

Региональные климатические изменения на примере уровня Японского моря (по данным спутниковой альтиметрии)

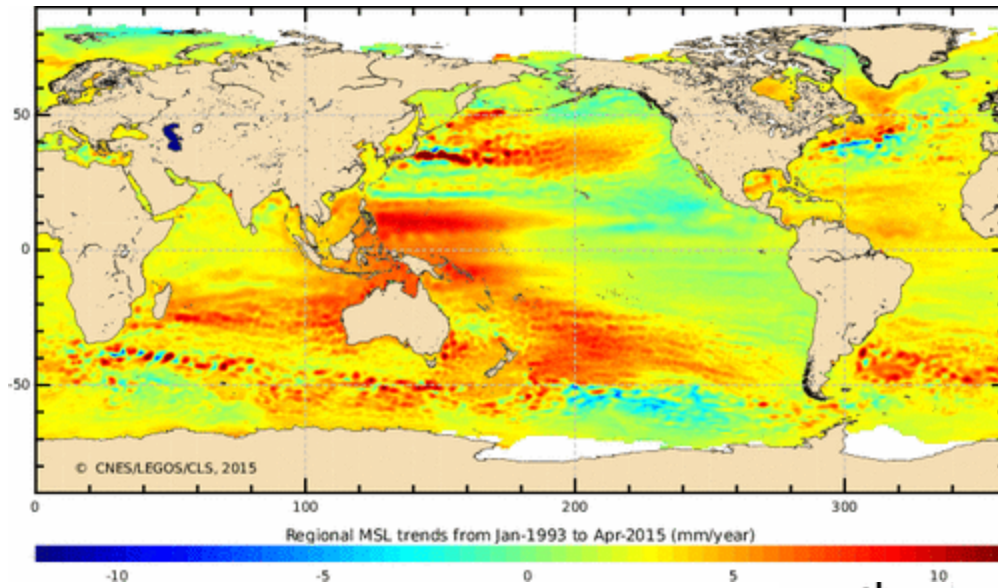
Трусенкова О.О. ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток

*13-я ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»,*

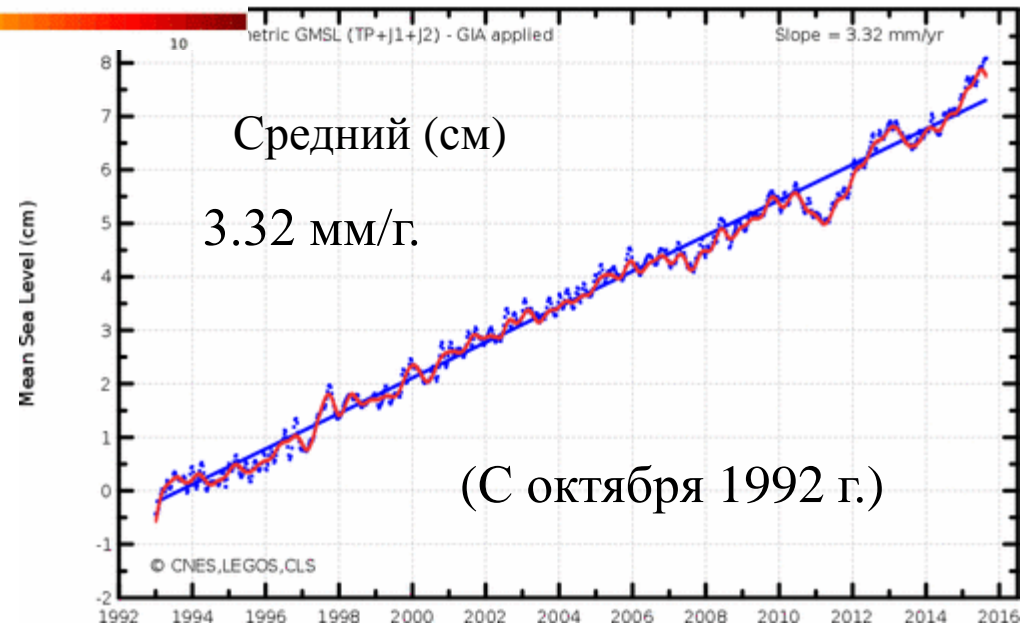
16-20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, г. Москва

Одиннадцатая всероссийская школа-конференция молодых ученых

Тренды уровня Мирового океана

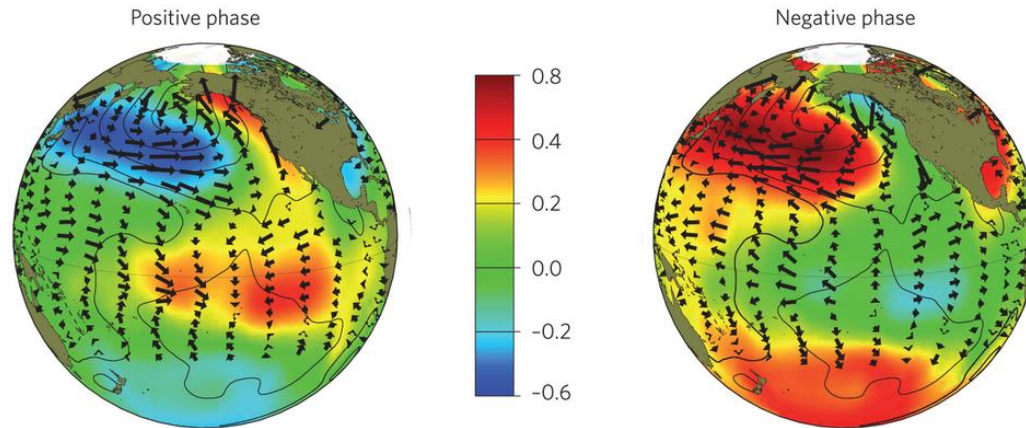


В Тихом океане подобно отрицательной фазе PDO

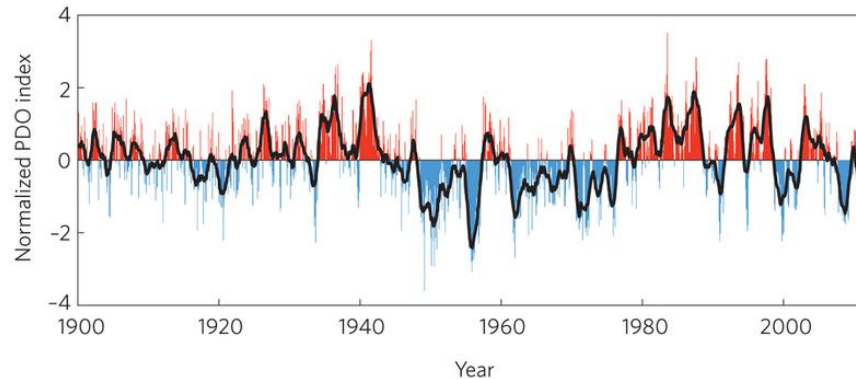


С сайта AVISO
(<http://www.aviso.altimetry.fr>)

Тихоокеанское колебание (Pacific Decadal Oscillation – PDO)



Атмосферное давление и аномалии ветра

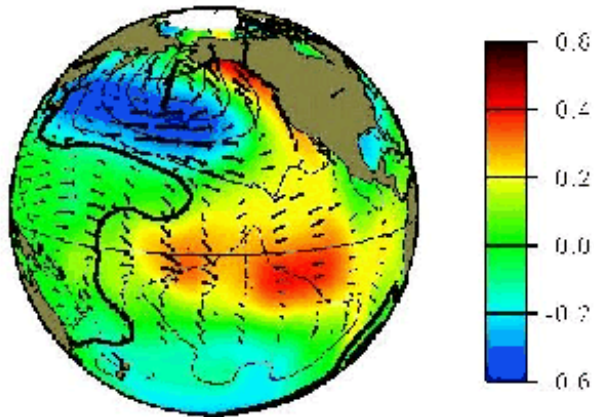


Также – в ТПО и уровне океана

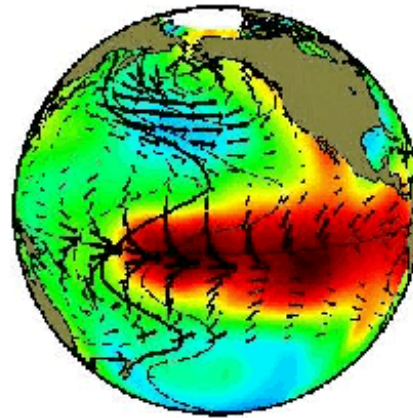
(Mantua et al., 1997; Newman et al., 2003, Schneider et al., 2005, Deser et al., 2010)

Тихоокеанское колебание (Pacific Decadal Oscillation – PDO)

Pacific Decadal Oscillation



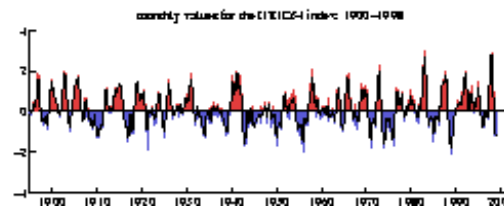
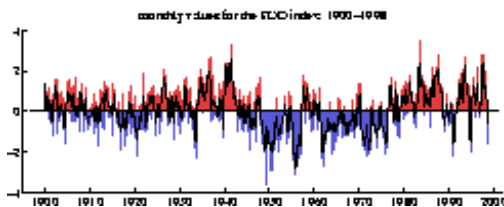
El Niño/Southern Oscillation



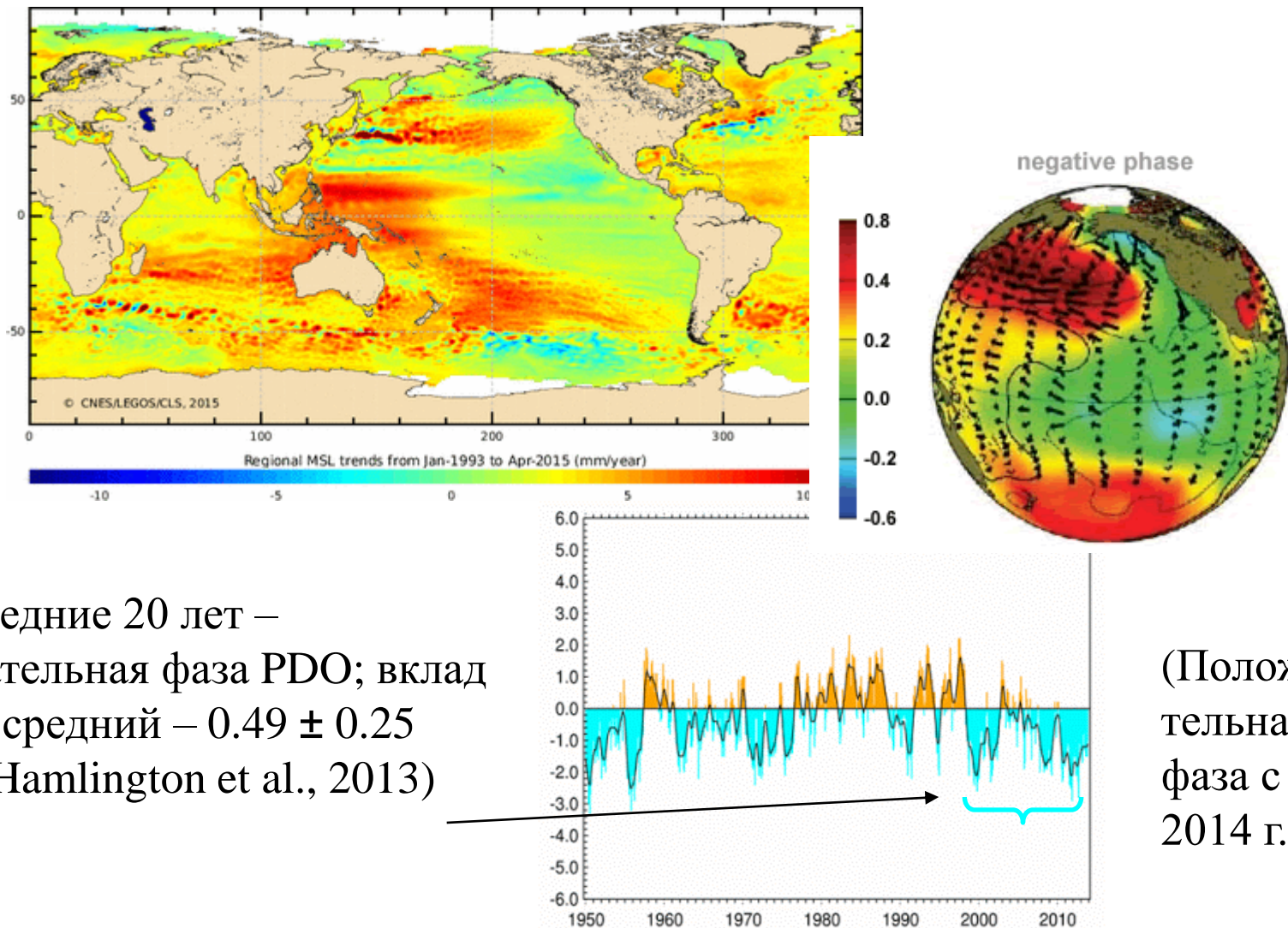
-Эль-Ниньо – южное колебание (атмосферные дальние связи);

- изменчивость океанических круговоротов;

-стохастическое воздействие атмосферы (шумовая компонента).



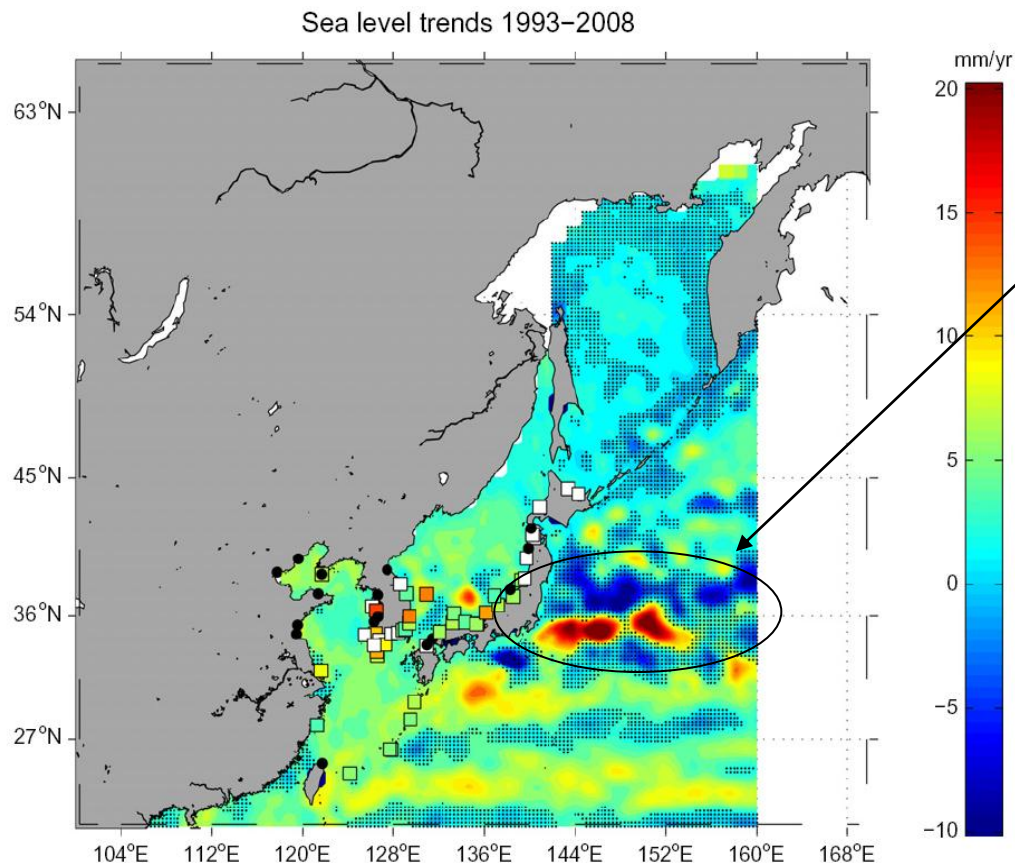
Тренды уровня (за 20+ лет) подобны отрицательной фазе PDO



В последние 20 лет –
отрицательная фаза PDO; вклад
PDO в средний – 0.49 ± 0.25
мм/г. (Hamlington et al., 2013)

(Положи-
тельная
фаза с
2014 г.)

Северо-западная часть Тихого океана и окраинные моря



Тренды уровня моря:

Продолжение Курошио, фронтальная зона и Продолжение Ойясио – тренды разного знака связаны с изменениями циркуляции (Qiu et al., 2005).

Субтропические моря (Желтое, южная часть Японского) – 5-7 мм/г.

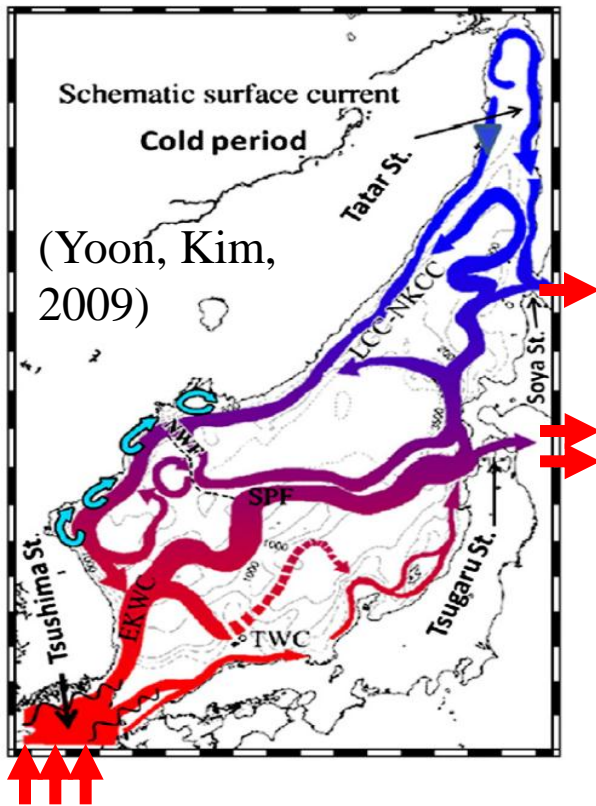
Субарктические моря (Охотское, северная часть Японского) – 1-3 мм/г.

(Marcos et al., 2012), также (Колдунов и др., 2007)

Японское море – океан в миниатюре
(Ichiye, 1984)

Гидрологический режим Японского моря

(определяется муссонным характером климата и транзитом теплых вод)

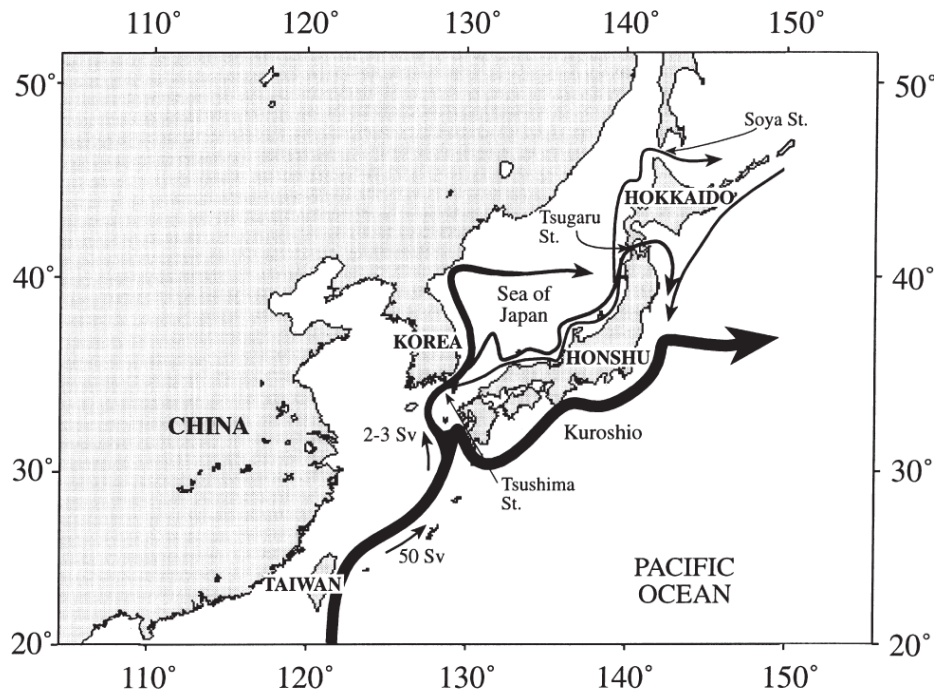


Расход воды,
Корейский пролив:
в среднем $2.65 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$
(Fukudome et al., 2010)

Муссонный климат, суровая зима;
глубокое море, мелкие (до 150-200 м) проливы.
формирование глубинных и донных вод в пределах моря;
узкий шельф и крутые склоны рельефа дна.
транзит теплых вод в верхнем 200-метровом слое;
Субарктическая и субтропическая части моря,
субарктический фронт (САФ).

Тонкий пикноклин и малый бароклинный радиус деформации Россби (не более 400-500 м и 25-30 км даже в субтропической области).

Краевые захваченные волны в Японском море



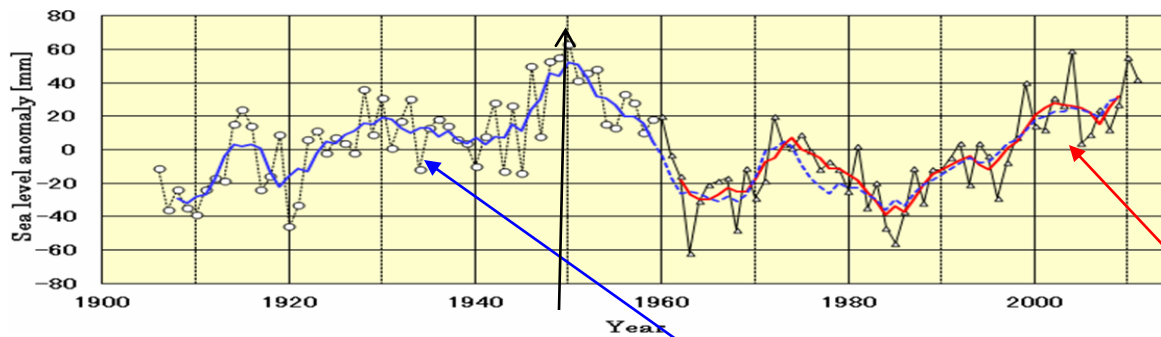
Цусимское течение вдоль склона о. Хонсю под воздействием краевых захваченных волн (Kawabe, 1982).

Волновые процессы в Японском море (В.Р. Фукс; Зверева, Фукс, 2014)

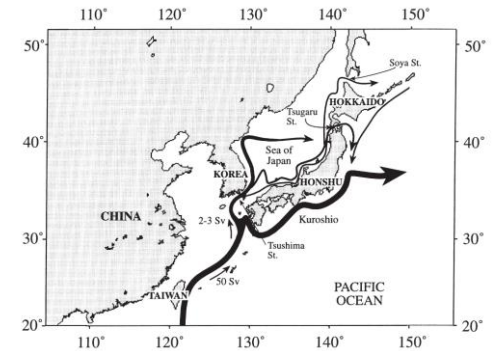
Антициклоническое обтекание острова (Японских о-вов) набегающим потоком (ветвью Курошио) связано с планетарным бета-эффектом, а наличие островного склона, крупномасштабная антициклоническая завихренность ветра над прилегающей частью океана и термический контраст между холодной акваторией моря и теплым океаном к востоку от острова способствуют развитию восточного пограничного течения и захваченных краевых волн. (Зырянов, 1995; Nof, 2000; Spall, 2002; Tsujino et al., 2008)

Колебания уровня моря вокруг Японских о-вов (за 100 лет)

Среднее по данным прибрежных постов (Japan Meteorological Agency, 2012)

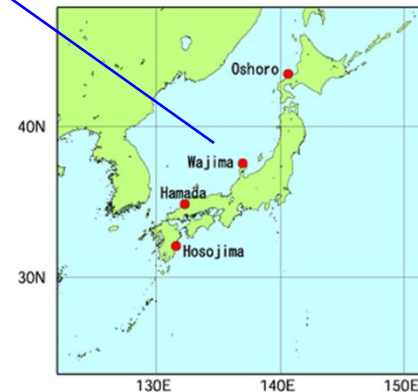


Time-series representation of annual mean sea level values (1906 - 2011)
The 1981 - 2010 average is used as the normal.



Максимальный уровень в середине 1940х гг.

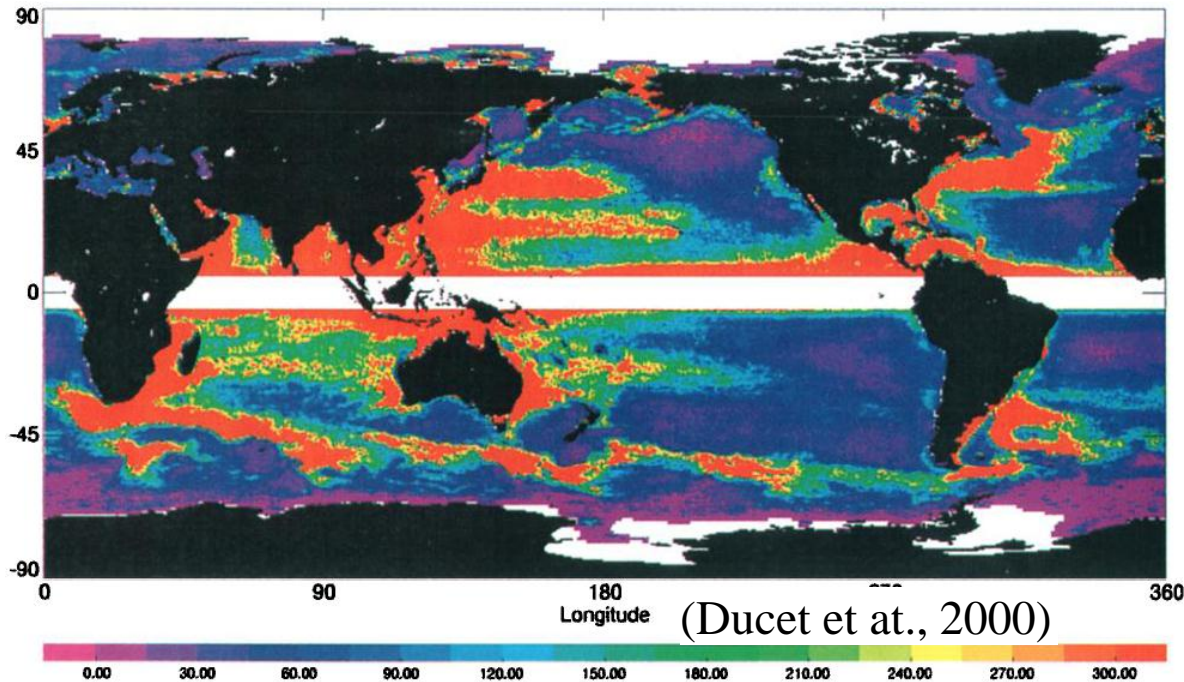
Изменчивость уровня моря вокруг Японских о-вов – под воздействием волн Россби в зоне Продолжения Кюросио и краевых волн Кельвина (Ma et al., 2010).



Уровень океанов и морей –
интегральная характеристика
динамических процессов –
течений, вихрей, волн, приливов

Вихревая кинетическая энергия по спутниковым альтиметрическим данным

‘Средняя величина



Генерация за счет
гидродинамической
неустойчивости и
взаимодействия течений с
рельефом дна

$E_m = (u'^2 + v'^2)/2$ где
 $u' = -(g/f)\partial\eta/\partial y$, $v' =$
 $(g/f)\partial\eta/\partial x$, η -
аномалия уровня
моря

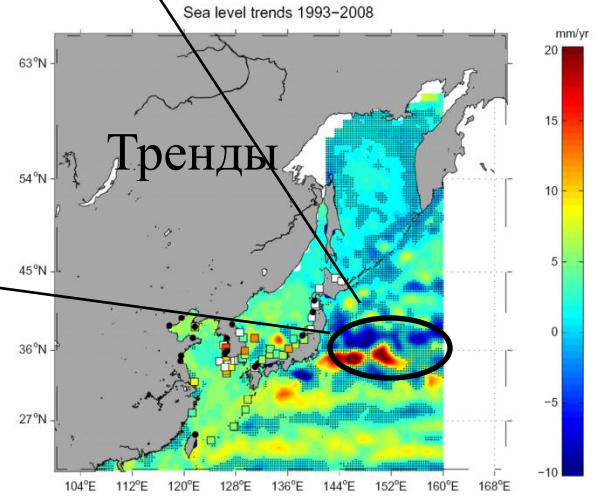
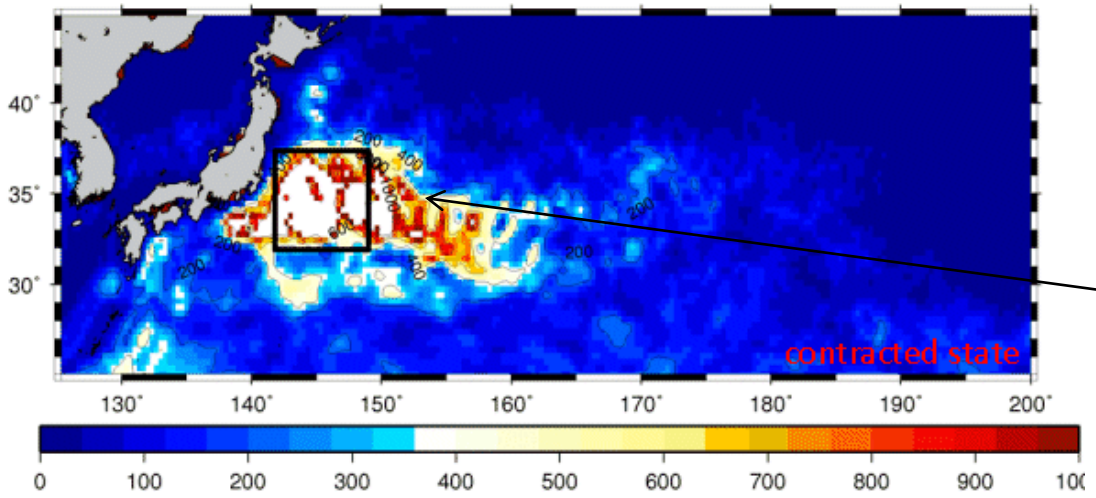
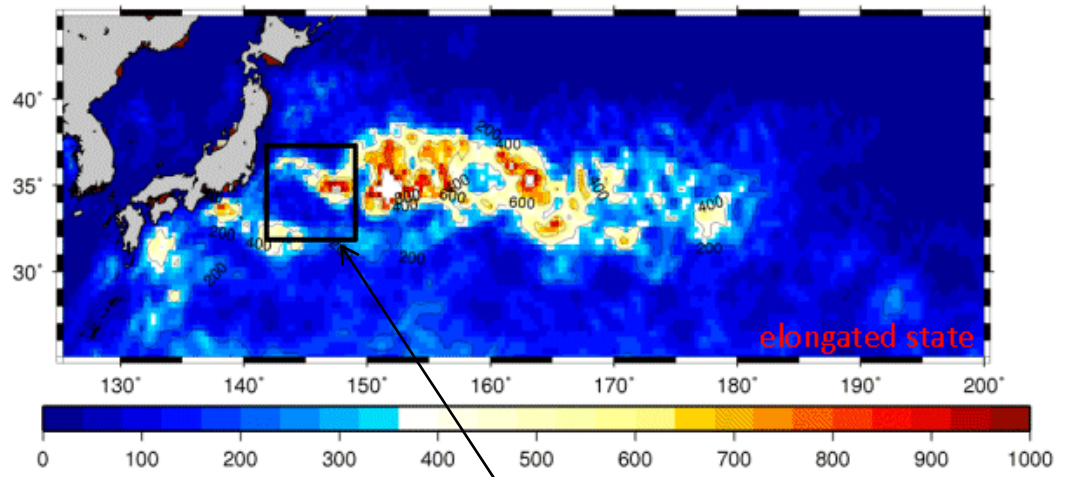
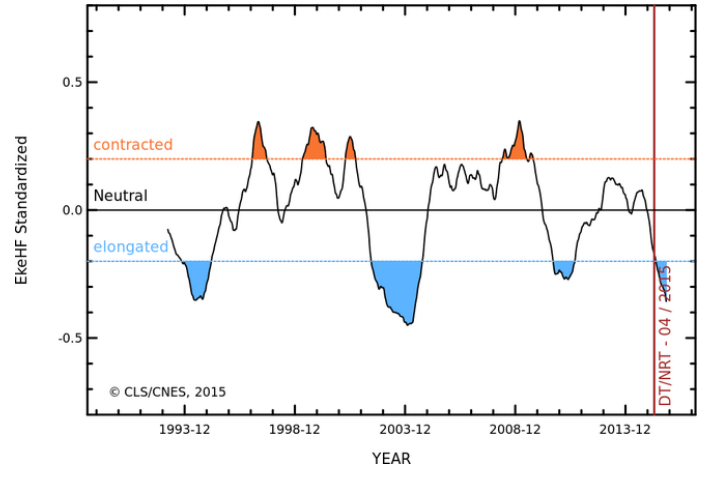
Межгодовая изменчивость:

Продолжение Курошио (Qiu, Chen, 2005, 2010);

Северная Атлантика - NAO (Brachet et al., 2004; Penduff et al., 2004).

Продолжение Куроисио

С сайта AVISO



(Qiu, Chen, 2005, 2010)

Цель работы

Исследовать межгодовые и долгопериодные изменения уровня моря, циркуляции вод и энергии синоптических процессов в Японском море по данным спутниковой альтиметрии

Данные

Ssalto/Duacs (AVISO), версия 2014 г.,
1993 –2013 гг.

Аномалии уровня Японского моря
(35.5°-48° с.ш, 127.5°-142° в.д.)
ежедневные, 1/4°.

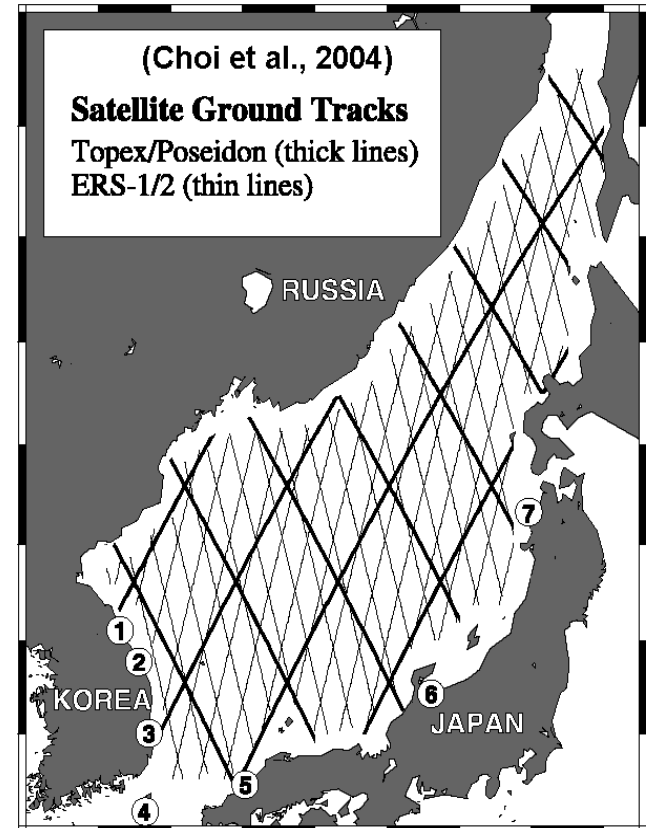
Межгодовые аномалии: низкочастотная
фильтрация на основе вейвлет-преобразования,
материнский вейвлет Морле 6-го порядка,
период отсечения 1.3 г.

Вихревая кинетическая энергия:

$$E_m = (u'^2 + v'^2)/2 \text{ где } u' = -(g/f)\partial\eta/\partial y, v' = (g/f)\partial\eta/\partial x,$$

η - аномалия уровня моря

низкочастотная фильтрация, с периодом отсечения 20 недель.

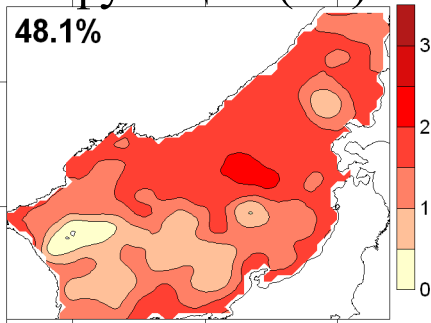


Методы

- **ЭОФ-анализ** нормированных (на локальное СКО) данных;
- **Вейвлет-преобразование**, материнский вейвлет Морле 6-го порядка;
- **EMD** (Empirical Mode Decomposition) или преобразование Хуанга – разложение временного ряда на собственные модовые функции (Intrinsic Mode Functions, IMF; Huang et al., 1998)

Низкочастотная синфазная мода

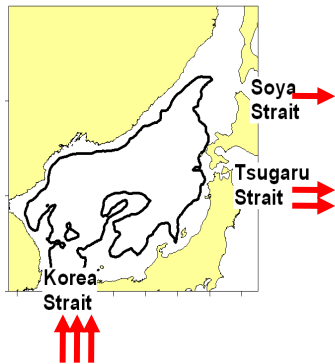
Пространственная
функция (см)



Стерический фактор отфильтрован →

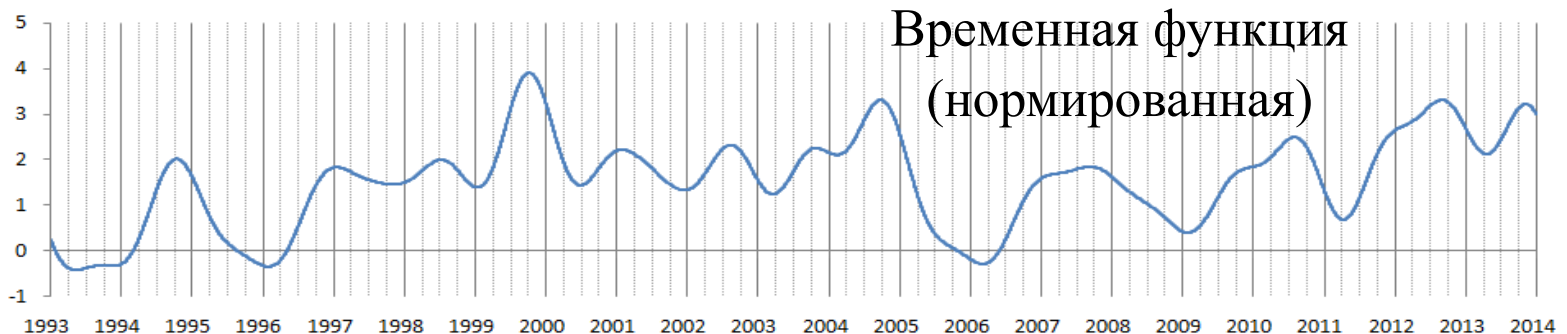
Дисбаланс водообмена через проливы:

Аномалии 1–4.5 см см ~ 0.7–3% расхода воды в
Корейском проливе
(в среднем 2.65 Св).

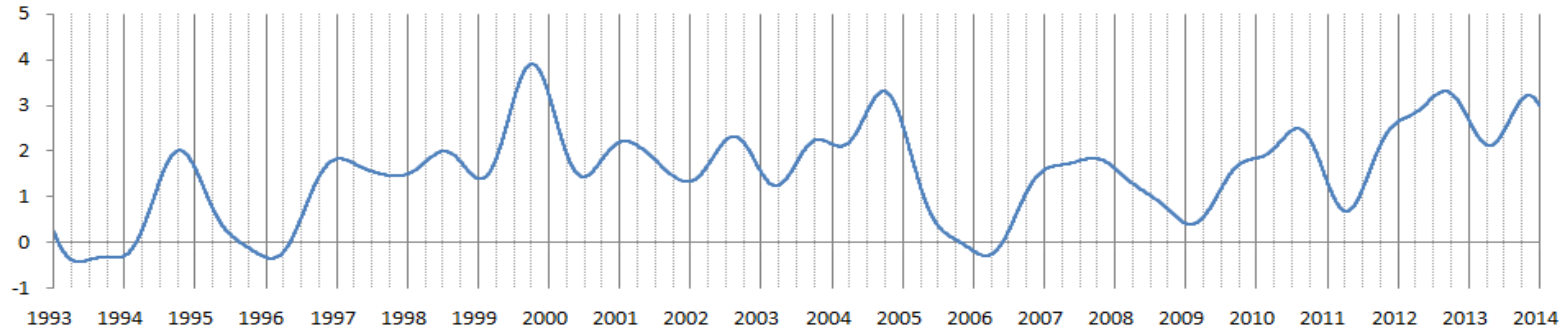


Аномалии слабые, однако при расчете ЭОФ
ошибки уменьшаются в $(N^*)^{1/2}$,
 $N^* \sim 21$ – число степеней свободы.

Сильные аномалии в 1999, 2004-2005, 2010, 2012 гг.



Масштабы изменчивости

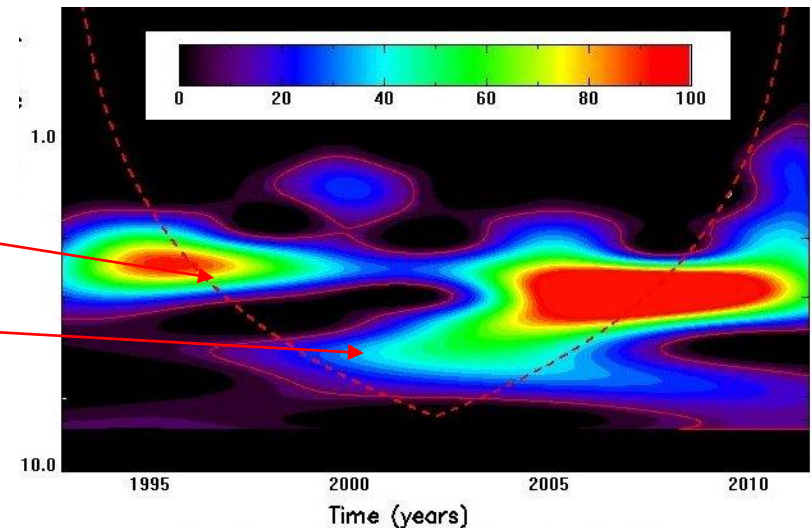


Нет статистически значимого
линейного тренда ($R^2 \sim 0.15$).

Вейвлет-спектр

Квазидвухлетняя изменчивость
4-5 лет (с 1998 г.).

Красный сдвиг к концу периода
наблюдений, долгопериодная
изменчивость плохо выражена

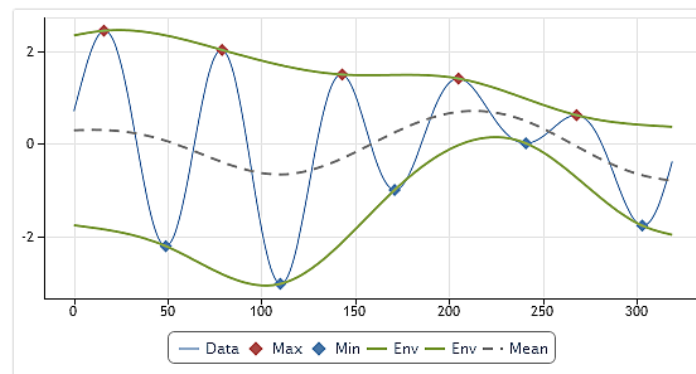


Преобразование Хуанга – выявление нелинейных трендов в осциллирующих сигналах

$$X(t) = \sum_{j=1}^n c_j + r_n, \quad (\text{Huang et al., 1998})$$

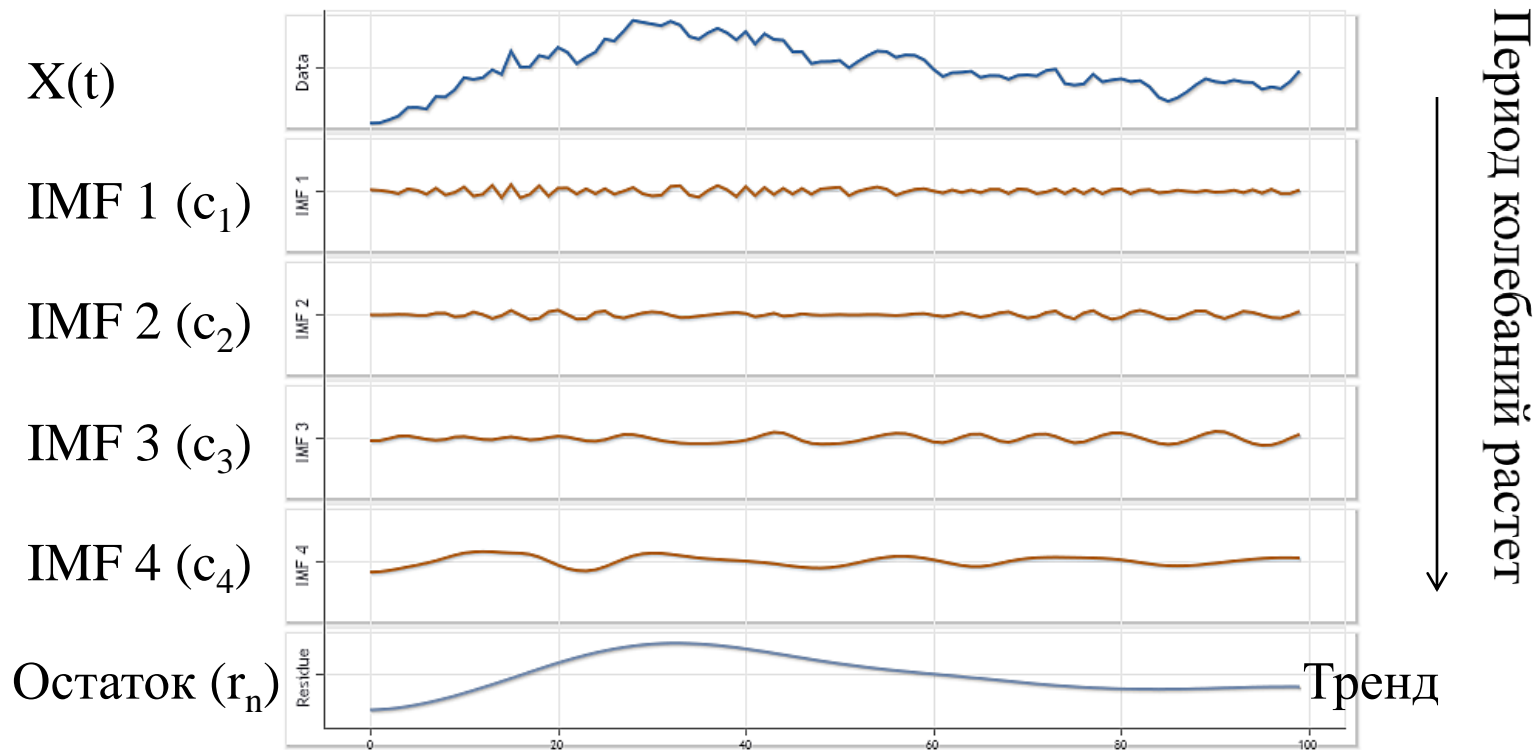
c_j – собственные модовые функции (Intrinsic Mode Functions – IMF) – колебание, симметричные относительно нуля,
 r_n – остаточный член, без выраженных осцилляций.

Выделяются итеративной процедурой путем построения огибающих:



Число функций определяется в процессе анализа.

$$X(t) = \sum_{j=1}^n c_j + r_n,$$



Нелинейный тренд синфазных колебаний



Выделено 3 IMF и остаточный член

IMF 1, IMF 2 отвечают 2-5-летним колебаниям

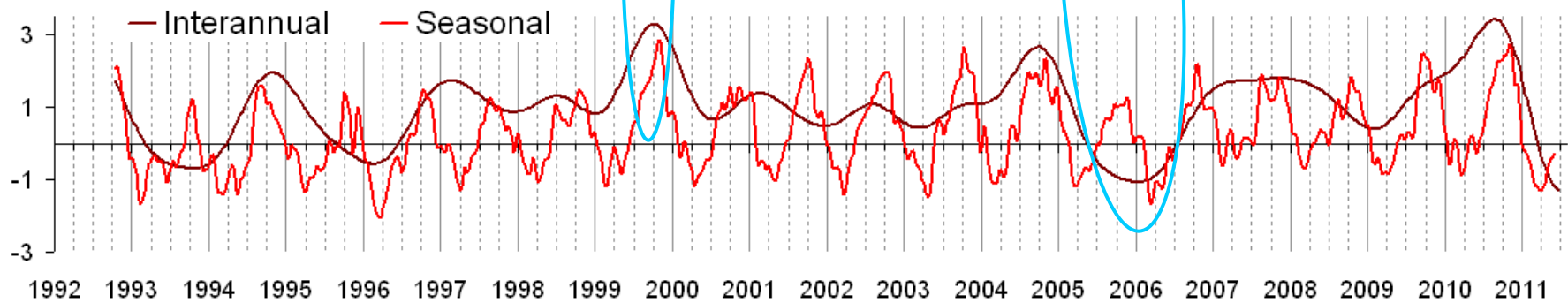
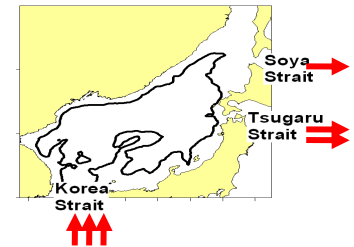
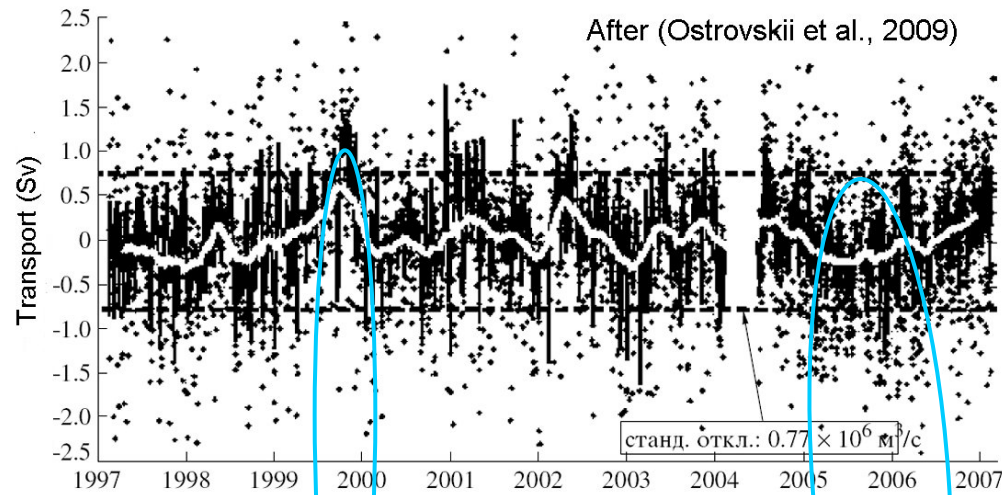
1 – временная функция

2 – IMF 3 + остаточный член

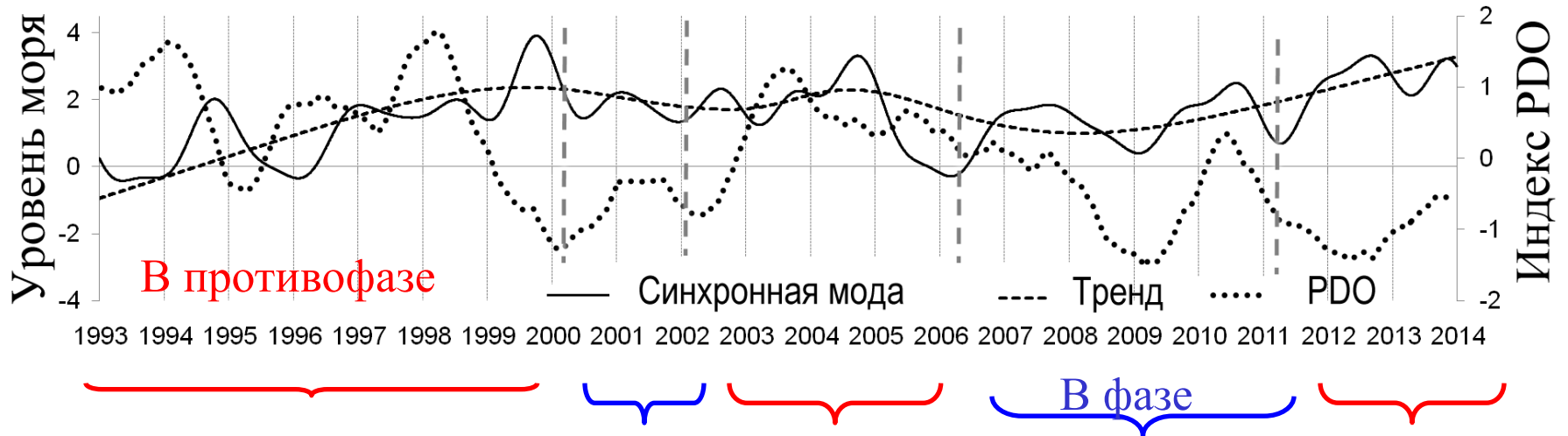
Средний рост 2.5 мм/г., но изменяется в период наблюдений

Связь с расходом воды в Корейском проливе

ADCP,
паром *Camelia*
(Островский и
др., 2009)



Связь с PDO (Pacific Decadal Oscillation)



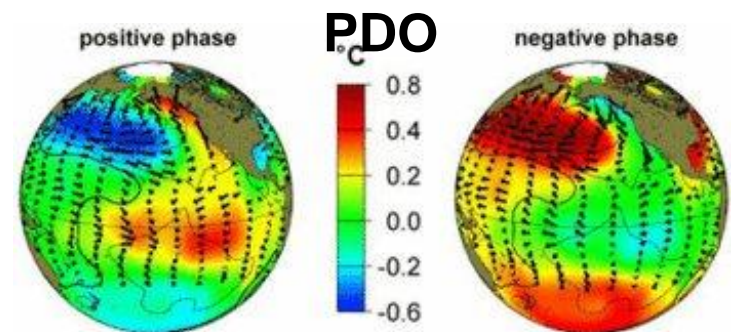
Периоды противофазной взаимосвязи:

1993-1998, 2002-2005 гг., после 2011 г.

Периоды синфазной взаимосвязи:

2000-2001, 2006-2010 гг.

Противофазная взаимосвязь в 1993-2002 гг. (Gordon and Giulivi, 2004), $R \sim 0.5$ (Колдунов и др., 2007).

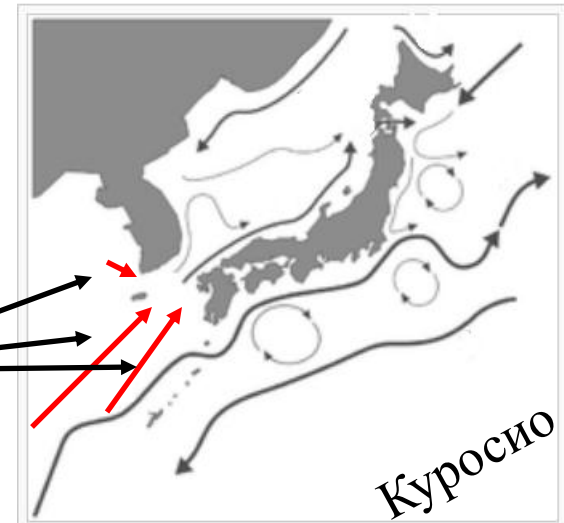


Истоки Цусимского течения

Противофазная взаимосвязь в 1993-2002 гг.
за счет усиления ветви Куроисио, входящей в
Корейский пролив, в отрицательную фазу
PDO (Gordon and Giulivi, 2004).

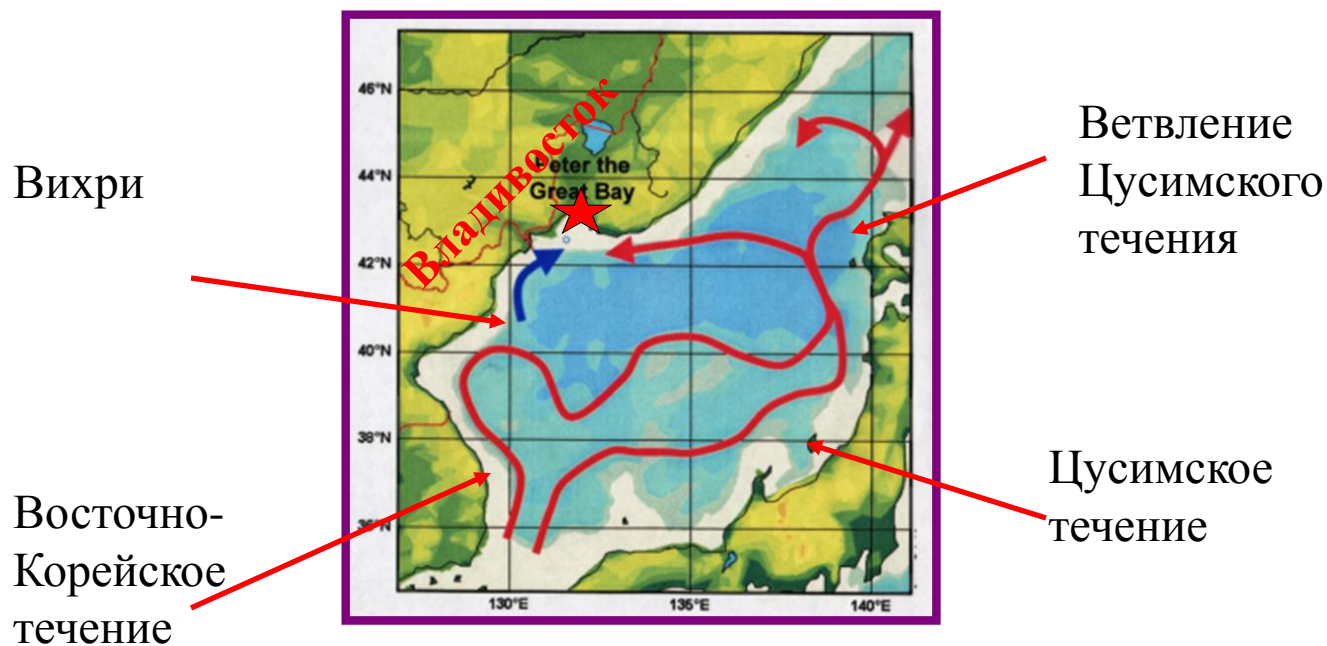
Цусимское течение питается водами:
ветви Куроисио,
Тайваньского течения,
потока из Желтого моря
(конец лета – начало осени).

Несогласованная изменчивость течений,
питающих Цусимское течение

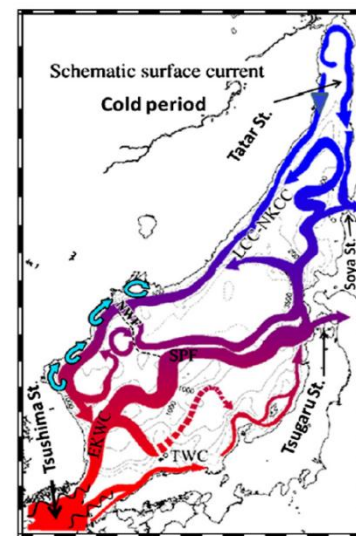


Адвекция тепла на север в западной и восточной частях Японского моря (крупномасштабными течениями и синоптическими вихрями)

По спутниковым полям ТПМ

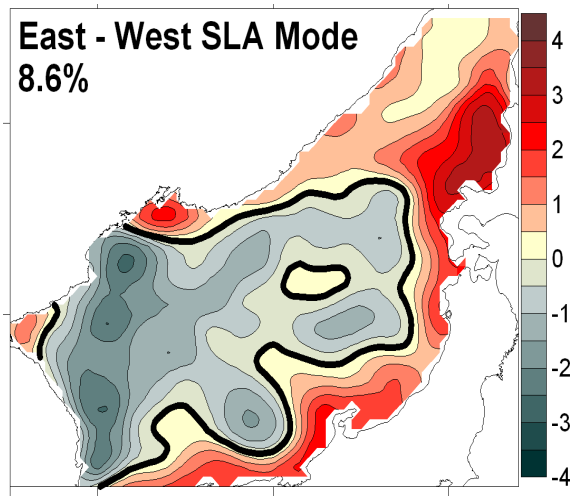


(Схема В.Б. Лобанова)

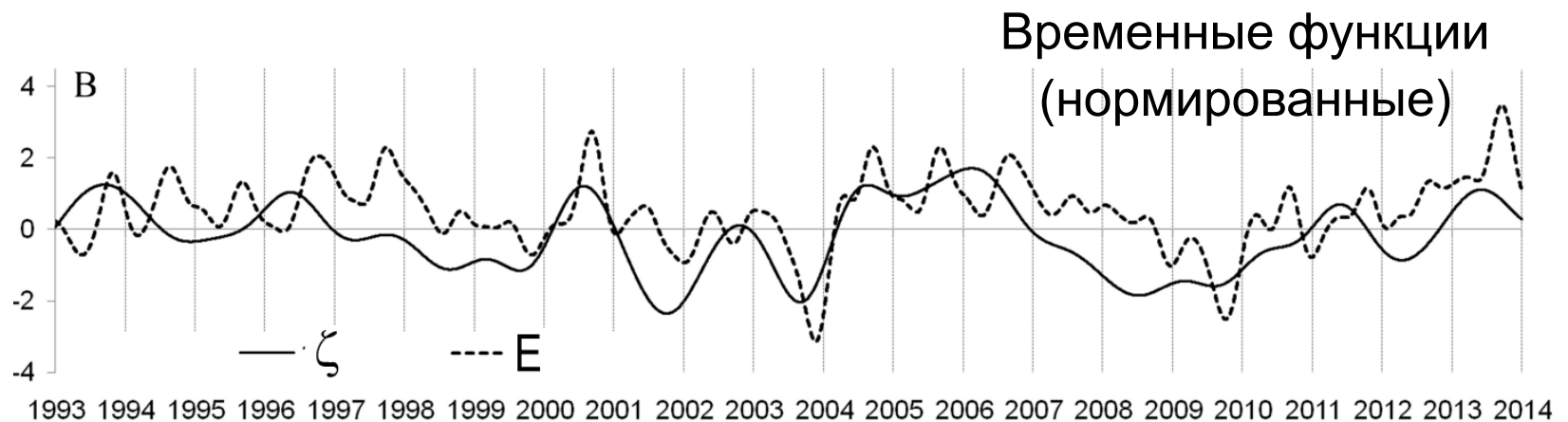
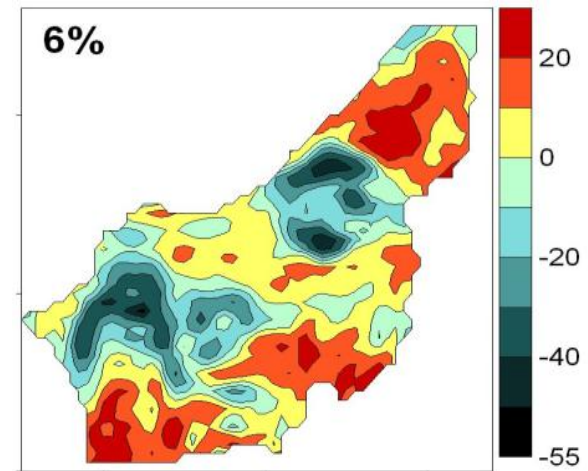


Какова изменчивость, временные масштабы?

Противофаза «запад – восток»,
аномалии уровня моря, ζ
пространственная функция (см)

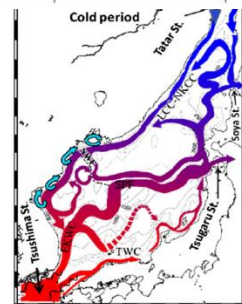
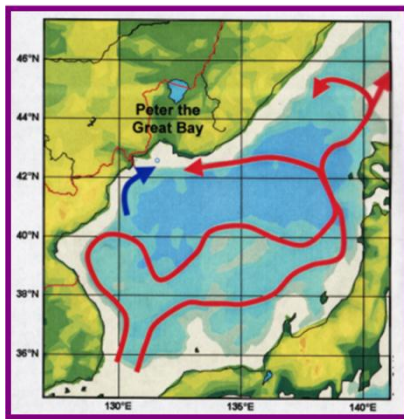
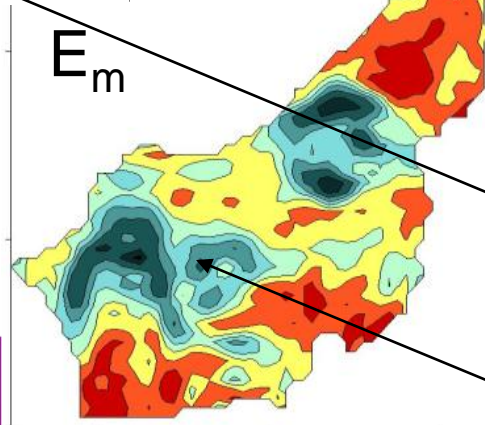
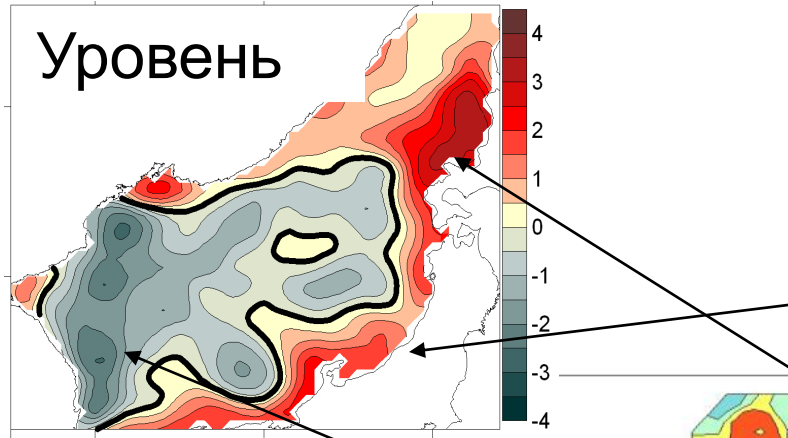


Вихревая кинетическая энергия,
пространственная функция
 E_m (см²/с²)



$$R(\zeta, E_m) \sim 0.6$$

Адвекция тепла на север в западной и восточной частях Японского моря



Положительная фаза:

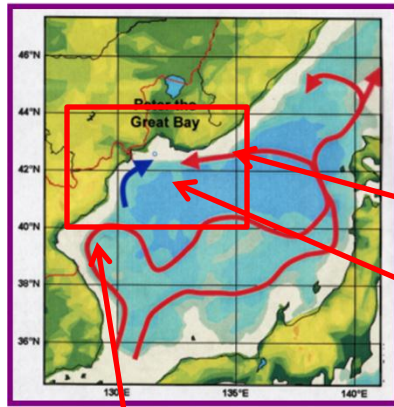
Усиление адвекции тепла с Цусимским течением в восточной части моря.

Бифуркация Цусимского течения в районе к западу от о. Хоккайдо.

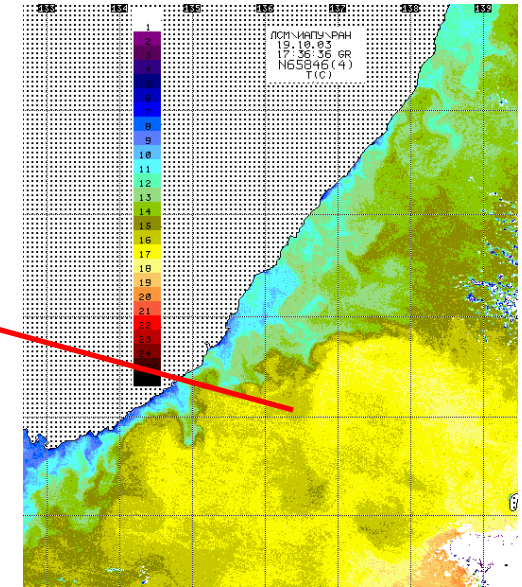
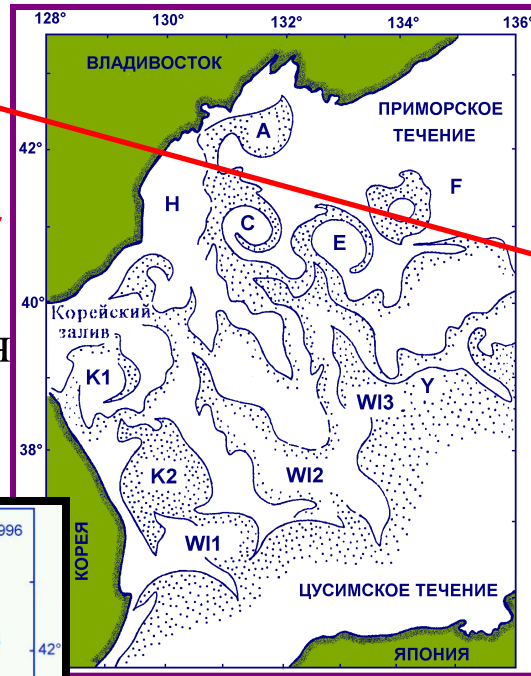
Отрицательная фаза:

Усиление Восточно-Корейского течения в ЮЗ части моря и вихреобразование в районе к югу от побережья Приморья

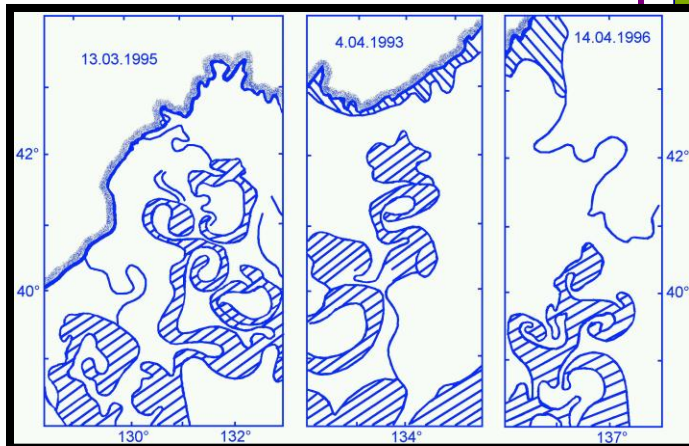
Синоптические вихри в районе к югу от побережья Приморья



Вихри в западной части моря



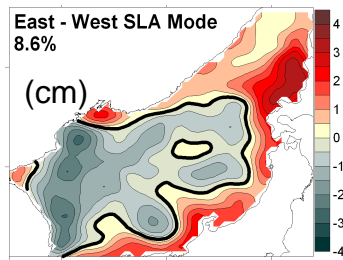
Подход теплых вод с востока



Никитин и др.(1997, 2002)

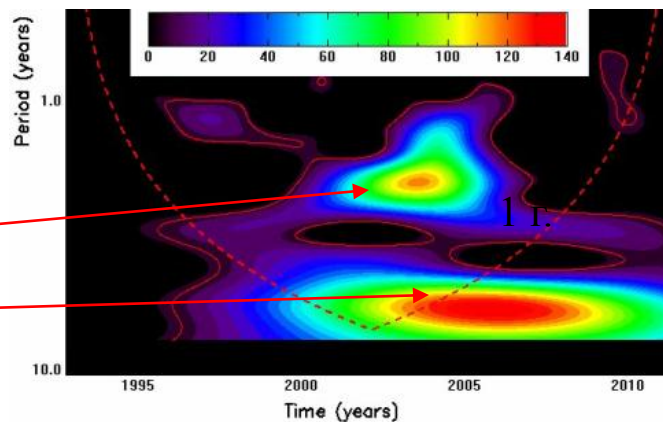
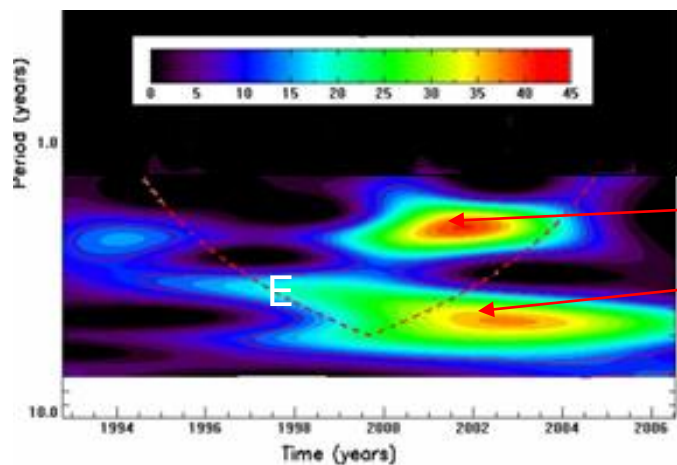
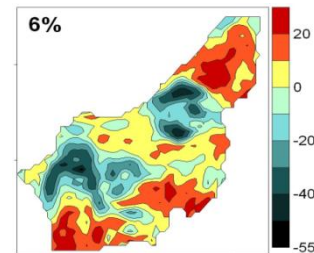
Временные масштабы: 2-3 года, 4-5 лет

Уровень ζ



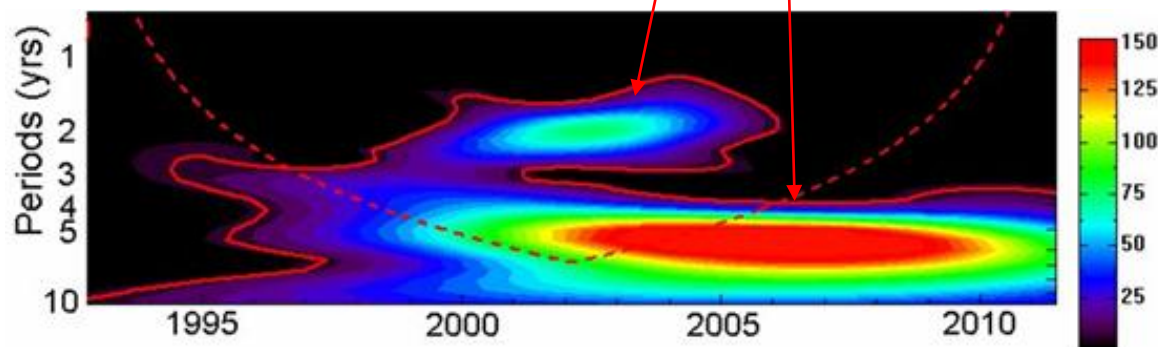
Вейвлет-
диаграммы

E_m



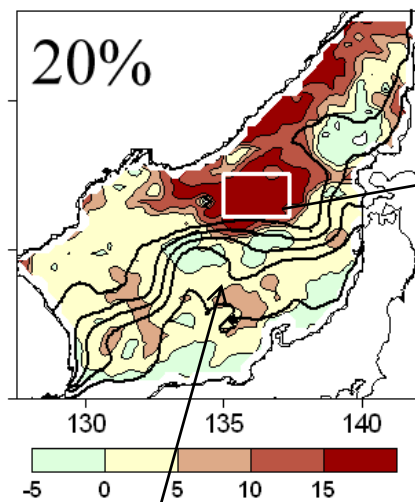
2-3 г.

4-5 лет

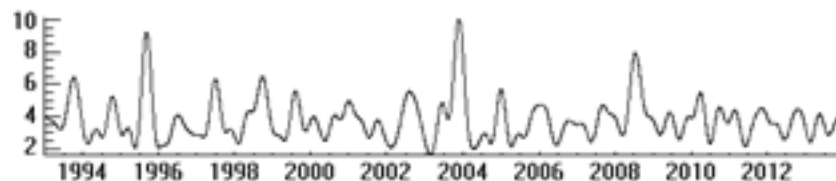


Совместная
диаграмма ζ - E_m

Вихревая кинетическая энергия в районе к востоку от побережья Приморья



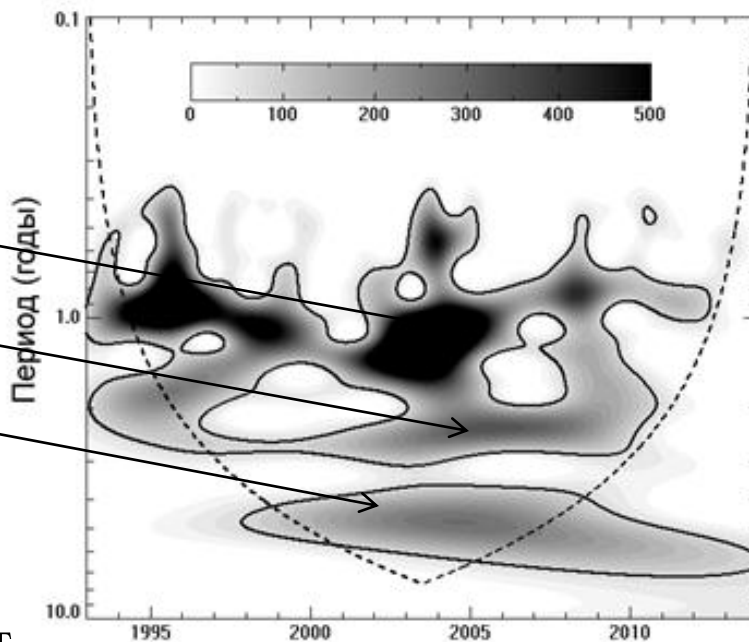
Субарктический фронт



1 г.

2-3 г.

4-5 лет



Временные масштабы: 1 г., 2-3 гг., 4-5 лет

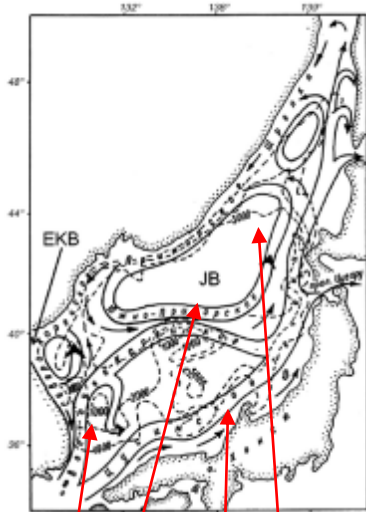
Выводы

- Квазидвухлетние синфазные колебания уровня Японского моря → дисбаланс расхода воды в проливах;
- Рост уровня Японского моря в 1993-1998 гг., без однонаправленной тенденции в в 1999-2008 гг., рост с 2009 г., → средний рост 2.5 мм/г., но изменяется в период наблюдений;
- изменяющийся характер взаимосвязей с PDO → изменяющийся вклад Куроисио и Тайваньского течения в Цусимское течение;
- усиление и ослабление адвекции тепла на север в западной и восточной частях Японского моря поочередно на квазидвухлетнем и 5-6-летнем масштабах;
- усиление и ослабление синоптических процессов в районе к югу от побережья Приморья на квазидвухлетнем и 5-6-летнем масштабах → механизм адвекции тепла в этот район;
- значительные межгодовые (квазидвухлетние и 5-6-летние) изменения энергии синоптических процессов в районе к востоку от побережья Приморья.



Спасибо за внимание

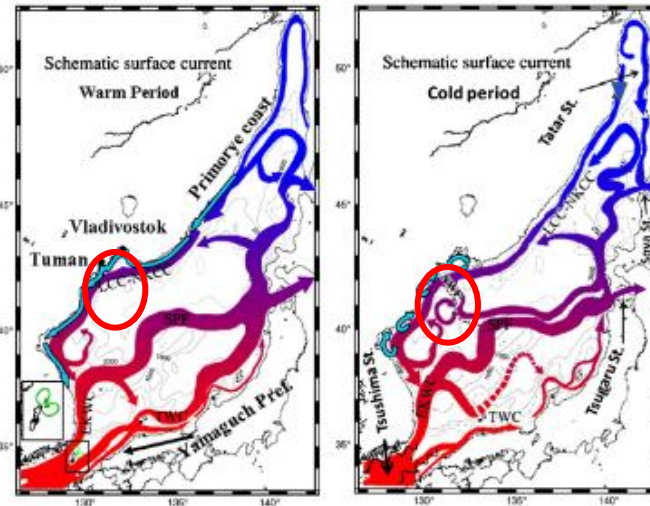
Схемы циркуляции вод



(В.Г. Яричин, 1980)

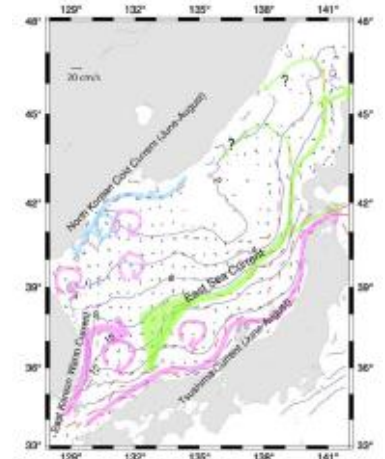
Циклонические
круговороты
САФ
Восточно-
Корейское
течение
Цусимское
течение

Теплый сезон Холодный сезон

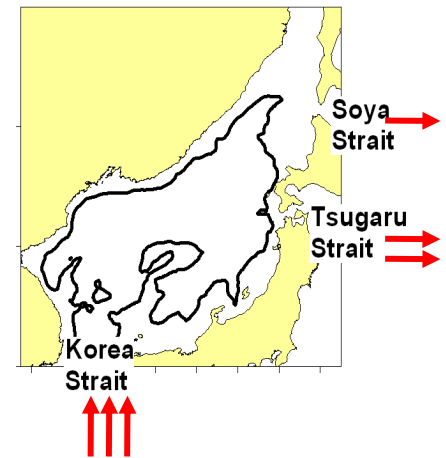


(Yoon, Kim, 2009)

Термическое воздействие за счет транзита теплых вод и теплообмена на поверхности моря (Козлов, 1971; Юрасов, Яричин, 1991; Isoda, 1999)



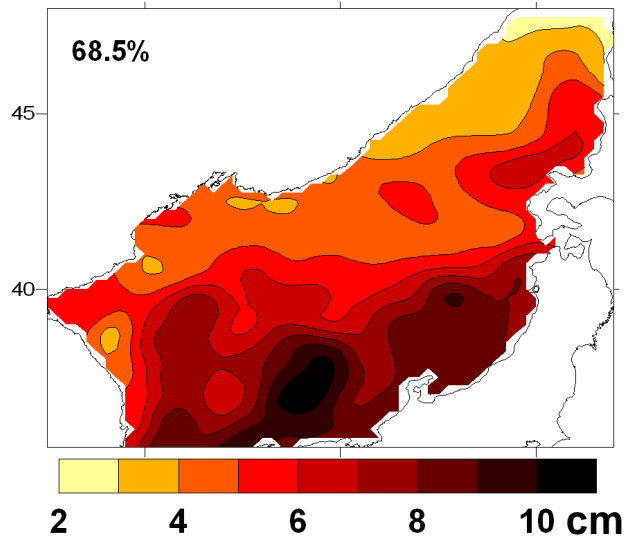
По дрейфтерам ARGOS
(Lee, Niiler, 2005)



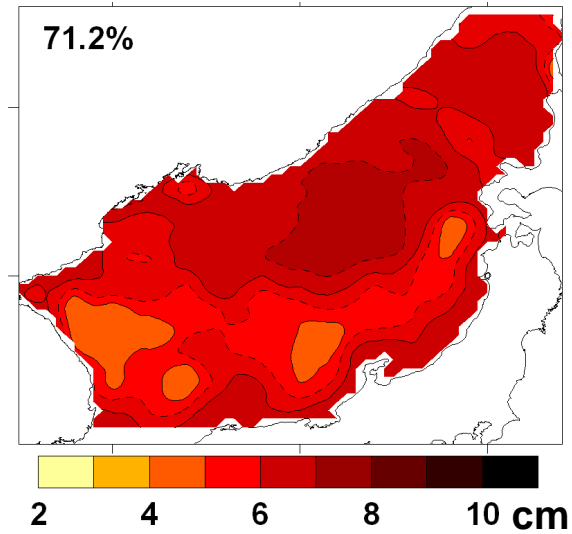
Synchronous oscillations

from non-normalized and normalized SLA

From non-normalized data set

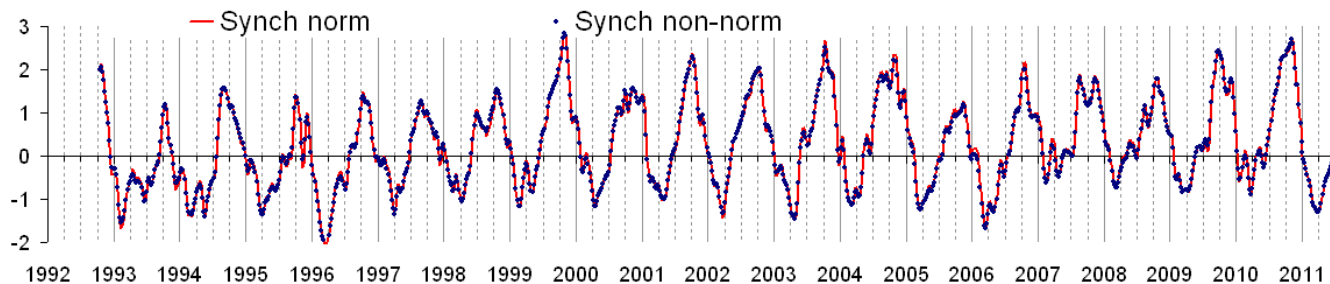


From normalized data set



Spatial pattern similar to covariance:
high in the southern sea

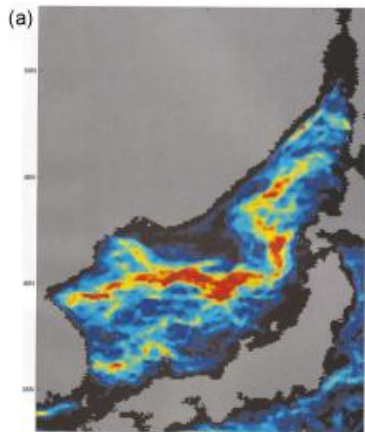
Spatial pattern high in the northern sea



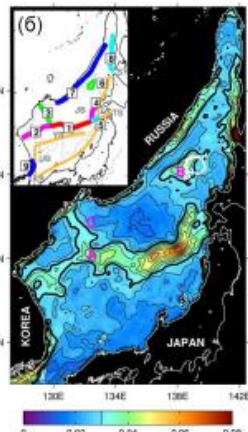
The same temporal pattern: highest in October, lowest in March

Поверхностные термические фронты и синоптические вихри

Термические фронты



(Belkin, Cornillon, 2003)

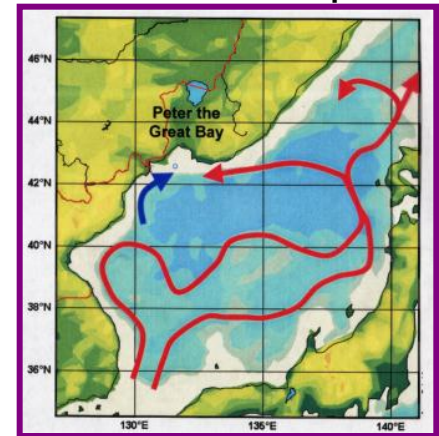


(Park et al., 2004)



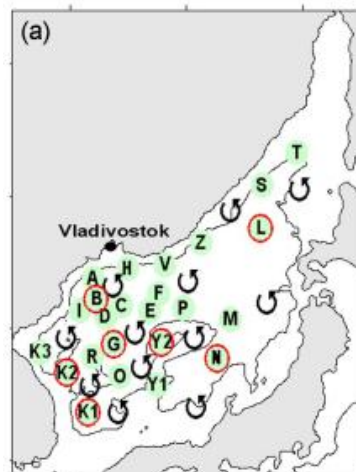
(Никитин, 2006)

Пути переноса теплых вод на север

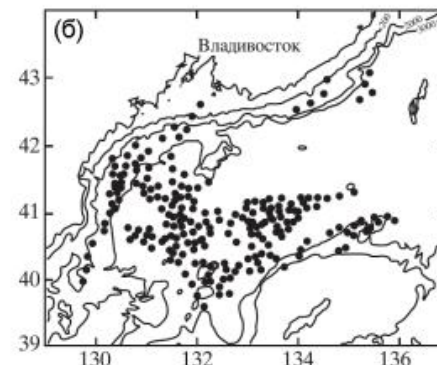


(Лобанов, 2001)

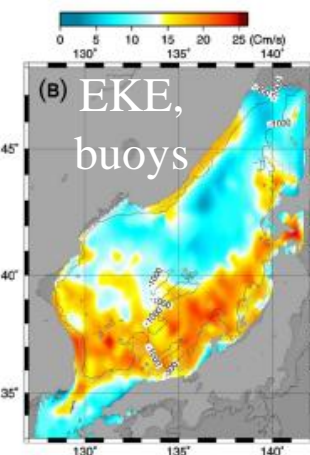
Часто повторяемые вихри



(Шиндлер, 2007)



(Лобанов и др., 2007)

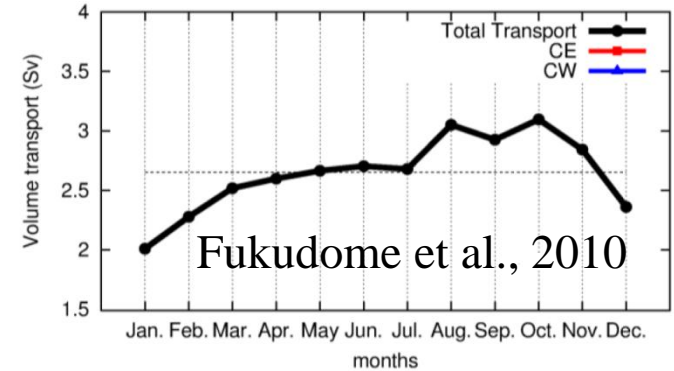


(Lee, Niiler, 2005)

Энергия синоптических движений

Seasonal transports in the straits

Transport in the **Korea Strait** is regularly monitored: largest in October, smallest in January, with the range of ~ 1 Sv.



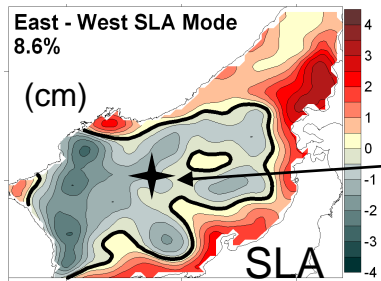
Tsugaru Strait (from 1-2 years of observations): no significant seasonal variability (Shikawa, 1994) or seasonal range of ~ 1 Sv, largest in November to December, smallest in January to February (Ito et al., 2003, Kuroda et al., 2004, Na et al., 2009). Implications of the strong interannual variability?

La Perouse (Soya) Strait (from 1-2 years of observations): seasonal range of ~ 1 Sv, largest (smallest) in summer (winter) (Sugimoto, 1990; Shevchenko et al., 2005).

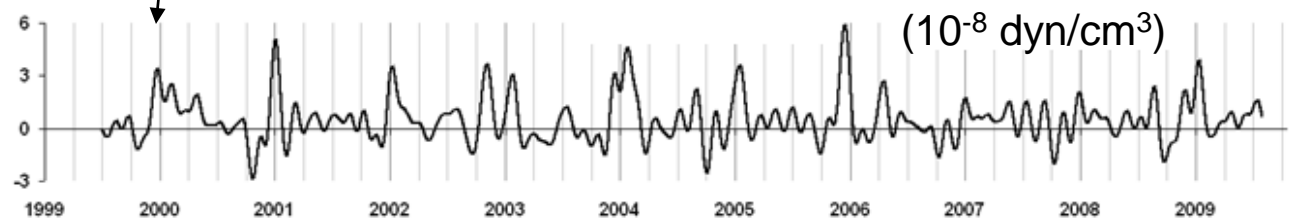
External forcings (mean state and seasonal variation): sea level difference from SLP variations, wind driven circulation in North Pacific, alongshore wind stress, CTW around the Japanese Islands. (Lyu and Kim, 2005; Tsujino et al., 2008).

Can there be seasonal volume imbalances in spring and autumn?

Статистические взаимосвязи с завихренностью напряжения ветра

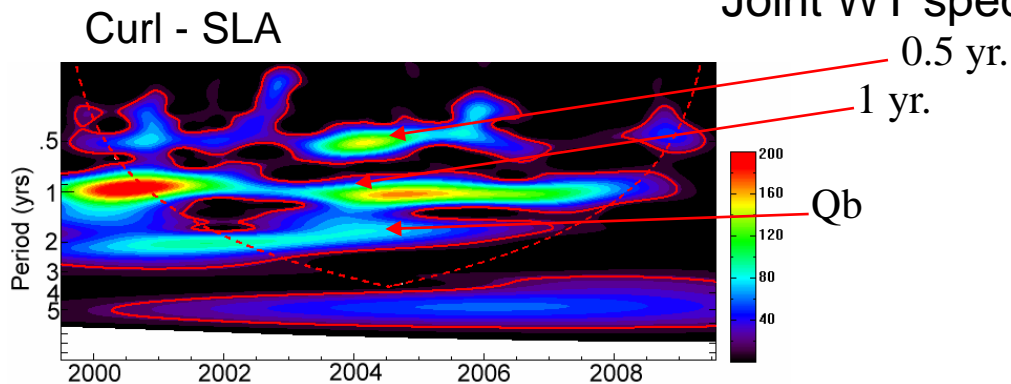


Данные по ветру: QSCAT/NCEP 0.5°, 4 срока, 1999 г. – июль 2009
центральный район

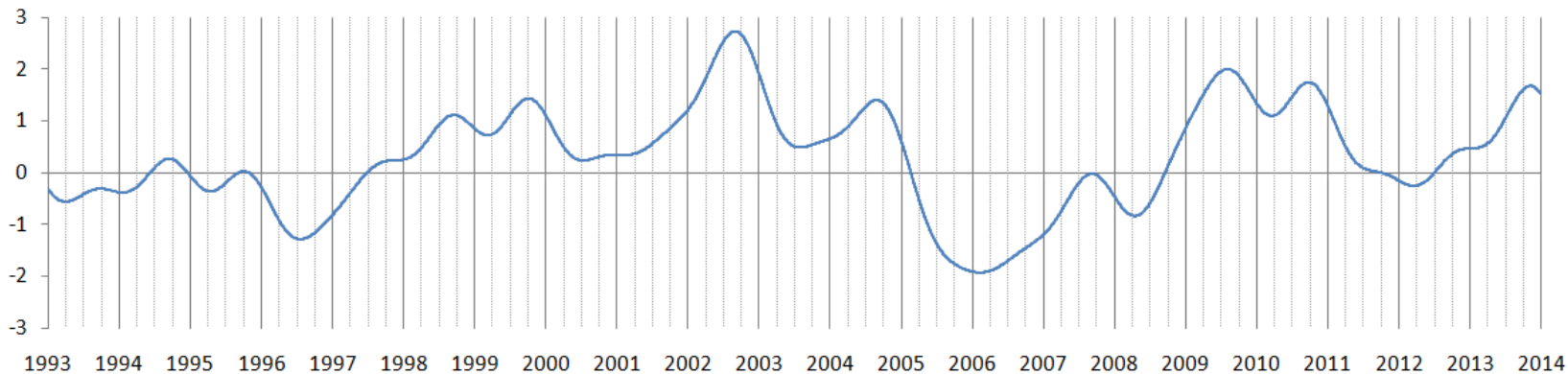
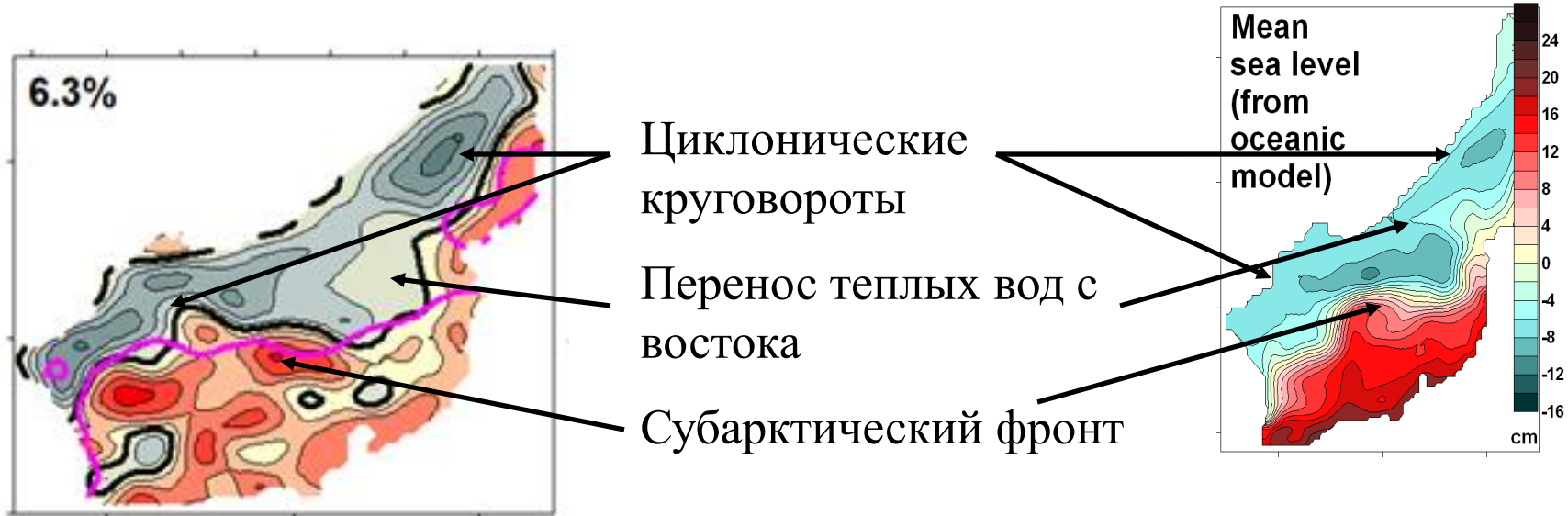


Semiannual, annual, and QB curl variability.

Joint WT spectra

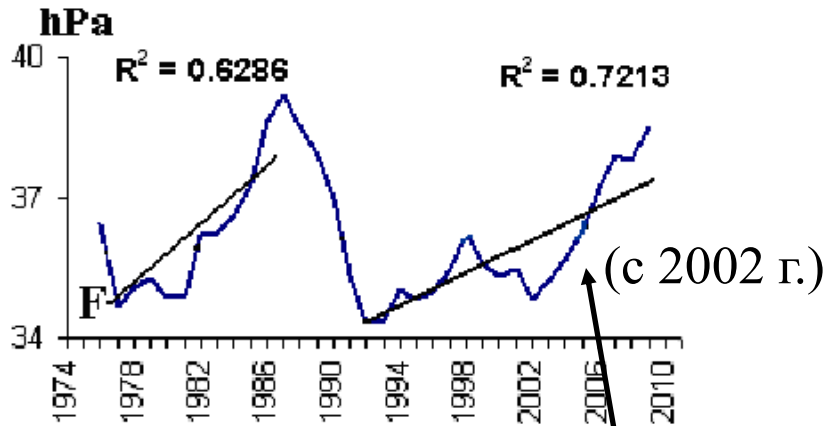


Межгодовая изменчивость циркуляции в субарктической части Японского моря



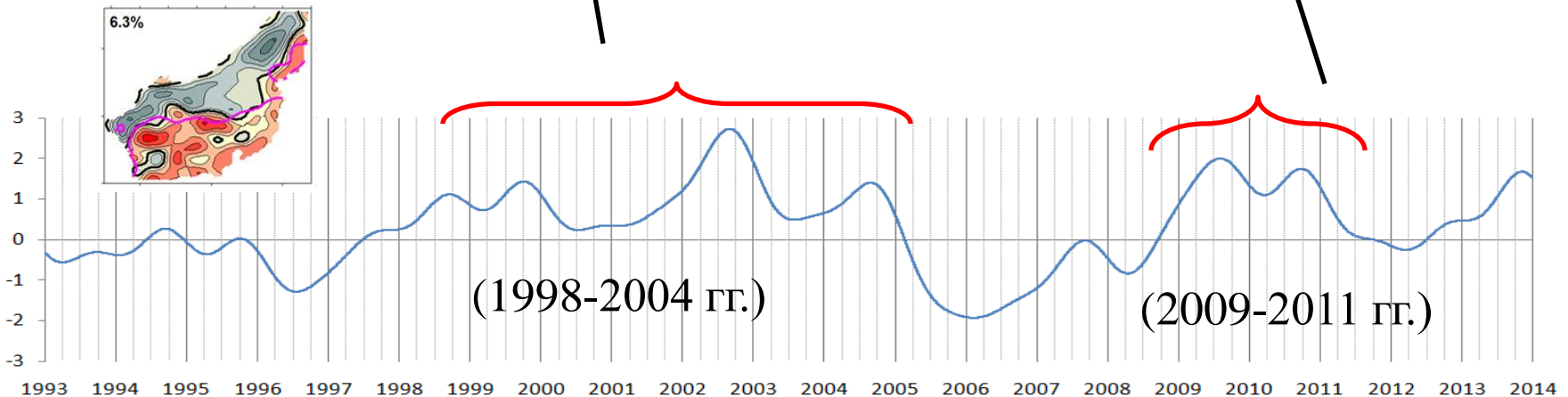
Связь циклонической циркуляции с интенсивностью зимнего муссона

Интенсивность (гПа) сибирского максимума (зимой)

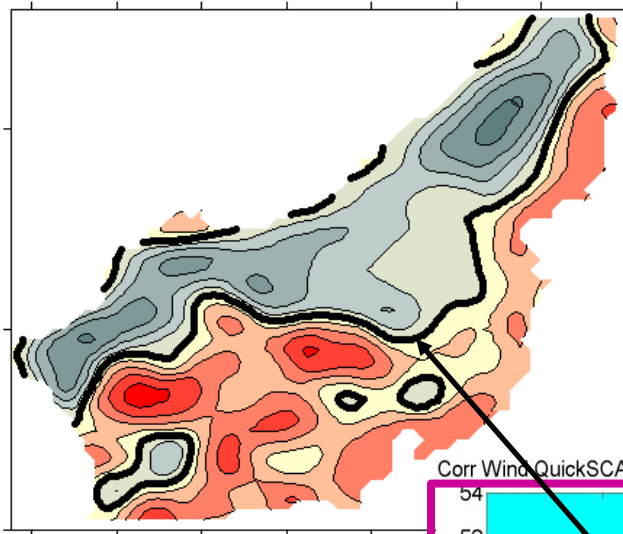


(Глебова, 2012)

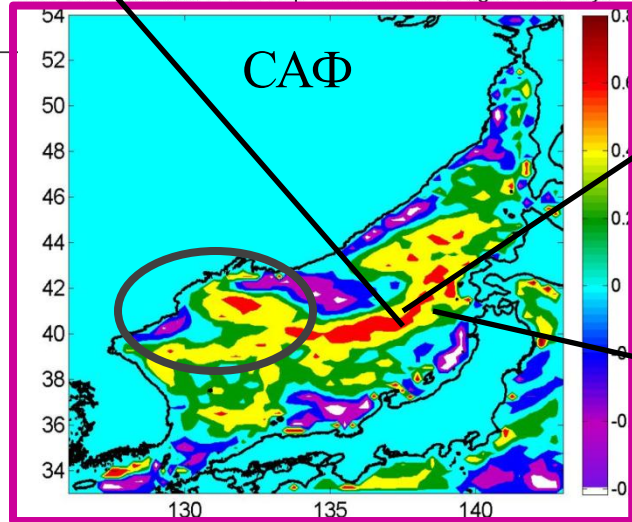
Разность давления между сибирским максимумом и алеутской депрессией в 2009-2011 гг. возрастала: 28, 36 и 38 гПа соответственно (Глебова, 2012)



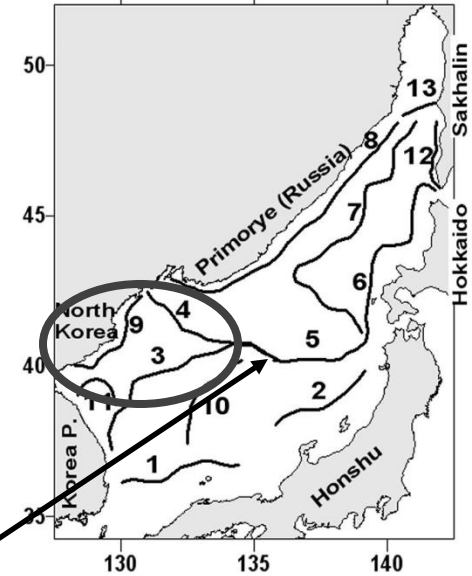
Термические фронты



Corr Wind QuickSCAT vs Temp Contrast Terra 025grid filt 60 days

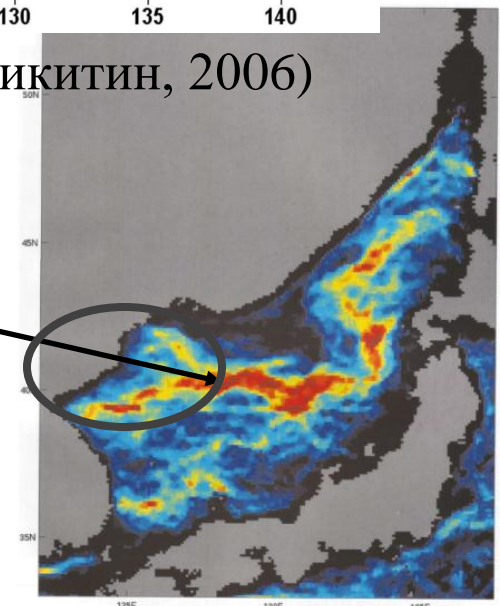


Корреляции
ТПМ – ветер QSCAT
(Кубяков и др., 2013)



(Никитин, 2006)

САФ



(Belkin et al., 2003)