

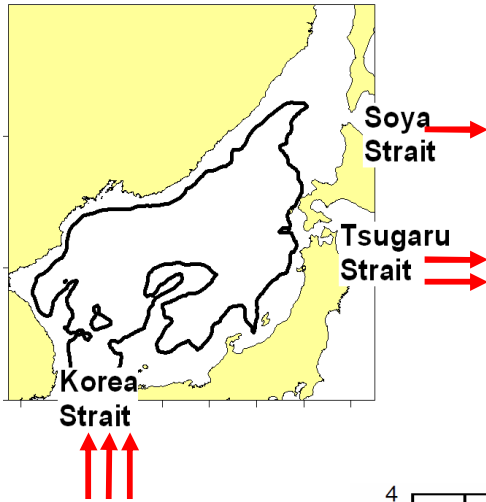


Изменчивость синоптической энергетики Японского моря (по данным спутниковой альтиметрии)

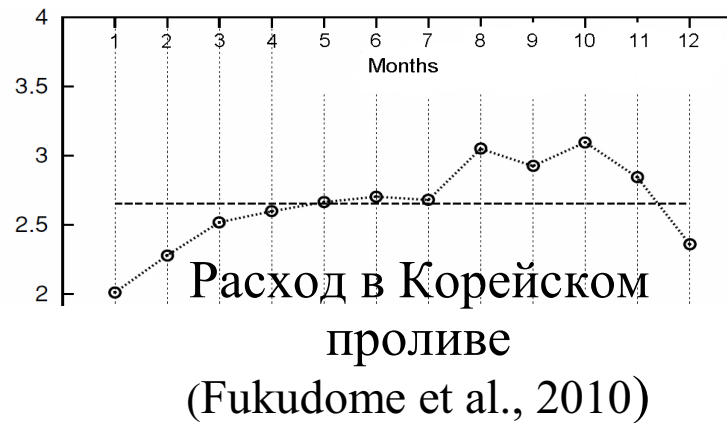
Трусенкова О.О., Каплуненко Д.Д., Ладыченко С.Ю.,
Трусенков С.Т., Лобанов В.Б.
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток

*ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"*

Введение

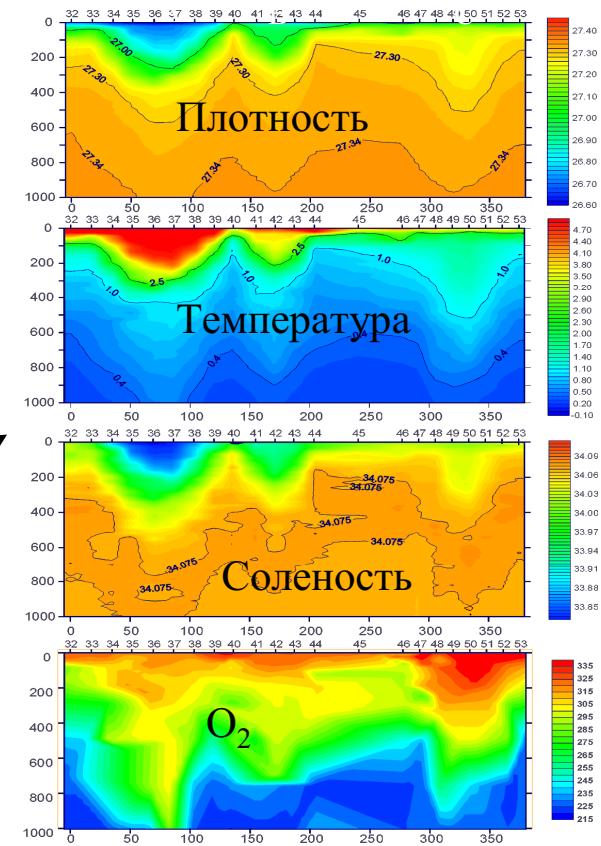
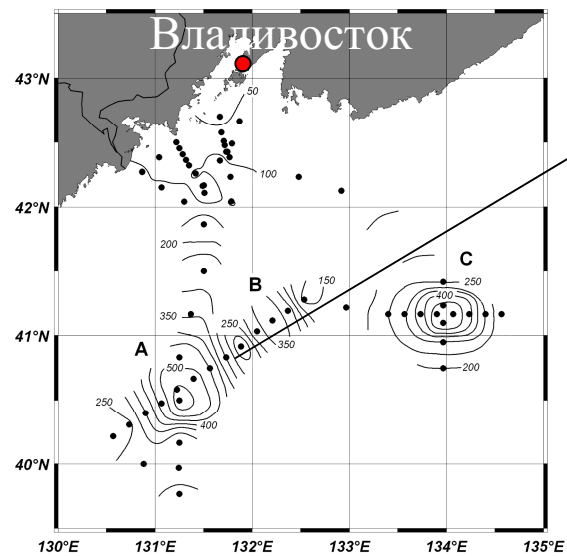
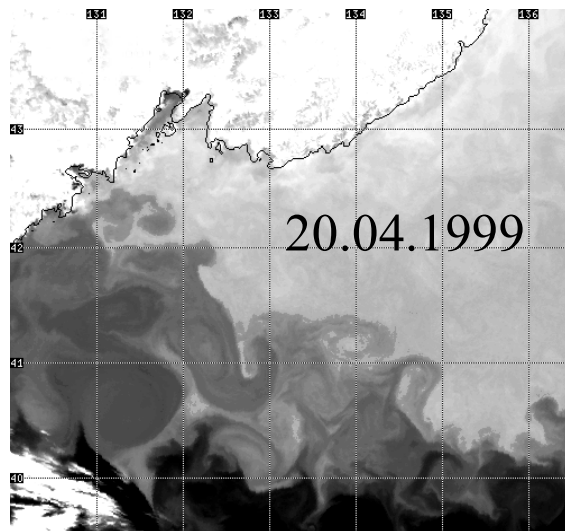


Транзит
субтропических
вод от
Корейского
пролива



Глубина проливов – менее 200 м

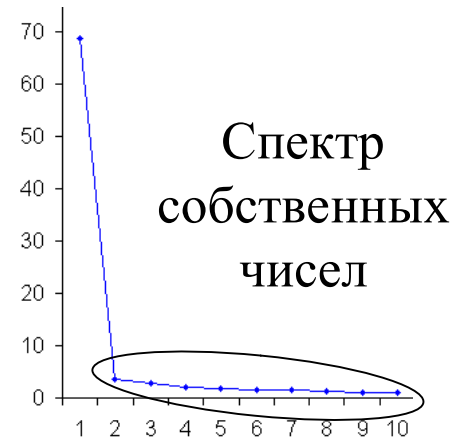
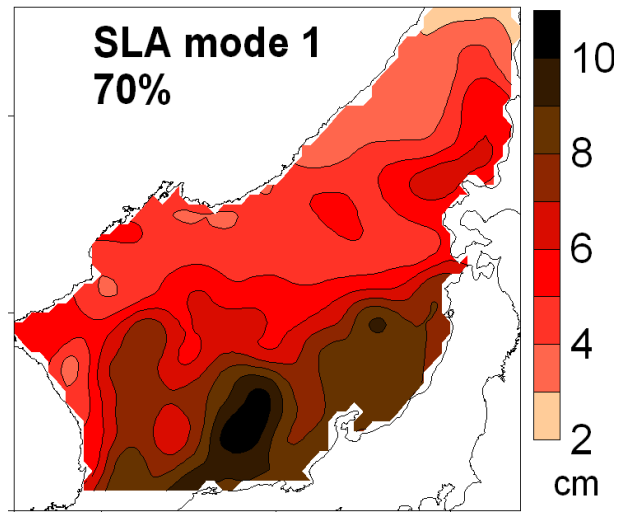
Баротропная составляющая синоптических структур (Лобанов и др., 2007)



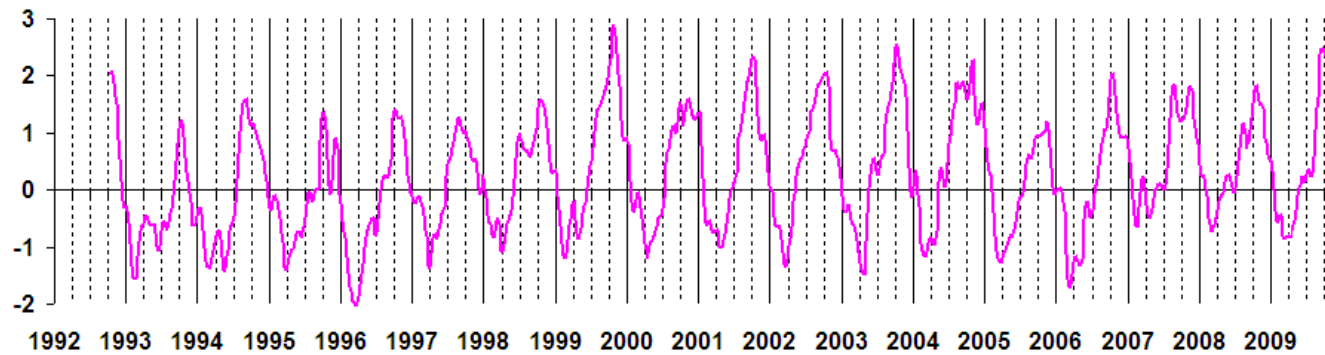
18-20.04.1999,
НИС «Павел Гордиенко»

Доминирующий годовой ход уровня

ЭОФ



Что еще?



Цель работы

Оценка мод уровня при наличии сильного сезонного сигнала.

Оценка изменчивости синоптической энергетики Японского моря по данным спутниковой альтиметрии.

Интерпретация мод изменчивости путем экспертного анализа термических контрастов на инфракрасных спутниковых изображениях.

Данные

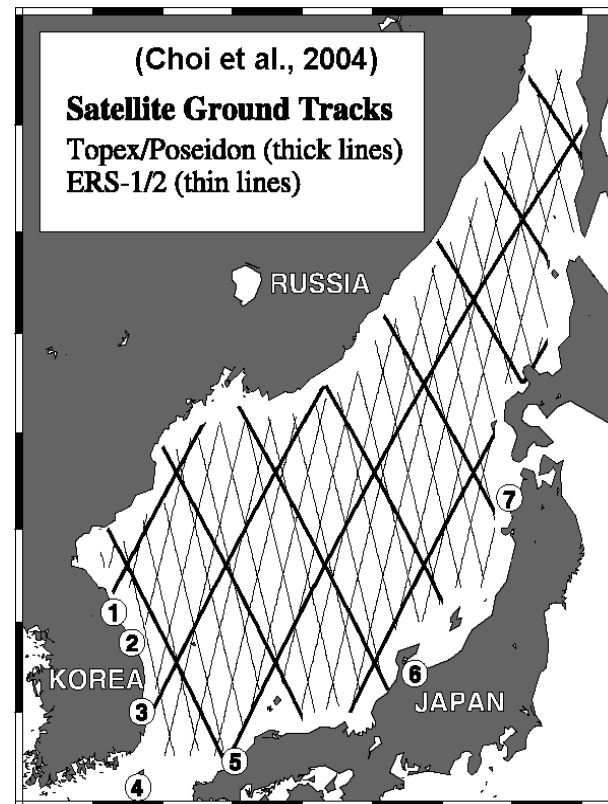
Базовый (reference) продукт **AVISO**:
еженедельные поля аномалий уровня моря,
с пространственным разрешением $1/4^\circ$,
в районе 35.5° - 48° с.ш., 127.5° - 142° в.д.
с октября 1992 г. по октябрь 2009 г.

Данные только двух спутников:

Т/Р - Jason 1, 2 (период 10 суток) +
ERS 1, 2 - EnviSAT (период 35 суток).

Аномалии: вычтен средний уровень =
геоид (точность ~ 20 см) +
средняя динамическая топография.

Инфракрасные спутниковые изображения
NOAA AVHRR июле - октябре 2000-2008 гг.



Методика анализа данных

Метод: разложение на ЭОФ: $X(r, t) = \sum A_k(r) \cdot B_k(t)$ – члены ряда упорядочены по убыванию вклада в общую дисперсию, A_k - собственные вектора ковариационной матрицы.

Предварительное нормирование выборок (полей) на локальную дисперсию, т.е. расчет корреляций, а не ковариаций →

- выявление низкоамплитудных аномалий;
- возможность выявления новых мод путем разложений на ЭОФ по нескольким выборкам, генерируемым в процессе анализа.

Генерация выборок: удаление вклада ведущей моды, полученной на предыдущем этапе анализа: $X'(r, t) = X(r, t) - A_1(r) \cdot B_1(t)$.

Пре-нормализация: дисперсия $X'(r_k, t) \neq$ дисперсия $X(r_k, t)$ →

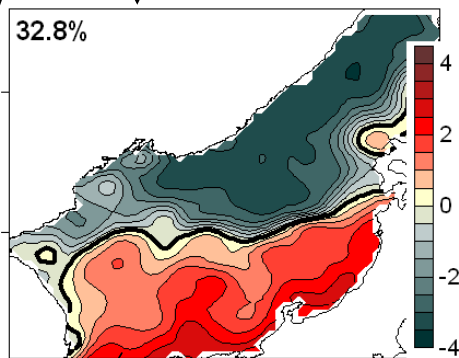
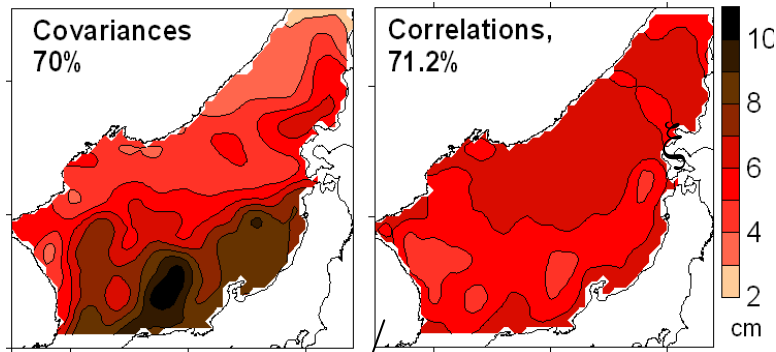
возможность получения новых мод: $X'(r, t) = \sum A'_k(r) \cdot B'_k(t)$

Без нормализации:

$$A'_1(r) \cdot B'_1(t) = A_2(r) \cdot B_2(t), A'_2(r) \cdot B'_2(t) = A_3(r) \cdot B_3(t), \dots$$

Ведущие моды уровня

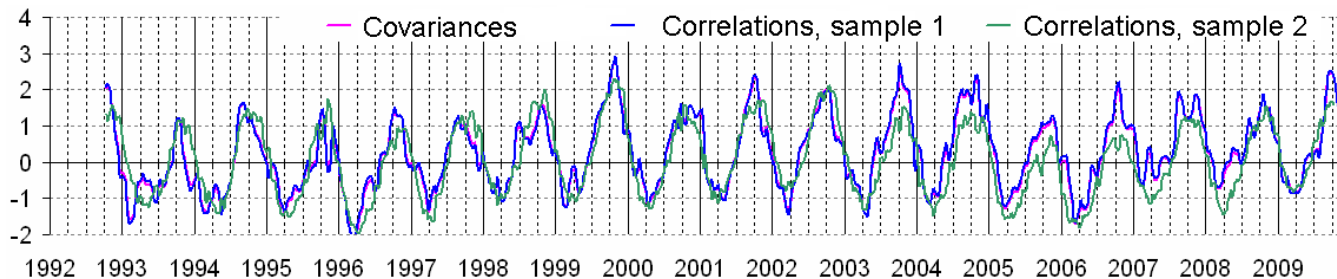
Ненормированные Нормированные



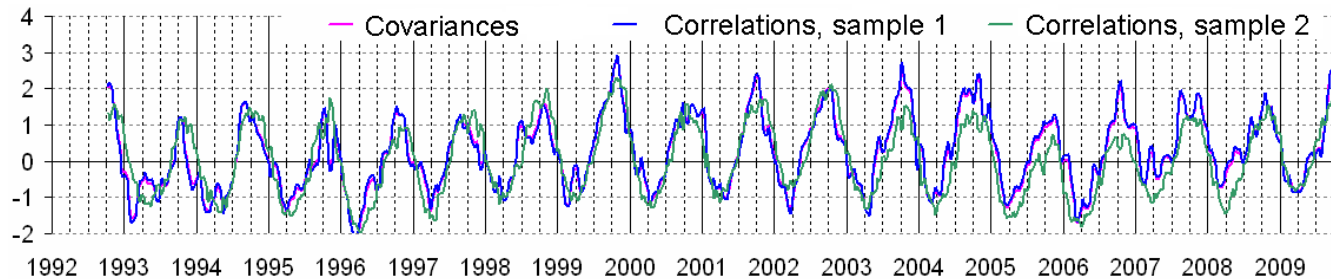
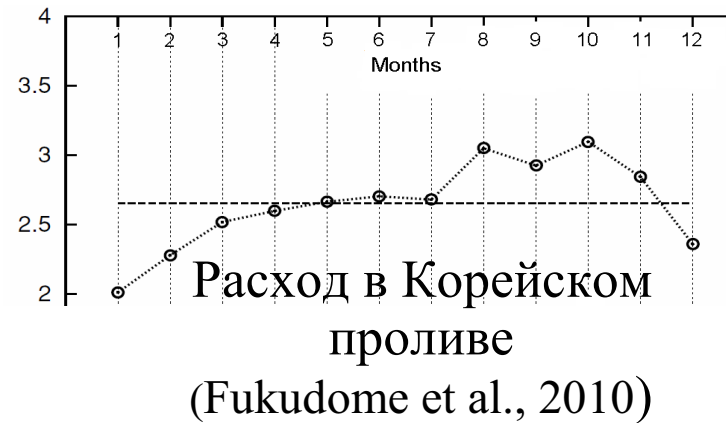
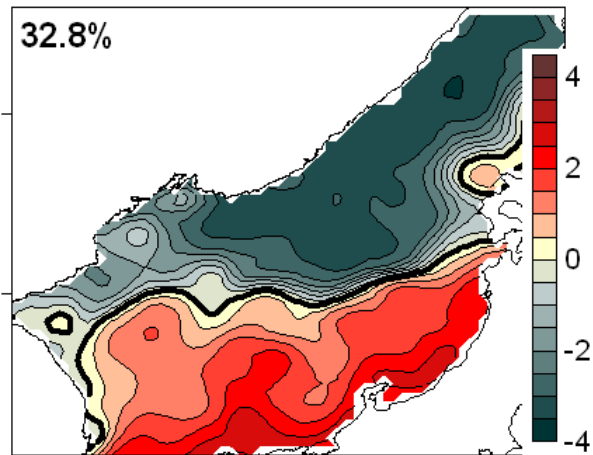
$$\xi' = \xi - A_1(r) \cdot B_1(t)$$

+ ϵ

Парные корреляции
~ 0.85-0.97



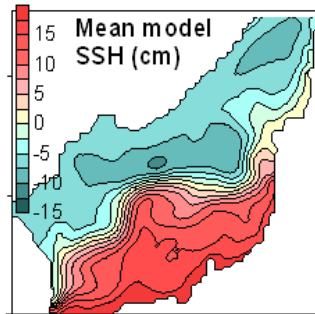
Меридиональный градиент уровня – интенсивность циркуляции



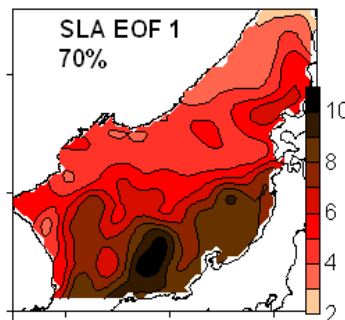
Получено в численных экспериментах (Trusenkova et al., 2005; Kim and Yoon, 2010).

Термическое воздействие за счет поступления теплых вод через Корейский пролив и раннего охлаждения в субарктической части моря.

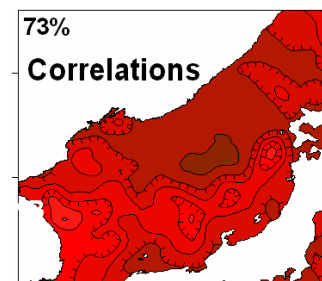
Модельный
уровень



Ненормированные

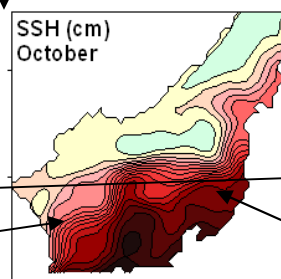
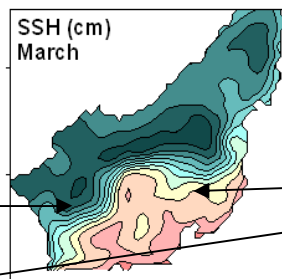


Нормированные



Син-
хронная

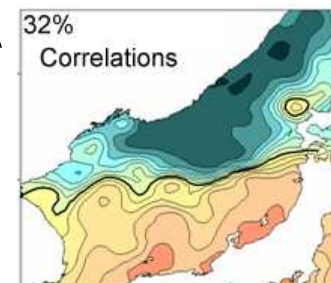
Градиенты
западный
САФ



Градиенты
восточный
САФ

$$9.8 \times 10^{-7}$$

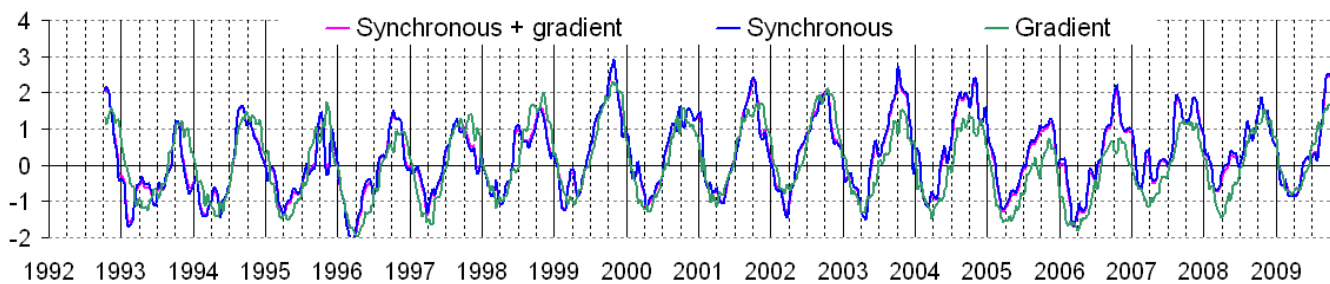
$$16.0 \times 10^{-7}$$



Градиент

$$10.3 \times 10^{-7}$$

$$10.9 \times 10^{-7}$$



Кинетическая энергия синоптических движений (eddy kinetic energy)

$u' = -(g/f)\partial\xi/\partial y$, $v' = (g/f)\partial\xi/\partial x$, где ξ – аномалия уровня
(скорости отнесены к центрам боксов)

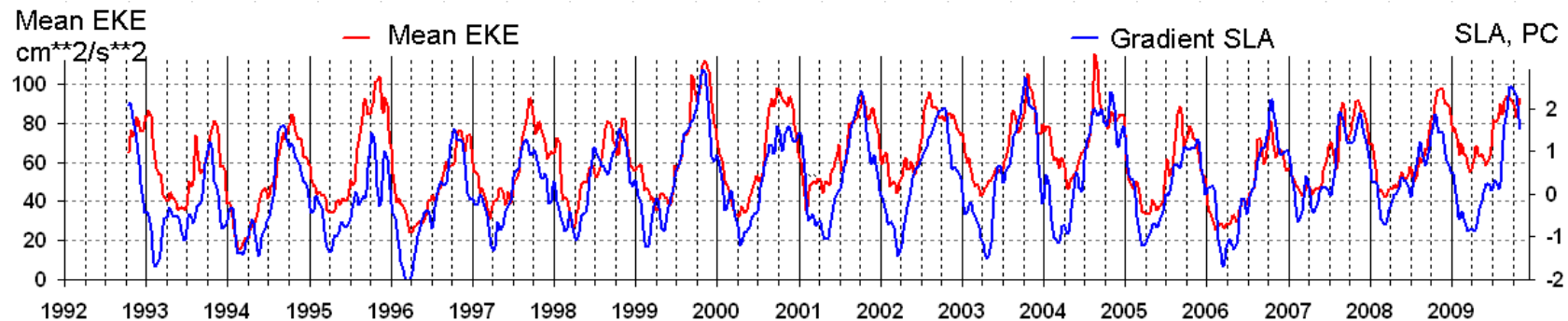
$$E_m = (u'^2 + v'^2)/2 \text{ (в геострофическом приближении)}$$

Усиление шума при дифференцировании; низкочастотная фильтрация с периодами отсечения 9, 13, **20** недель – подобные ЭОФ моды, улучшение спектра собственных чисел при удалении шума.

Низкочастотная доля вихревой энергии, с размерами структур > 25 км и временем жизни/повторяемостью > 2 -4 мес.

Средний годовой ход соответствует сезонным модам уровня (корреляция ~ 0.8).

Как отличить синоптическую энергетику от сезонных изменений интенсивности крупномасштабной циркуляции?

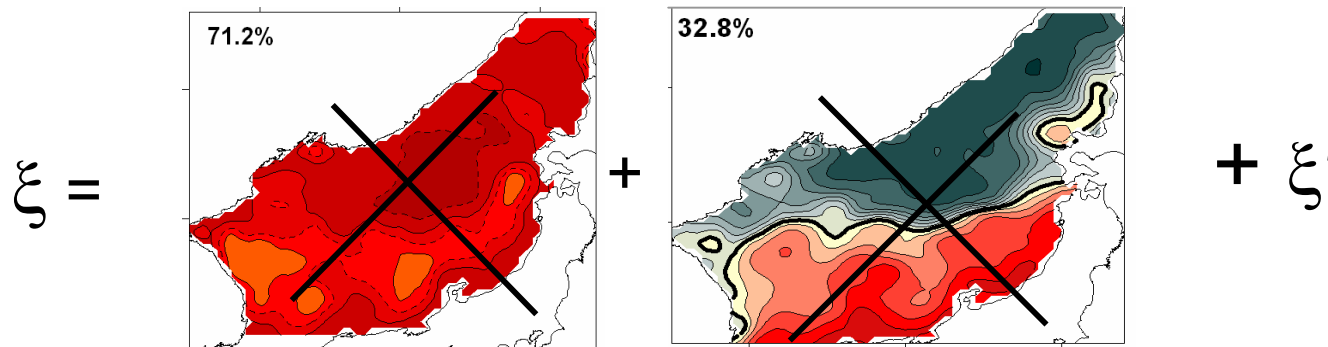


Могут ли моды, описывающие энергетику синоптических движений, быть взаимосвязанными?

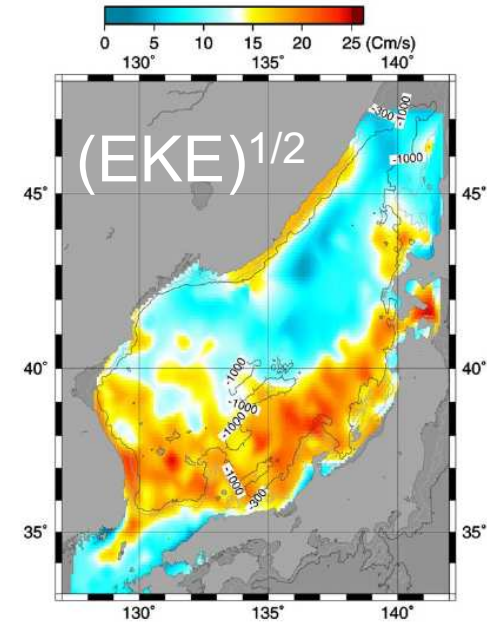
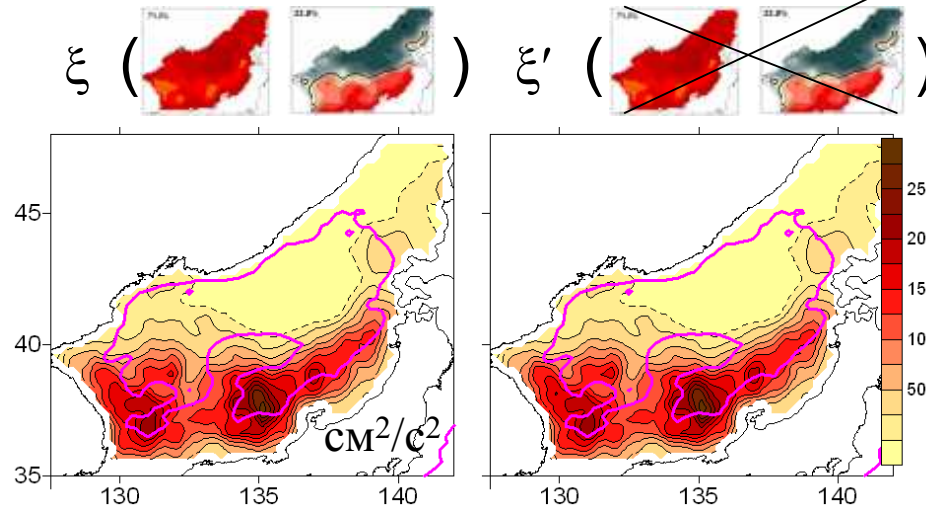
Удаление вклада сезонной изменчивости крупномасштабных течений

Синхронная мода

Градиент



Средняя E_m

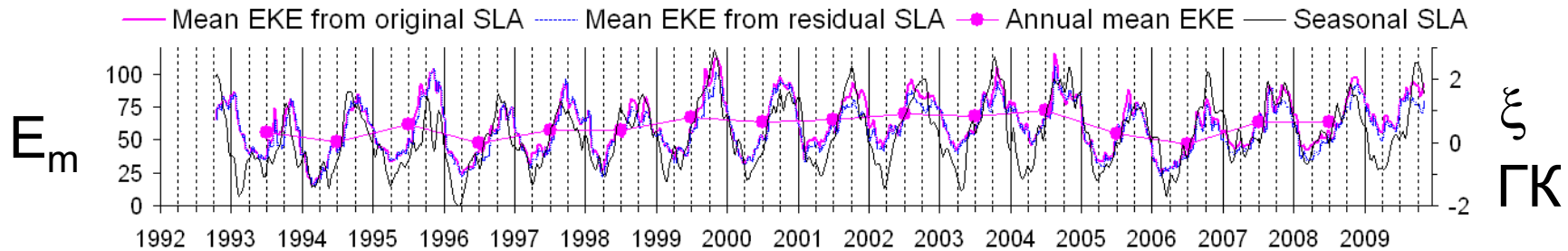


Корреляция > 0.95 .

Корреляция с сезонными модами $\xi \sim 0.8$.

В 2-5 ниже, чем оценки по поверхностным буям \rightarrow
вклад баротропной составляющей?

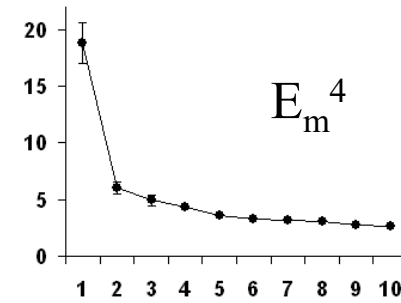
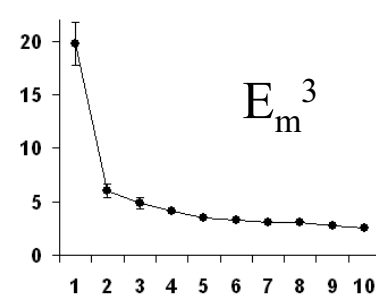
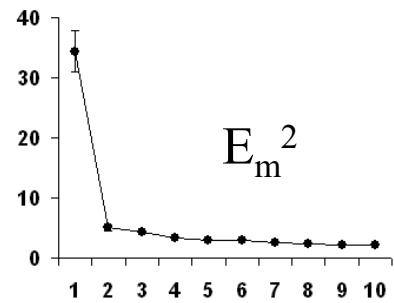
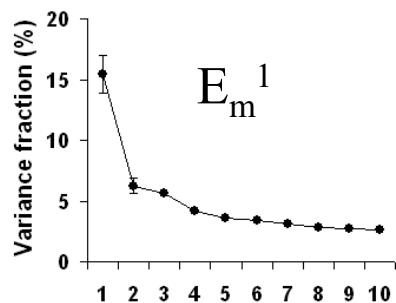
По данным буев
Argos (Lee and
Niiler, 2005)



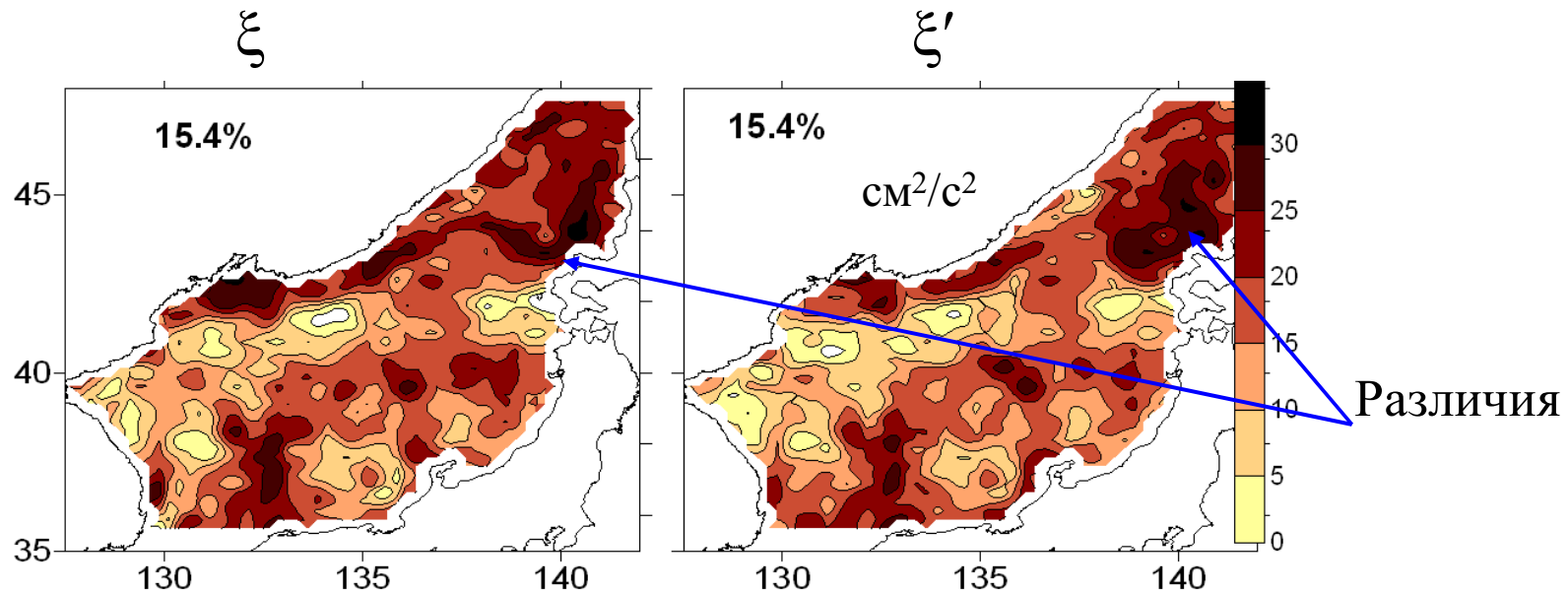
Старшие моды E_m по полям ξ'

| Выборки E_m (по полям ξ') | Мода | Собственное число (%) |
|------------------------------------------------|------|--------------------------|
| E_m^1 | 1 | 15.5 ± 1.5 |
| E_m^2 : вклад моды 1 полей E_m^1 удален | 1 | 34.3 ± 3.4 |
| E_m^3 : вклад моды 1 полей E_m^2 удален | 1 | 19.8 ± 2.1 |
| E_m^4 : вклад моды 1 E_m^3 полей удален | 1 | 18.8 ± 1.8 |

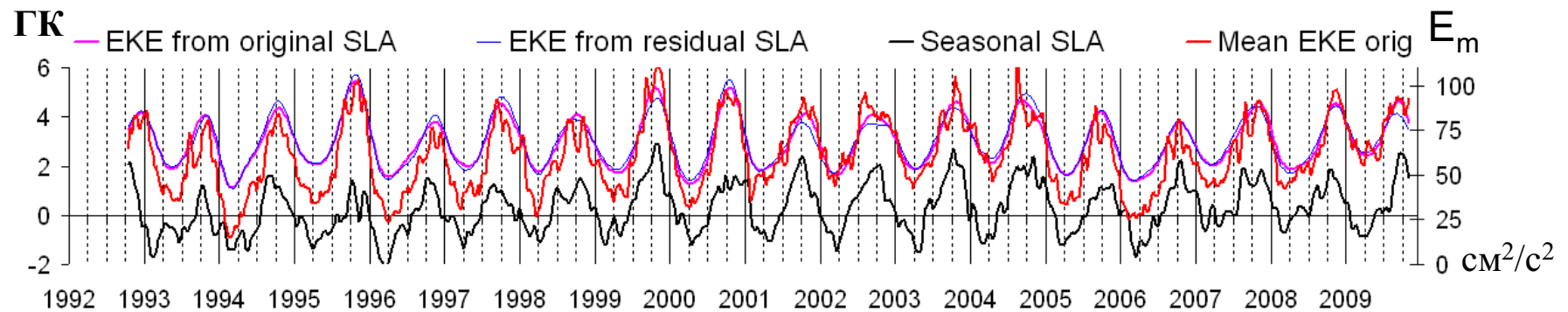
учитывают >
60% общей
дисперсии
исходных
полей E_m .



Старшие моды E_m на основе полей ξ и ξ'



Корреляция ГК ~ 0.98 , со средней >0.96 , с сезонными модами $\xi \sim 0.8$.

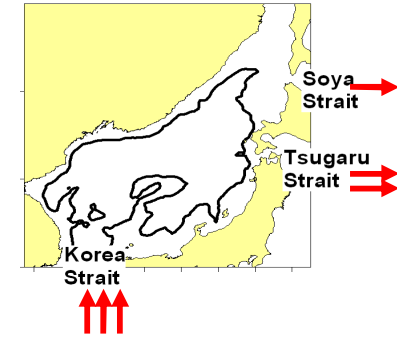


Тренды?

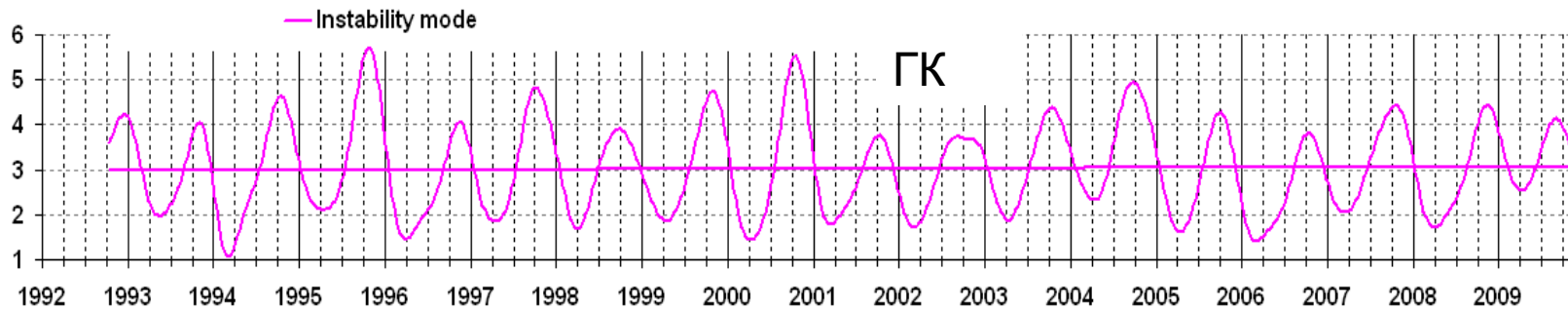
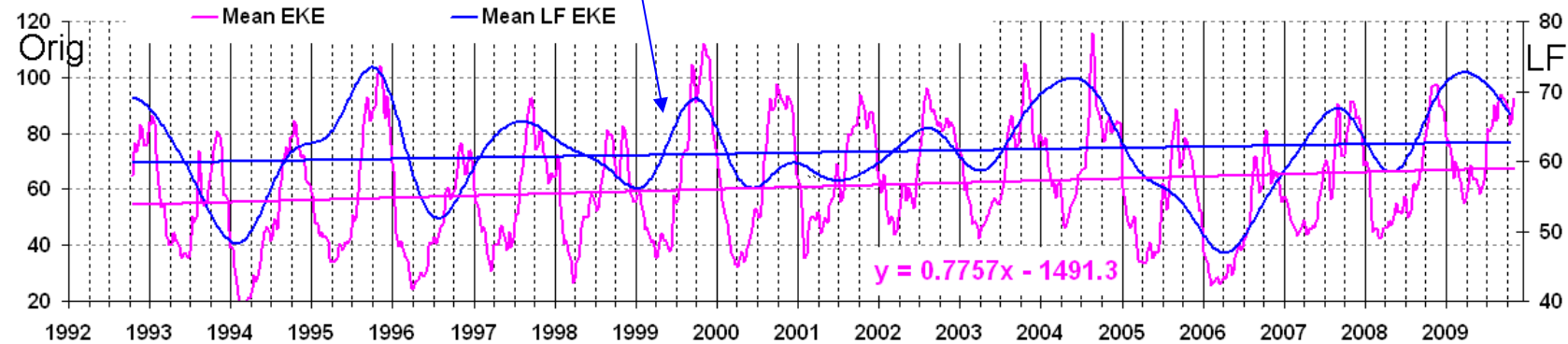
Средняя E_m : $0.9 \text{ cm}^2/\text{v}^2$ в год за 1993-2007 гг. (Son et al., 2011),
 $\sim 0.8 \text{ cm}^2/\text{c}^2$ в года за 1993-2009 гг.

Низкочастотная E_m : $< 0.2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ per year

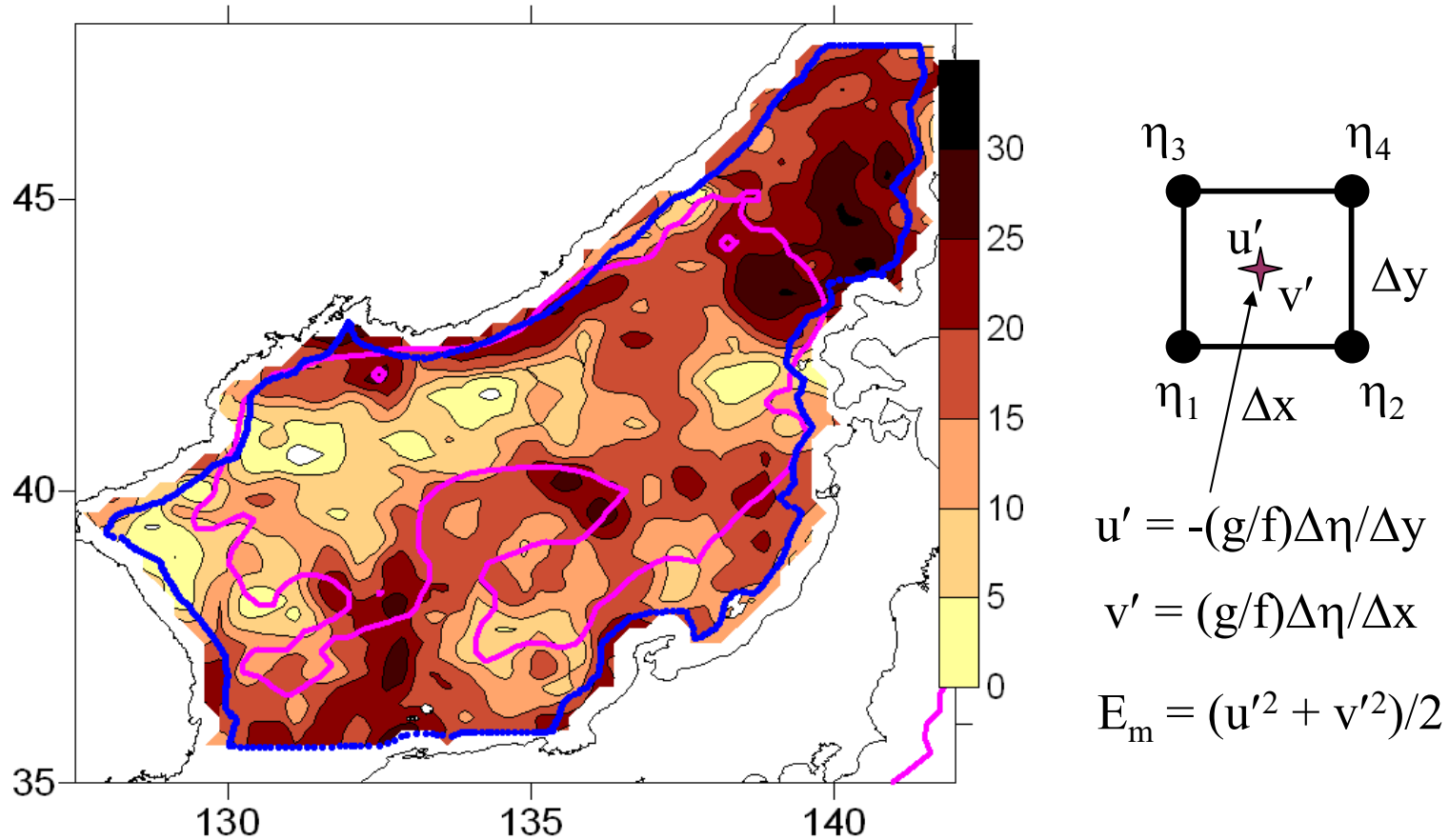
ГК: нет тренда



Средняя E_m

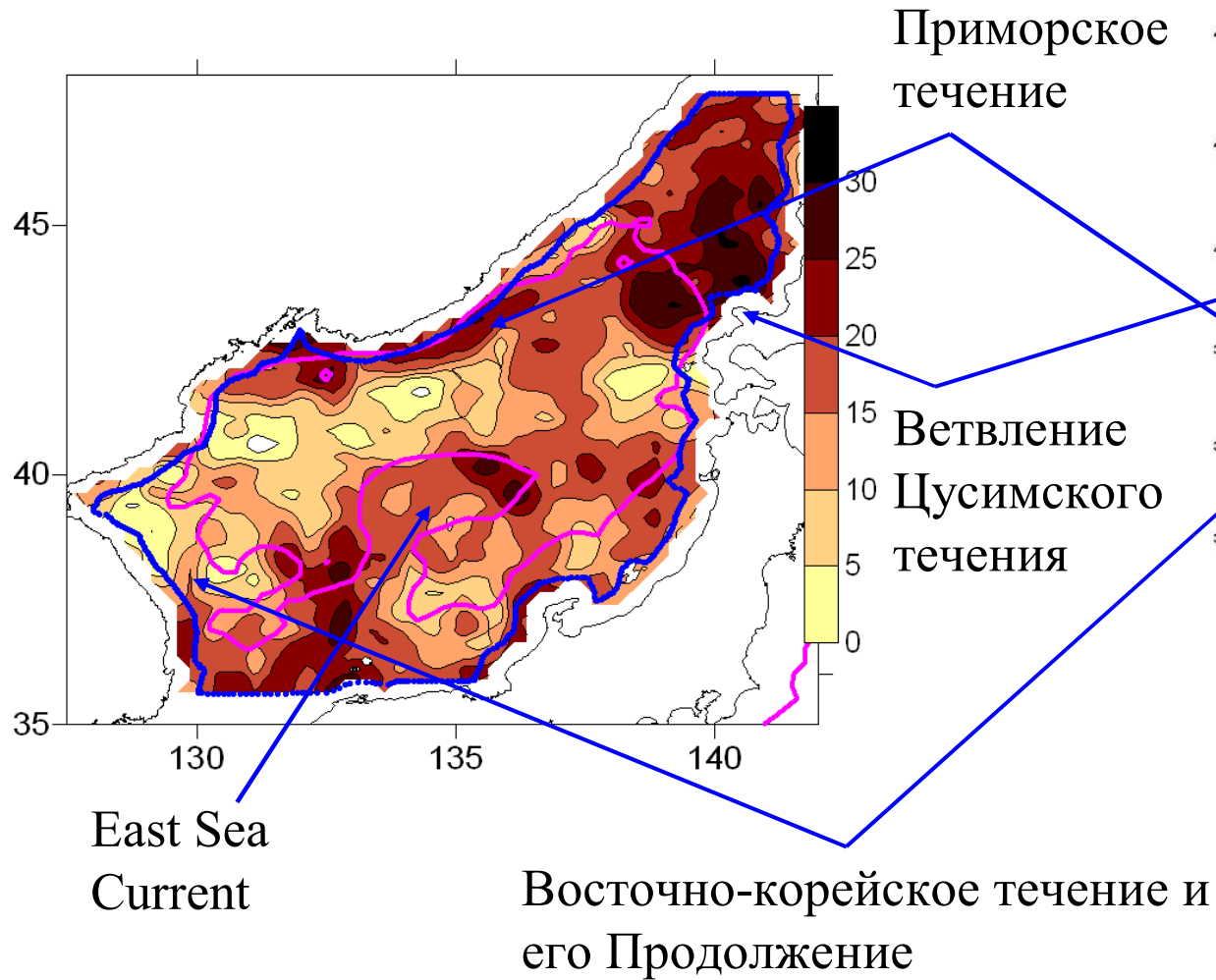


Исключение вдольбереговых зон

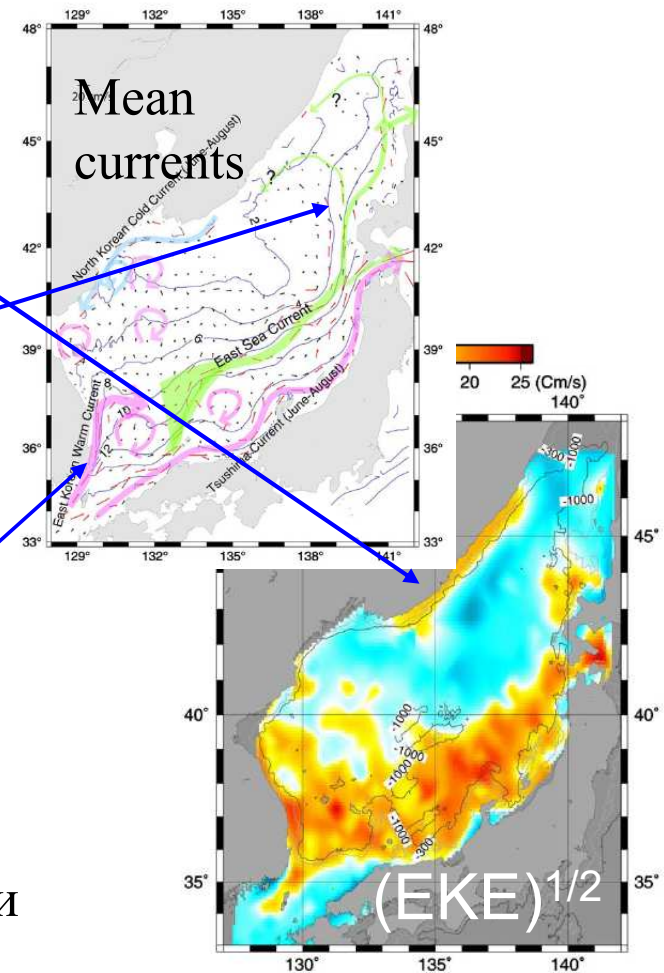


$\Delta x, \Delta y \sim 25$ км, $\xi \sim 50$ км от берега, скорость и $E_m \sim 60$ км от берега.

Гидродинамическая неустойчивость

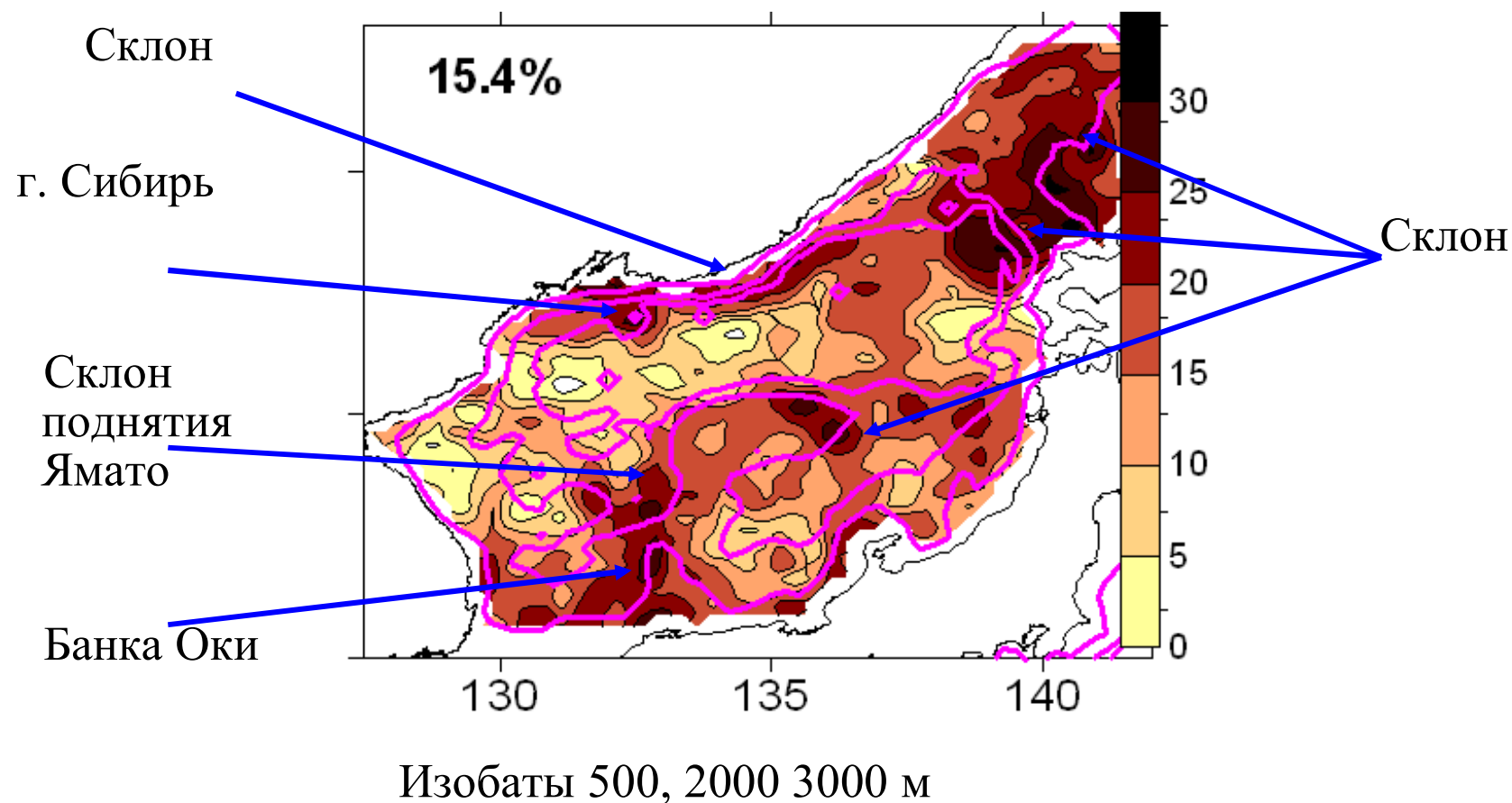


ARGOS

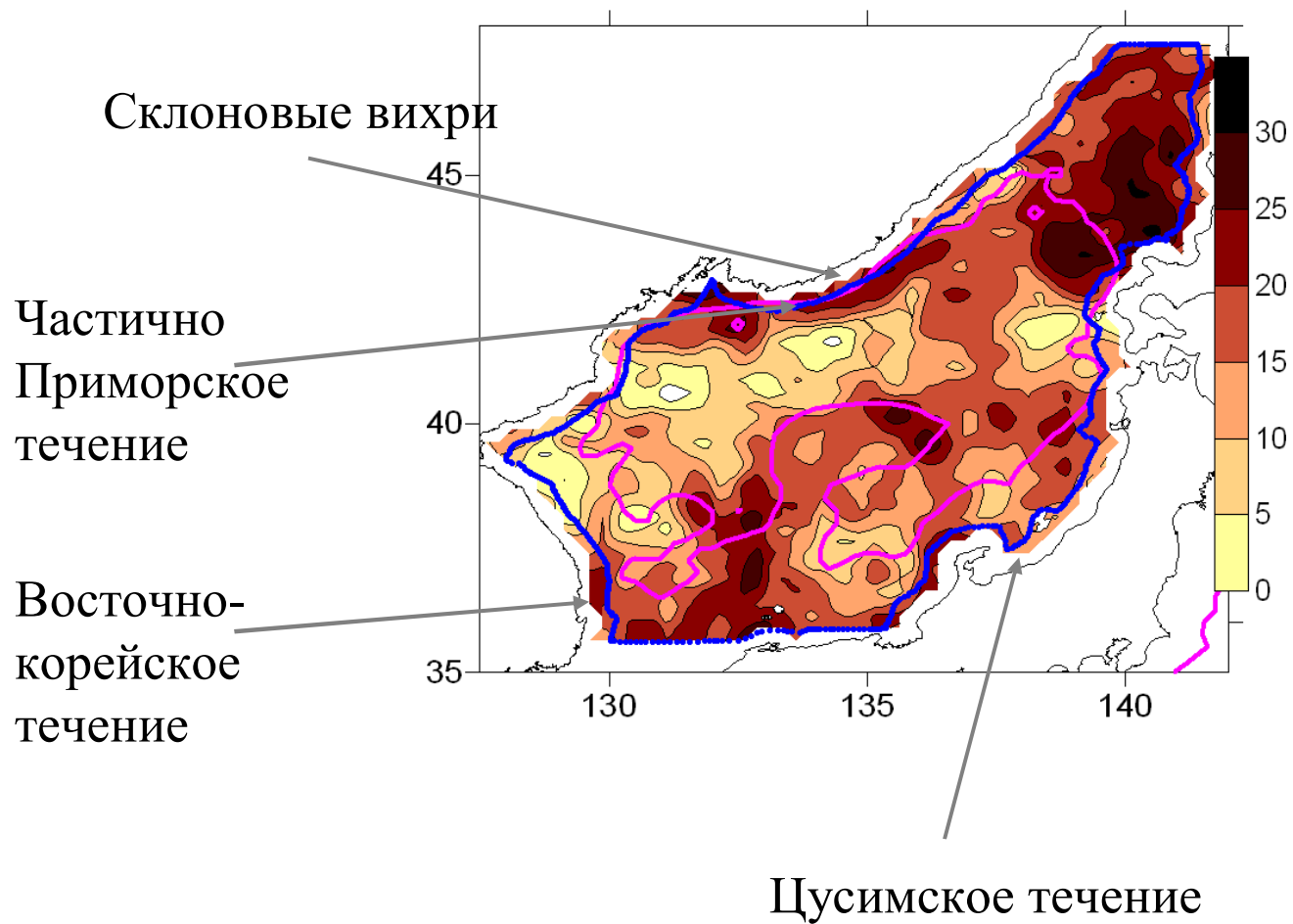


(Lee and Niiler, 2005)

Взаимодействие с топографией

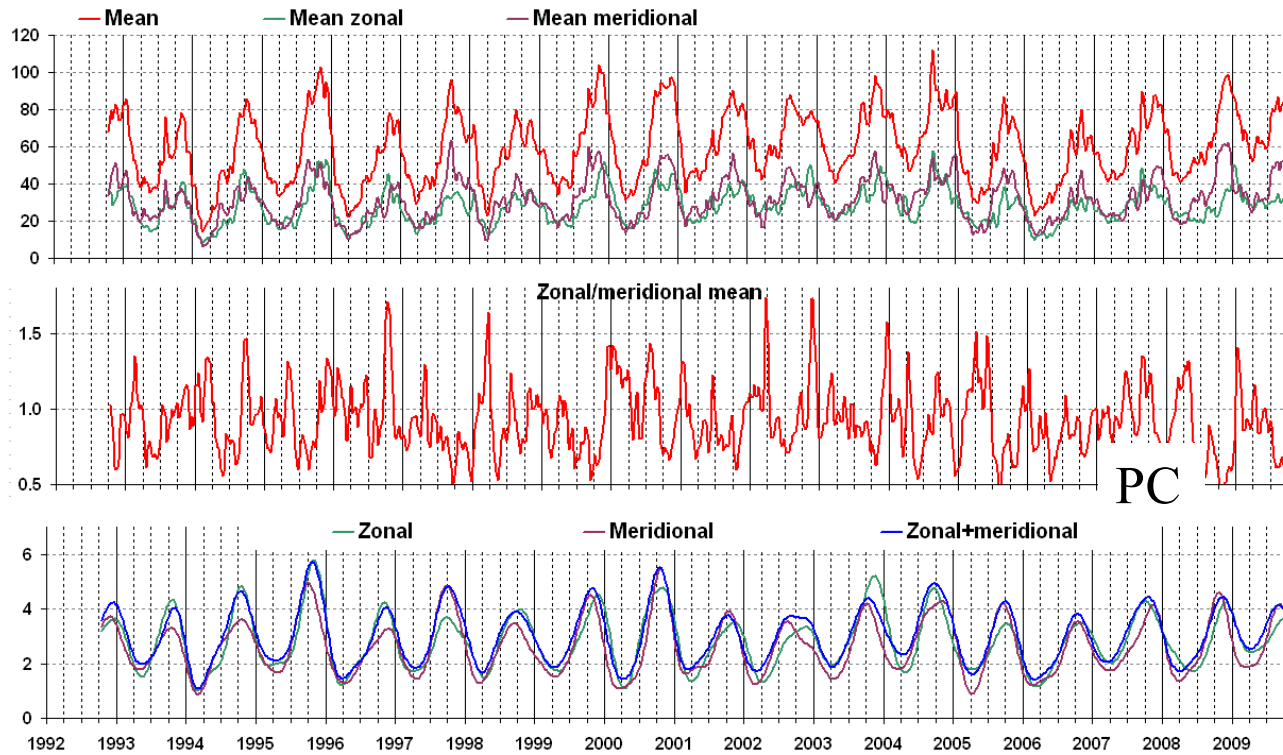
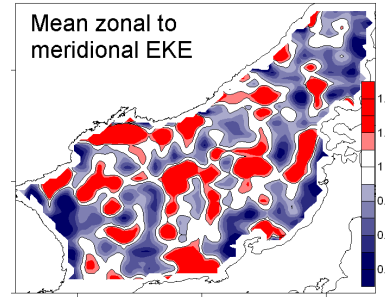
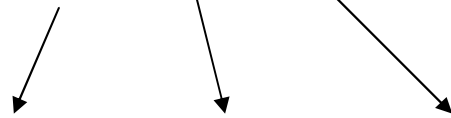


Ненаблюдаемые структуры

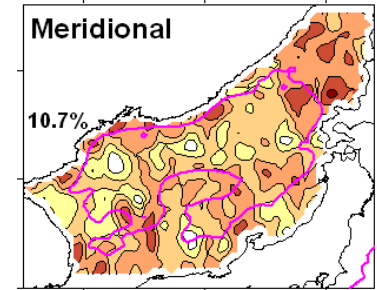
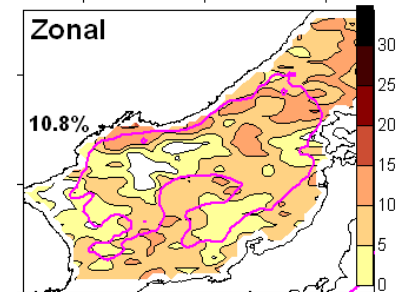
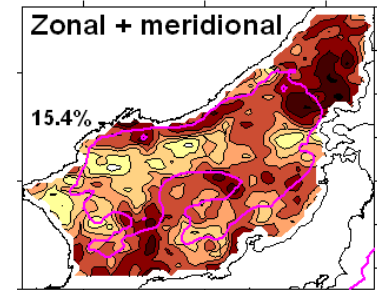


Зональная и меридиональная E_m

$$E_m = (u'^2 + v'^2)/2$$



Мода 1



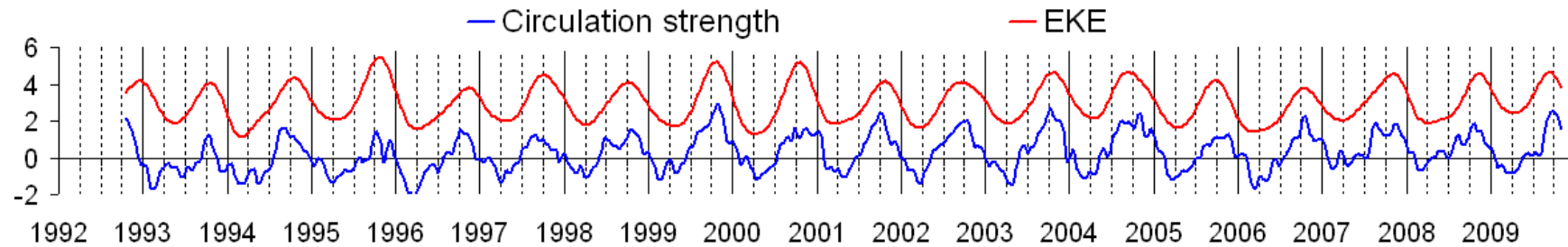
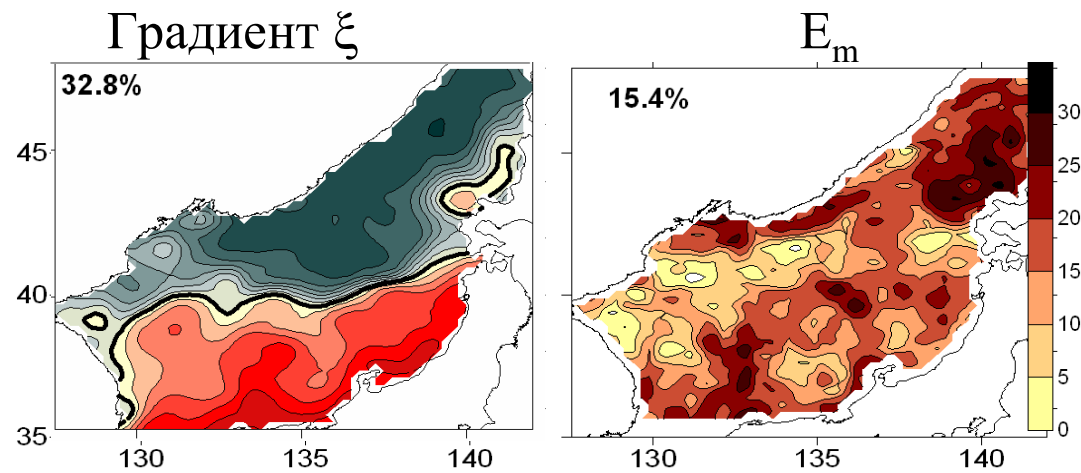
Бароклинная неустойчивость

Оценка для Гольфстрима (Zhai et al., 2008).

Для Японского моря (Son et al., 2011)?

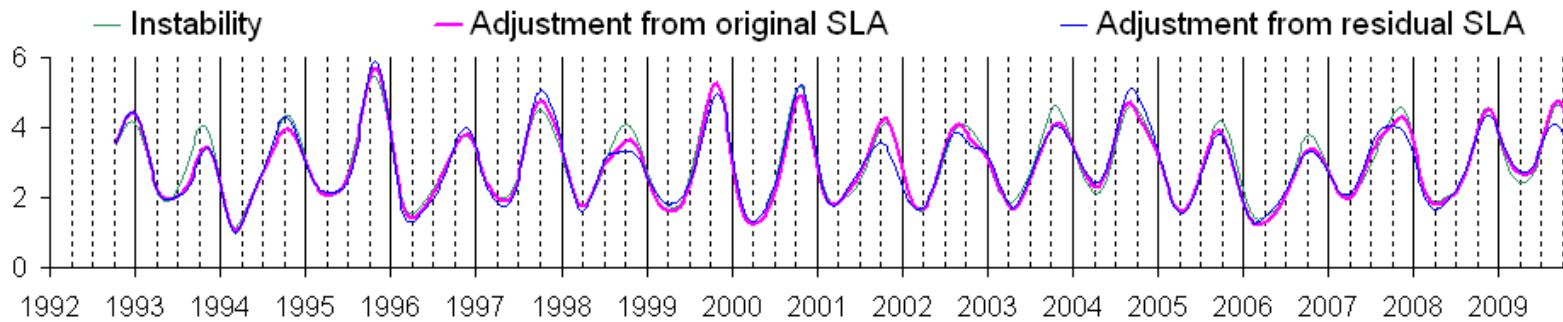
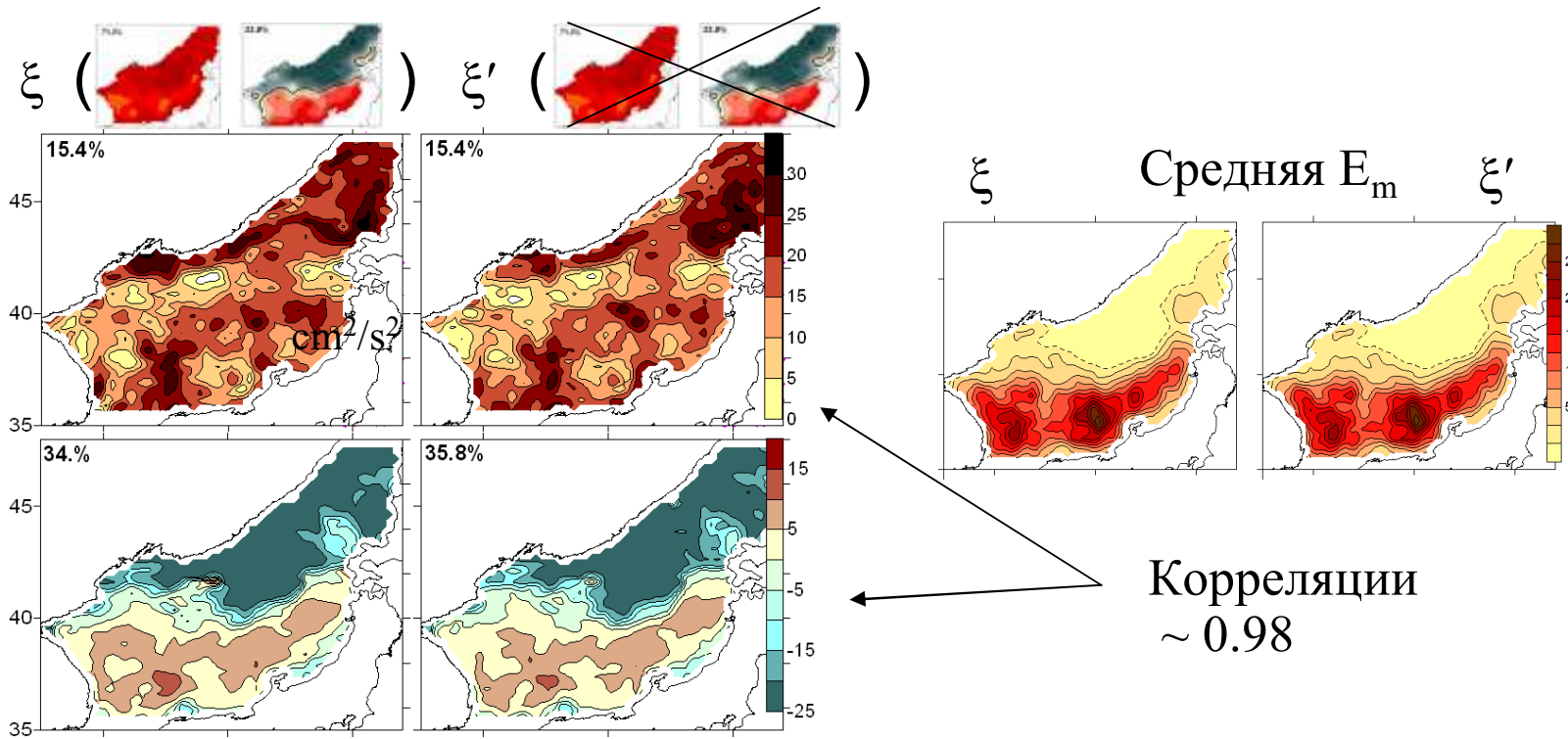
Сдвиговая неустойчивость в субарктических круговоротах (Zhai et al., 2008)?

Сдвиговая неустойчивость в Японском море?

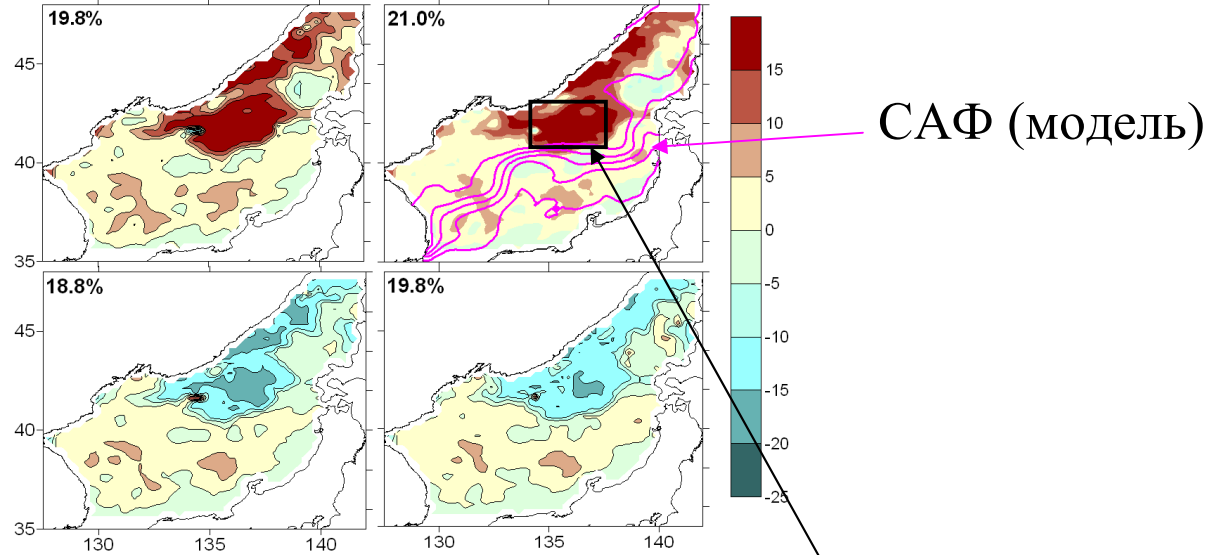
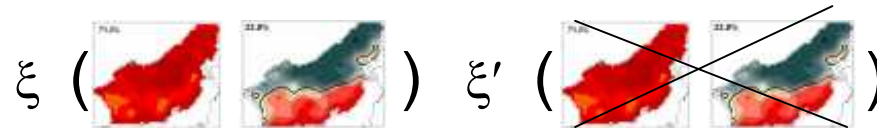


Одинаковый годовой ход интенсивности крупномасштабной циркуляции и E_m

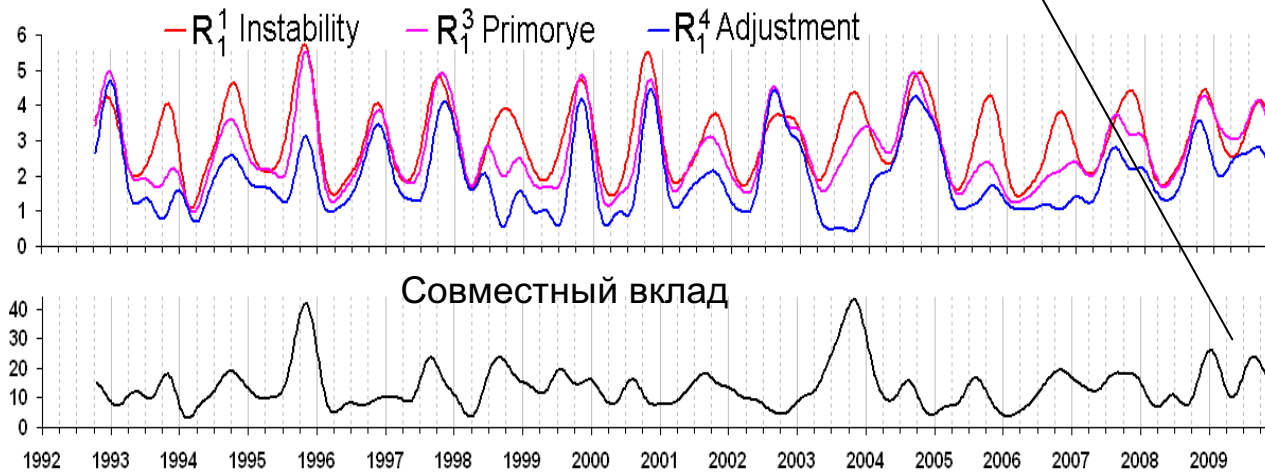
Поправка для сходимости к средней E_m

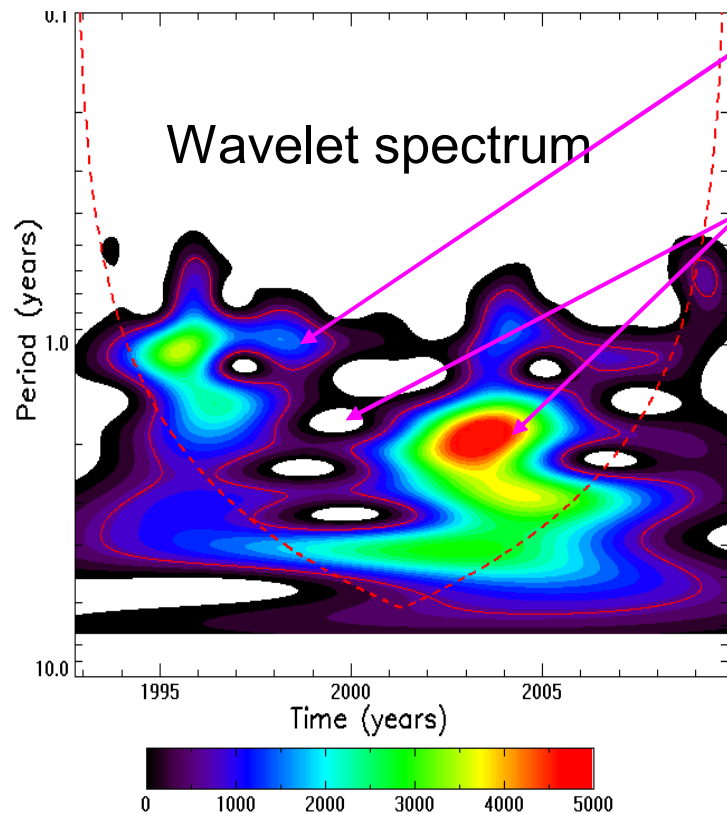


Приморская мода



Поправка для сходимости к среднему





1 год до 1997 г.

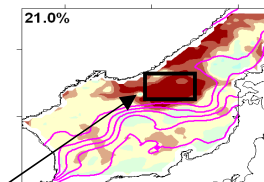
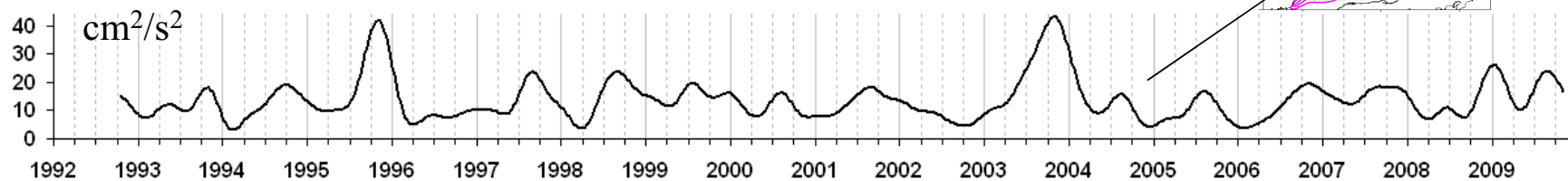
2-3 года после 2000 г.

Провал 1998-2000 гг.

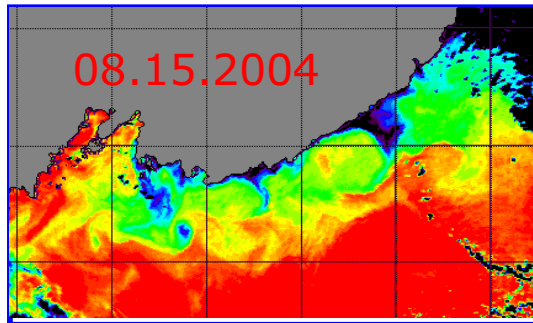
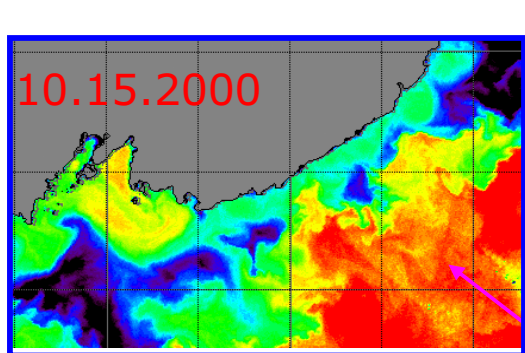
Экстремальные события 1995 и 2003 гг.

Аномально теплые условия в 2003 г. (Ванин и др., 2008)

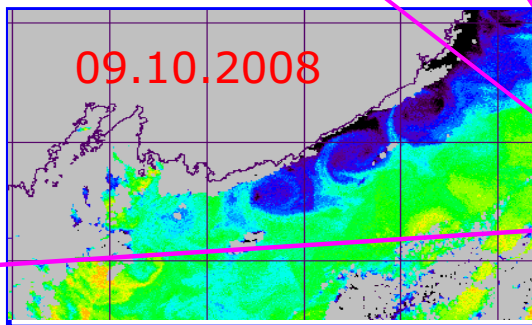
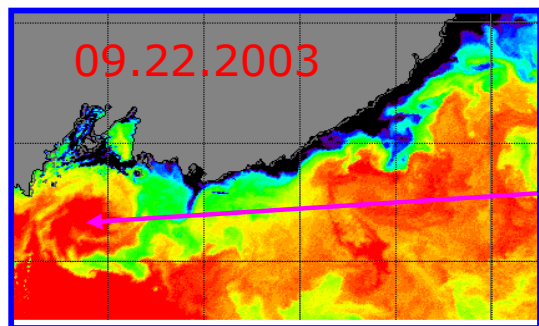
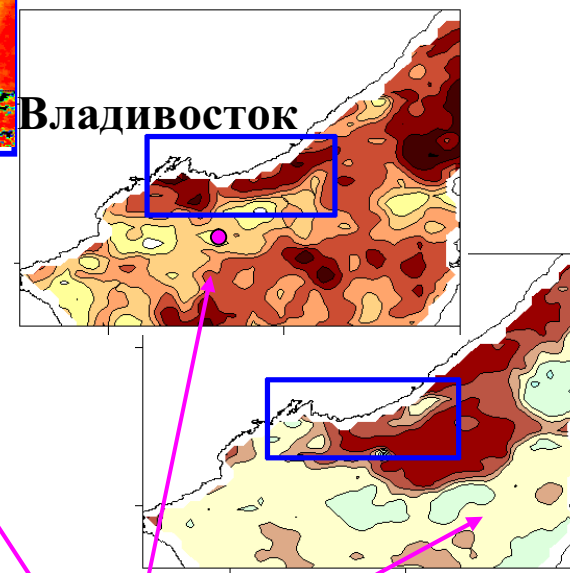
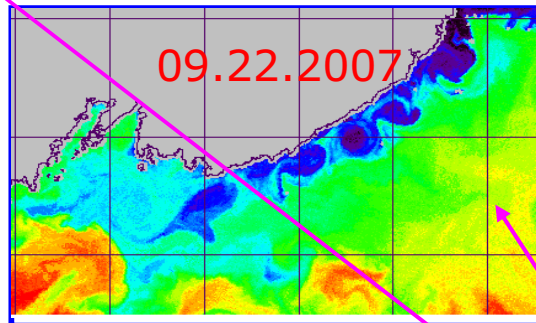
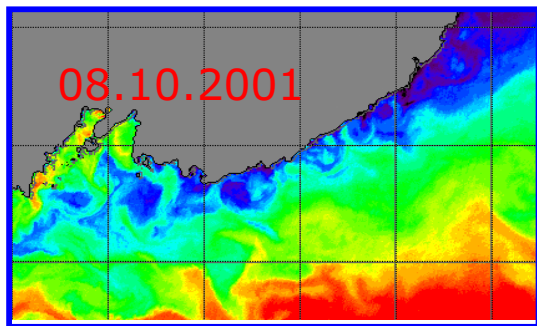
Нерегулярный годовой ход,
нет привязки к структурам,
QV изменчивость →
возбуждается ветром?



Синоптические структуры субарктической области (на ИК изображениях в июле – октябре)



Склоновые вихри
(размер 30-60 км)

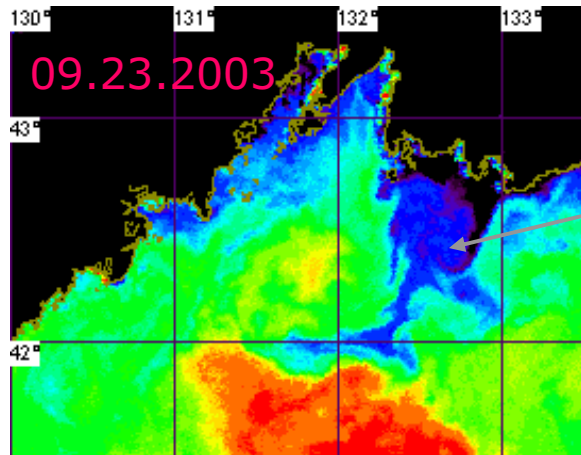


Разнообразие структур
открытого моря.

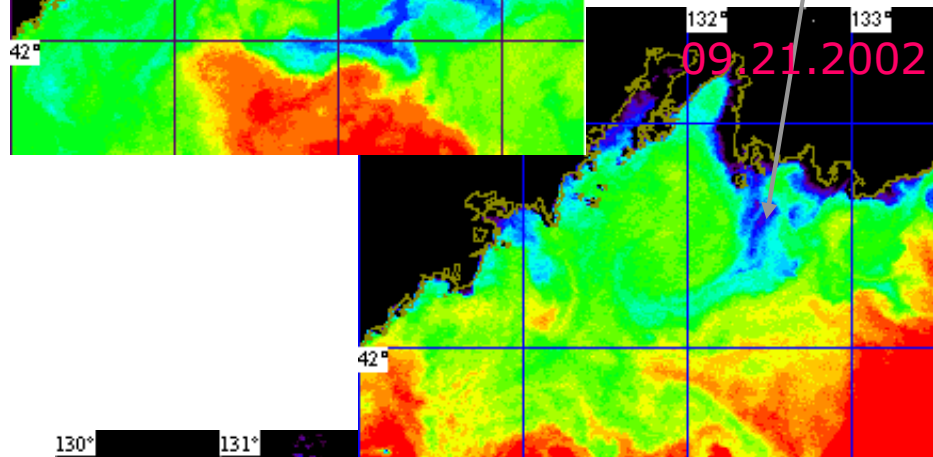
*Холодные воды синим,
теплые – красным.*

Время жизни вихрей: дни – 1.5 мес. →
моды отражают повторяемые структуры.

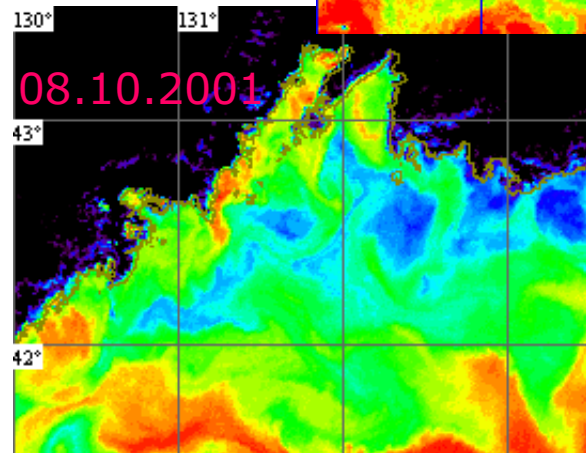
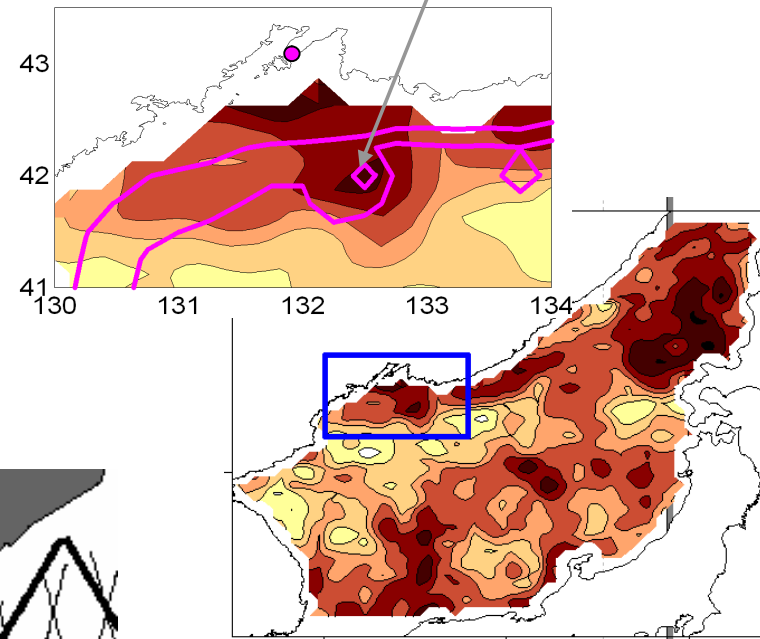
Район залива Петра Великого



Взаимодействие апвеллинга и вихря.

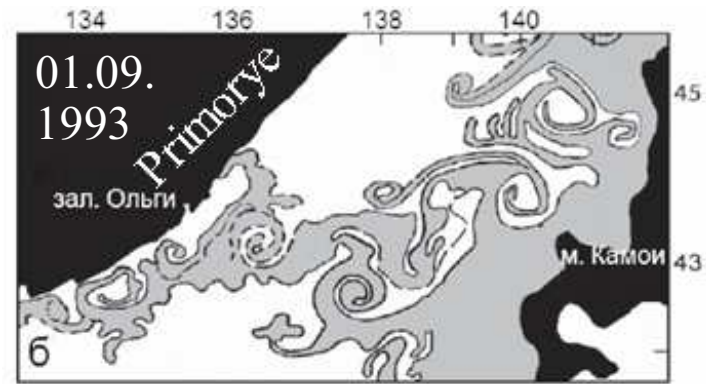


Локальный максимум над г. Сибирь

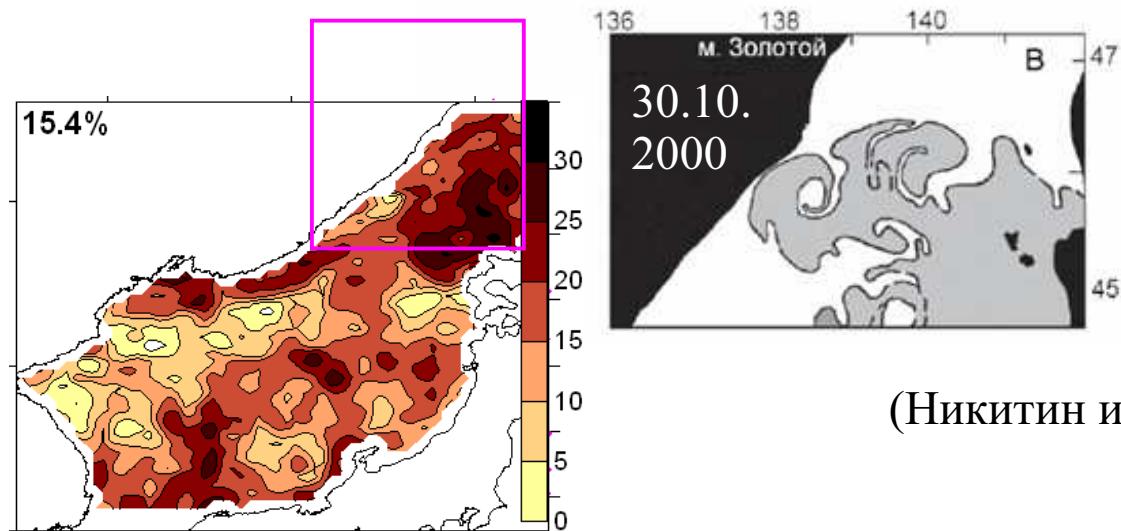


T/P & Jason tracks are bold,
ERS & EnviSAT are thin.

В северной части моря



Татарский пролив



(НИКИТИН И ЮРАСОВ, 2008)

Выводы

- Кинетическая энергия синоптических движений в Японском море концентрируется в зонах крупномасштабных течений и неоднородностей рельефа дна.
- Синфазность годового хода интенсивности крупномасштабных течений и синоптической энергетики говорит о существенном вкладе сдвиговой неустойчивости.
- Не обнаружено преобладания зональных или меридиональных структур синоптического масштаба; анизотропия определяется характером локальных динамических и топографических структур.
- Короткоживущие синоптические структуры субарктической области (в районе к востоку от побережья Приморья) вносят вклад в синоптическую энергетику за счет повторяемости.
- Выявлена изменчивость синоптической энергетики на сезонном и квазидвухлетнем масштабах.

Ограничения: синоптические структуры,
с размерами > 25 км, с повторяемостью $> 3-4$ месяца.
Возможное влияние волновых процессов.

Баротропно-бароклинная неустойчивость

Бароклинная неустойчивость:
время роста T_{bc} .

$$T_{bc} = \sqrt{Ri} / f$$

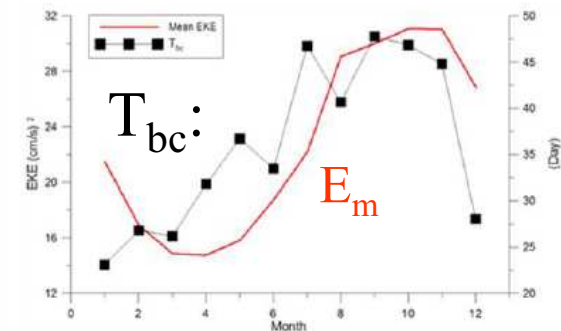
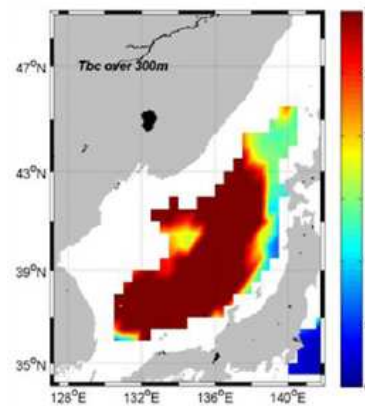
$$Ri = \overline{N^2} / |\partial u / \partial z|^2$$

$$N = \sqrt{-\rho_0^{-1} g \partial \rho / \partial z}$$

$$|\partial u / \partial z| = \frac{g}{\rho_0 f} \sqrt{(\partial \rho / \partial x)^2 + (\partial \rho / \partial y)^2}$$

(Stammer, 1998)

Средняя T_{bc} в слое 300 м (Son et al., 2011)



Годовой ход подобен субтропикам океанов
(Zhai et al., 2008)

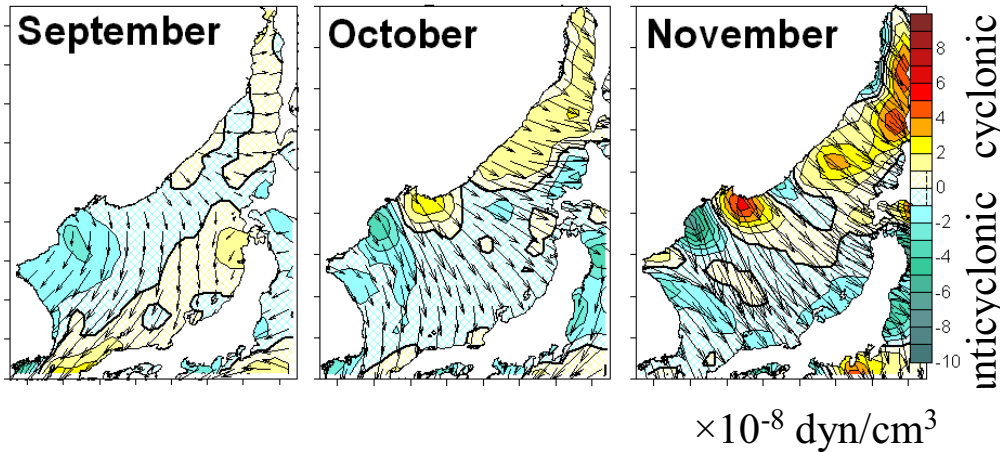
Океан более бароклинно неустойчив зимой, когда T_{bc} минимально, но летом ниже диссипация → в районе Гольфстрима максимум E_m в конце лета (Zhai et al., 2008).

В Японском море максимум E_m и интенсификация крупномасштабных течений одновременны → баротропная неустойчивость за счет сдвига скорости течения.

Wind strengthening and AC curl in fall (from QSCAT)

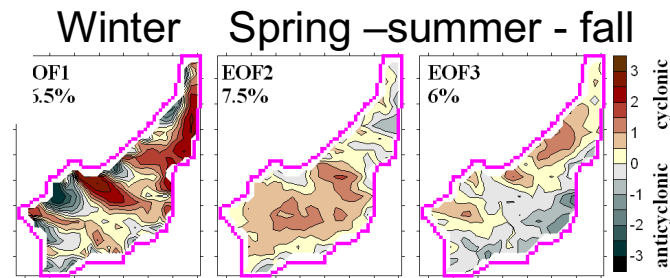
Monthly wind stress & stress curl

EOF analysis



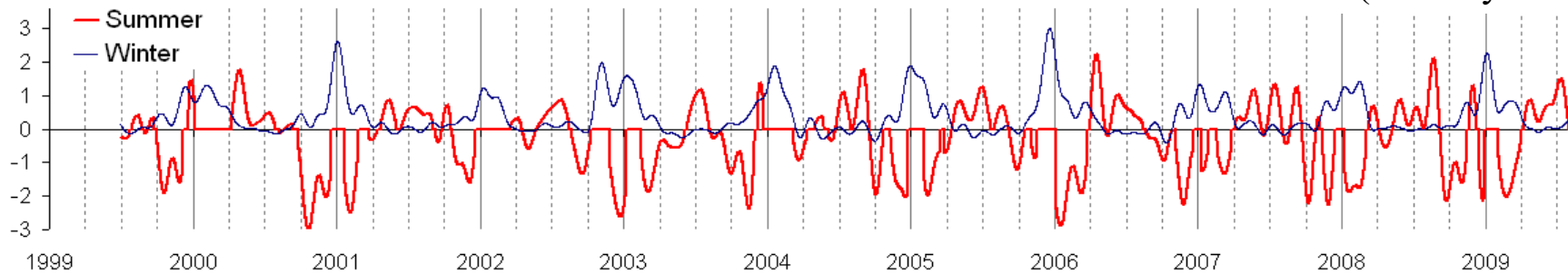
Low-pass filtered curl, 40-day cut-off.

AC curl in late winter/spring and fall; cyclonic to zero oscillating curl in late summer (Trusenkova, 2010).



Wind strengthening and AC curl in fall (south of 43° → steering of mesoscale dynamics?)

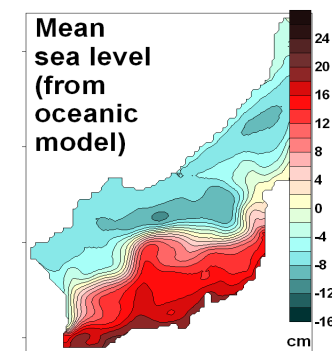
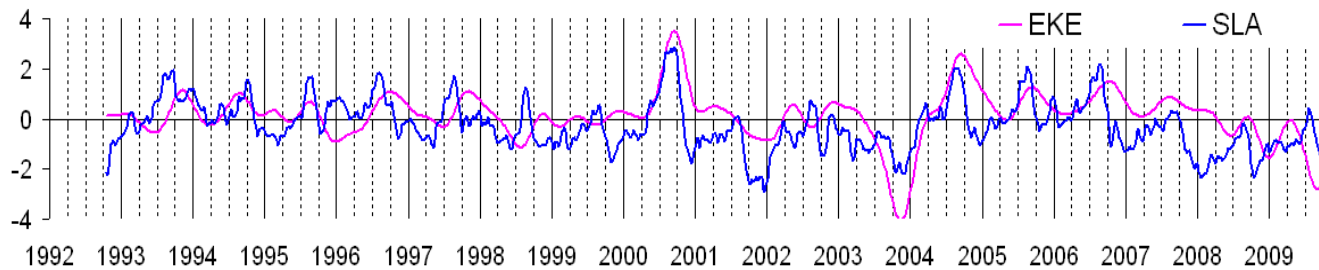
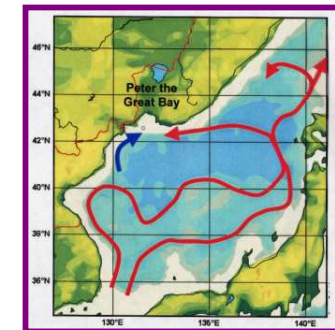
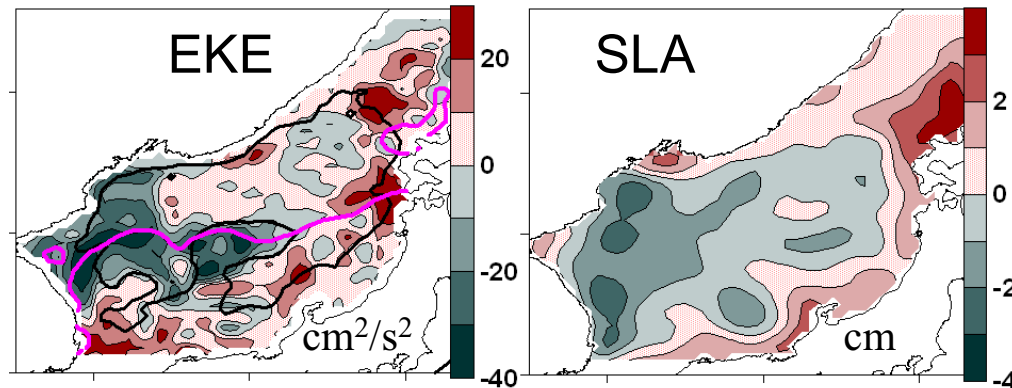
PC ($\times 10^{-8} \text{ dyn/cm}^3$)



Blue curve is for the contribution from the winter mode and red curve from two summer modes.

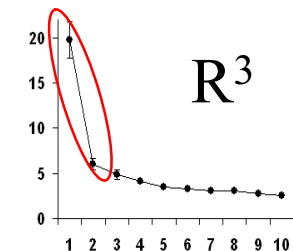
East - west seesaw in EKE and SLA

Pathways of the northward transport of warm water from the Korea Strait

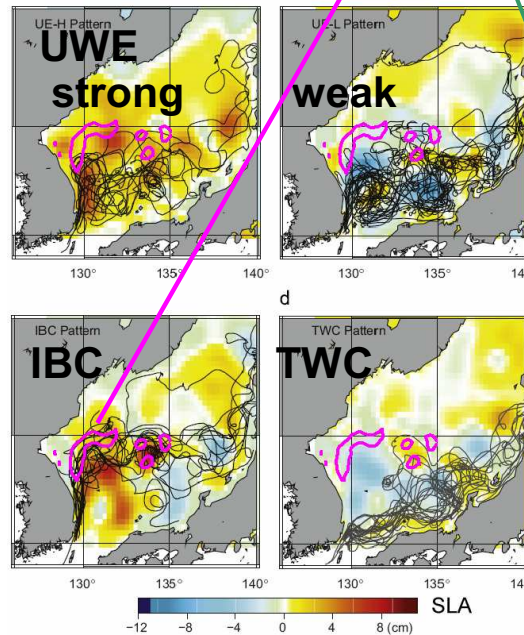
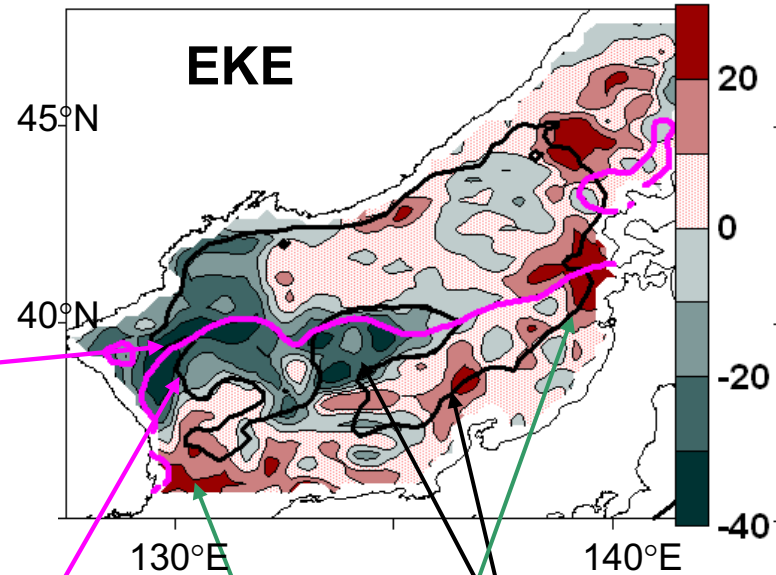
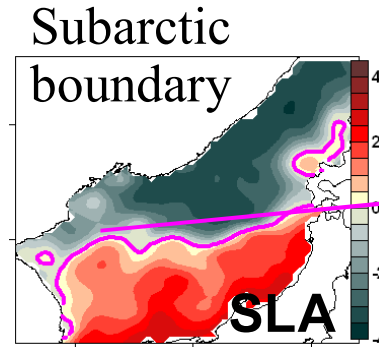
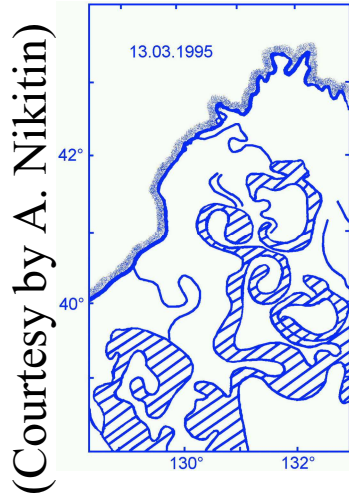


EKE and SLA – spatial patterns similar but not quite the same.
 SLA seasonal extremes in late summer and in fall through spring;
 EKE interannual variability only.
 Similarity with SLA since 2001, with correlation ~ 0.71 .

Extreme events in 2000 (strong positive phase) and in 2003 (strong negative phase). Extreme Primorye Mode in 2003.

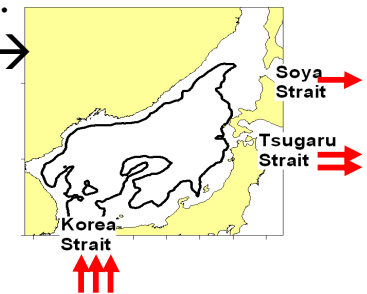


Systems of warm eddies in the northwestern Japan Sea (from infrared satellite imagery)



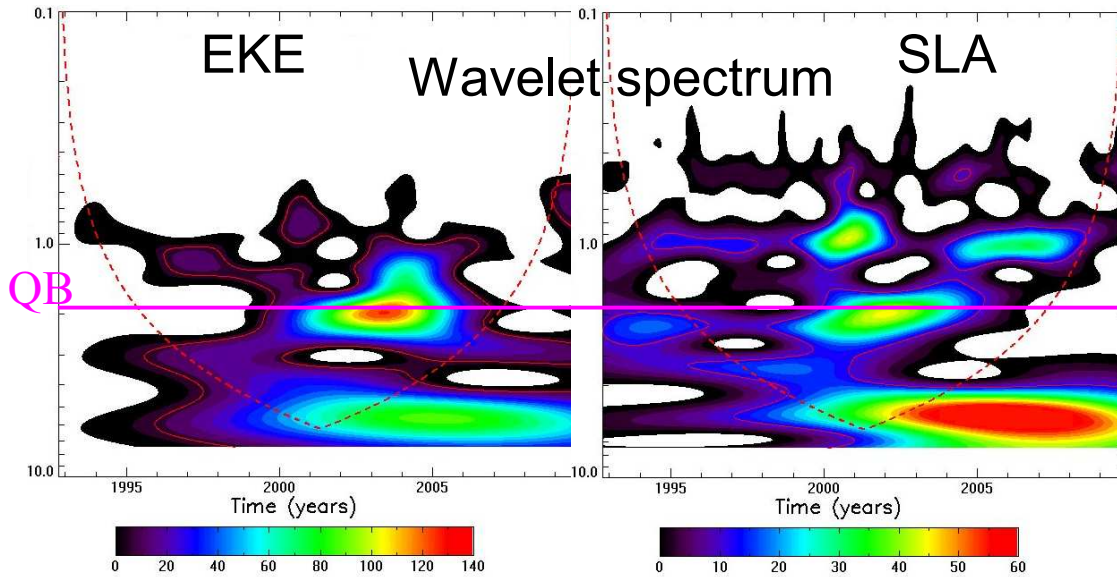
Opposite anomalies in the Yamato Rise and Yamato Basin

Korea and Tsugaru Straits: in-phase EKE → concurrent transport anomalies?



Flow patterns in the southwestern Japan Sea: strong EKWC (Inertial Boundary Current – IBC – pattern); eastward flow (TWC pattern), strong or weak Ulleung Warm Eddy (UWE patterns). SLA by color, drifter tracks by contours (Lee and Niiler, 2010).

QB and interannual variability

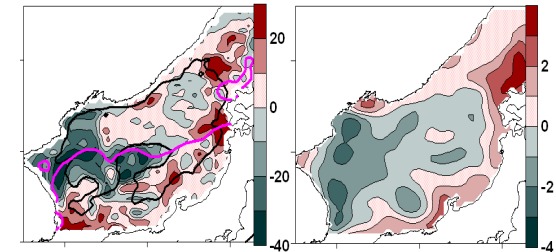


Different regimes (after 2000):
Positive phase in 2000, 2004-2006:
increased EKE in the eastern JES.

Negative phase in 2001-2003 and
2007-2009:
increased EKE the western JES.

Decreasing trend since 2007 –
manifestation of another regime?.

QB variability in the southern JES (path variations
of the TWC; Hirose and Ostrovskii, 2000; Choi et al., 2004).



Possible forcing: atmospheric QB variability.

No trend over
the whole period

