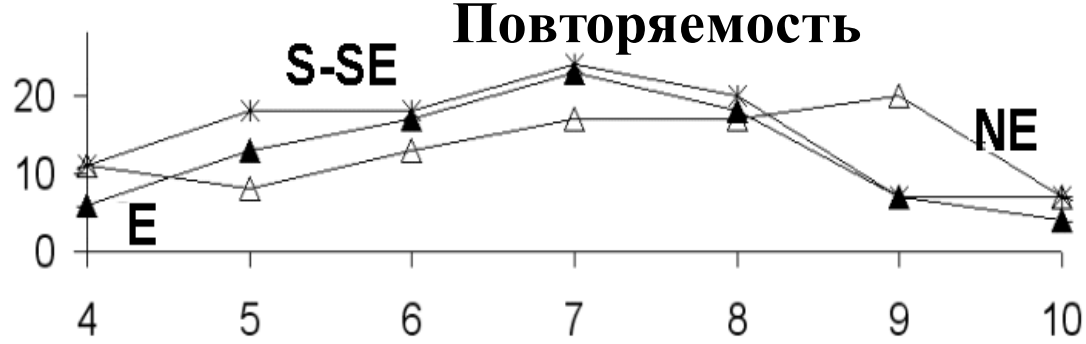
• **Межгодовая изменчивость**. *Сильные АТПМ*: *1994, 1999, 2000, 2002 гг.*

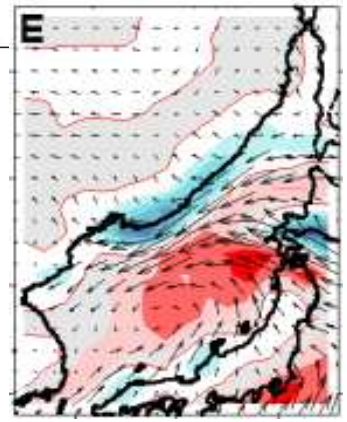
PIES Program: 1999-2001 гг.: слабое ВКТ; ВКТ отсутствовало с июня по ноябрь 2000 г. (Chang et al., 2004; Mitchell et al., 2005).

Модельная циркуляция в августе под воздействием Ц вихря ветра









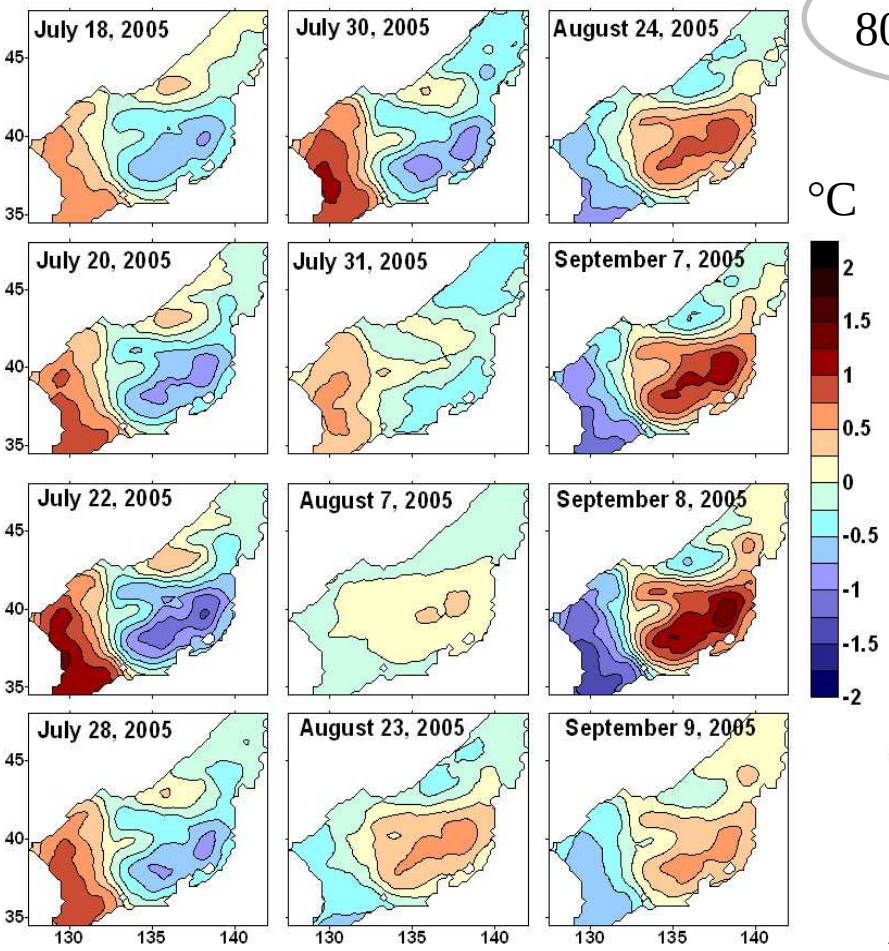
- АЦ циркуляция ослаблена в ЮЗ части моря.
- Интенсификация Цусимского течения у берегов о. Хонсю
- и Приморского течения.

Повторяемость ветров с восточной составляющей повышена в июле - сентябре

Межгодовая изменчивость не объяснена

Стоячие и перемещающиеся АТПМ (3х-ядерная мода полей NG)

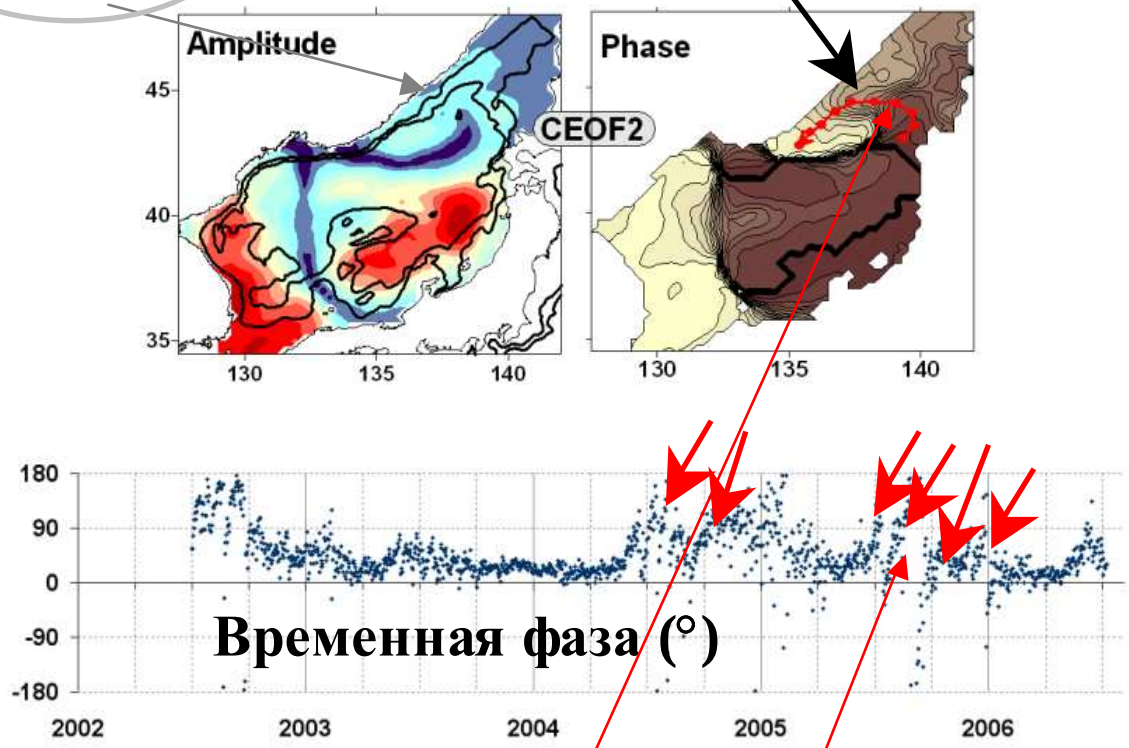
Мгновенные поля АТПМ



Эпизод с 17 июля
по 9 сентября 2005 г.

изобаты
800, 1500 м

Западная ветвь Цусимского течения



Плавное увеличение пространственной и временной фазы: перемещение АТПМ.
Оценка скорости ~ 10 см/с – соответствует адвективному масштабу.

Выводы

•Выявлены аномалии температуры поверхности Японского моря, обусловленные динамическими процессами, что стало возможным после удаления среднего годового хода, изменчивость которого связана с вариациями теплообмена с атмосферой.

•Выявленные АТПМ обусловлены адвекцией субтропических вод через Корейский пролив, дивергенцией поверхностных вод под воздействием Ц вихря ветра, меридиональными сдвигами САФ в западной части моря, АЦ вихреобразованием, усилением или ослаблением ветровой циркуляции в отдельных районах.

•Выявлены 12-месячные периодичности, отличные от годового хода.

•Выявлена полугодовая мода изменчивости ТПМ, запаздывающая на 2 месяца по отношению к изменениям вихря ветра над морем.

•Выявлено эпизодическое перемещение АТПМ в конце лета – начале осени от района Сангарского пролива с востока на запад, что можно связать с западной ветвью Цусимского течения.

Благодарности

• Н.Б. Шапиро и Э.Н. Михайлову, МГИ, г. Севастополь, за предоставленную нам программу модели и многочисленные консультации.

•С.С. Станичного и Ю.Б. Ратнера, МГИ, г. Севастополь, за подготовку данных NCEP о ветре.

Благодарим за внимание