

# Тенденции изменений уровня Японского моря за два десятилетия спутниковых альтиметрических измерений

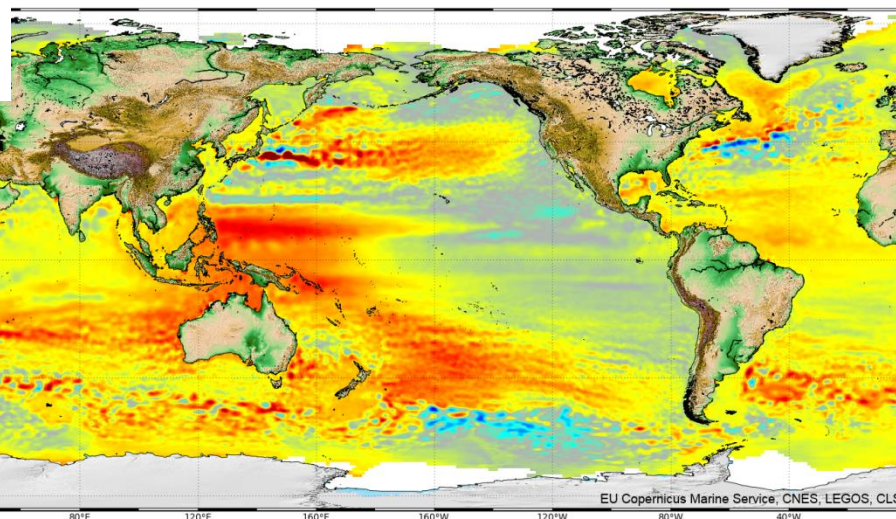
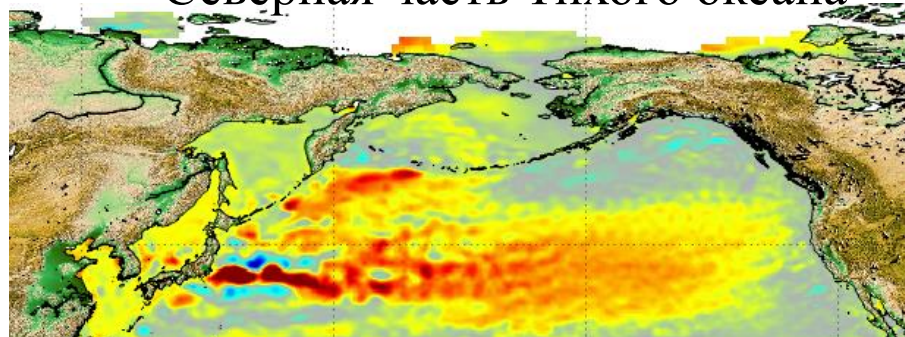
Трусенкова О.О., Каплуненко Д.Д.

ТОИ ДВО РАН

*XV Всероссийская Открытая конференция  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА,  
ИКИ РАН, г. Москва, 15 ноября 2017 г.*

# Тренды уровня Мирового океана (1993-2015) гг.

## Северная часть Тихого океана



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

Latest MSL Measurement  
30 July, 2016

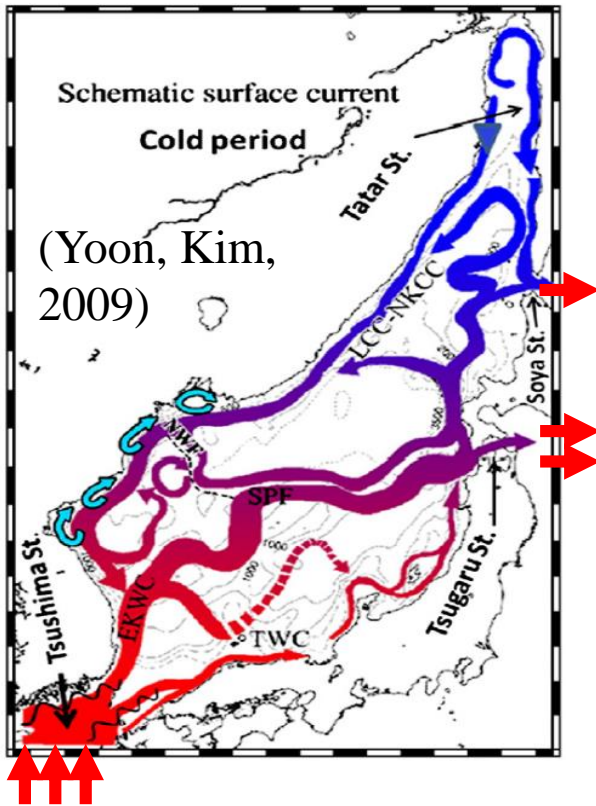
+3.41 mm/yr

Reference GMSL - corrected for GIA



Японское море

# Гидрологический режим Японского моря (определяется муссонным характером климата и транзитом теплых вод)



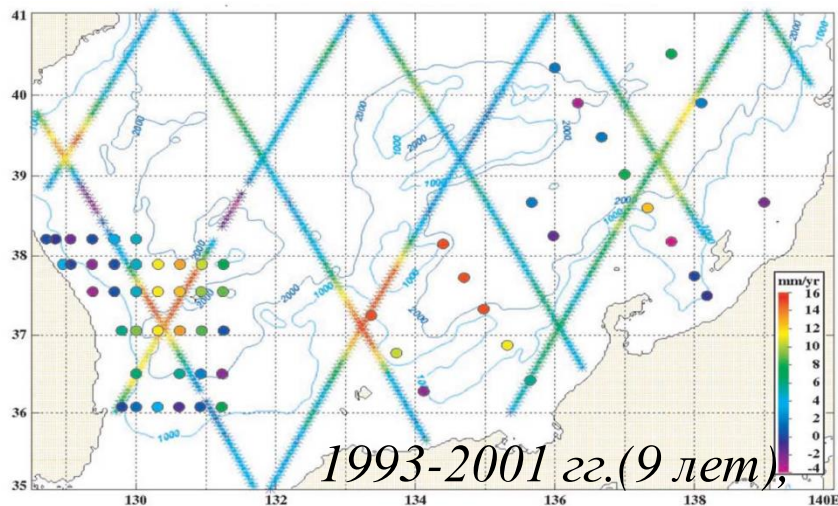
Муссонный климат, суровая зима, значительные температурные контрасты;

транзит теплых вод в верхнем 200-метровом слое;

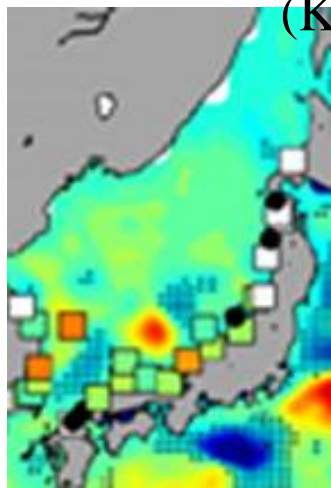
субарктическая и субтропическая части моря, субарктический фронт.

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

# Тренды уровня Японского моря по спутниковым альтиметрическим данным

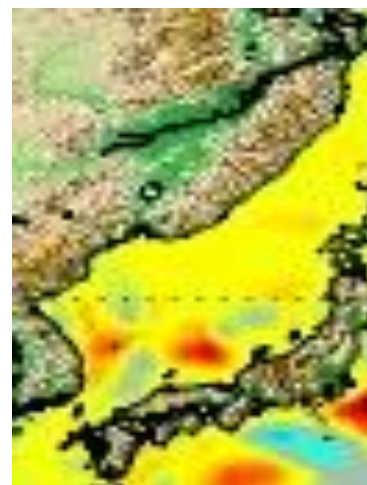
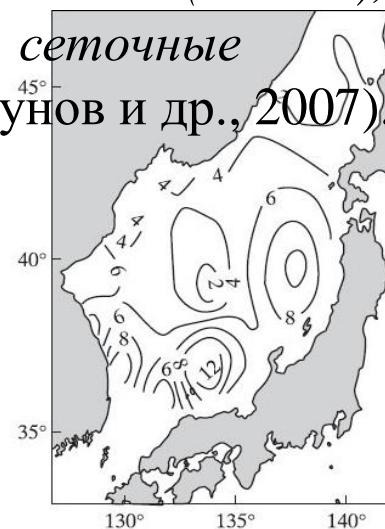


1993-2001 гг. (9 лет),  
вдольтрековые Т/Р  
(Kang et al., 2005)



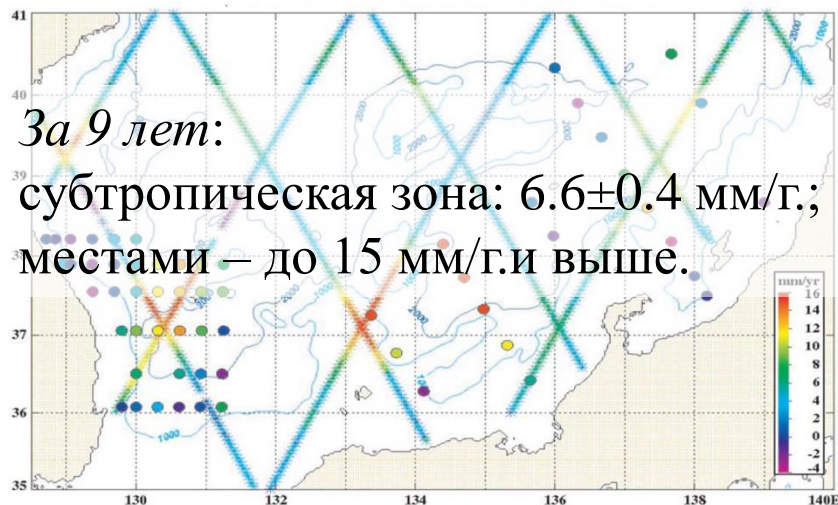
1993-2008 гг. (16 лет),  
сеточные  
(Marcos et al., 2012).

1993-2002 гг. (10 лет),  
сеточные  
(Колдунов и др., 2007).



1993-2015 гг.  
(23 года),  
сеточные  
(AVISO)

# Тренды уровня Японского моря по спутниковым альтиметрическим данным



За 9 лет:  
субтропическая зона:  $6.6 \pm 0.4$  мм/г.;  
местами – до 15 мм/г.и выше.

(Kang et al., 2005)

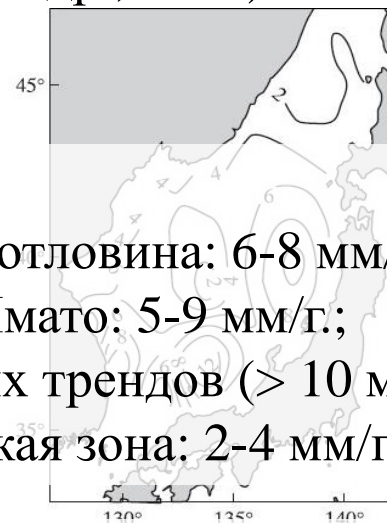
За 16 лет:  
субтропическая зона:  $3.8 \pm 0.9$  мм/г.;  
субарктическая зона: 1-2 мм/г.



(Marcos et al., 2012).

(Колдунов и др., 2007).

За 10 лет:  
Цусимская котловина: 6-8 мм/г.;  
котловина Ямато: 5-9 мм/г.;  
зоны высоких трендов ( $> 10$  мм/г.);  
субарктическая зона: 2-4 мм/г.



За 23 года:  
большая часть моря: 3-4 мм/г.;  
Цусимская котловина: 5-8 мм/г.;  
котловина Ямато: 5-9 мм/г.;  
банка Оки:  $< 3$  мм/г.



(AVISO)

С увеличением периода наблюдений скорость роста уровня Японского моря уменьшается.

Межгодовая/междесятилетняя изменчивость?

Значительные тренды в районах квазистационарных вихрей

(Kang et al., 2005; Колдунов и др., 2007).

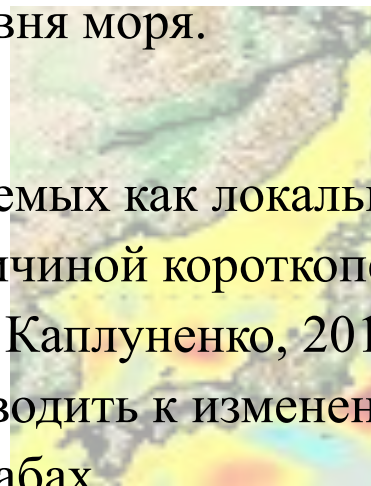
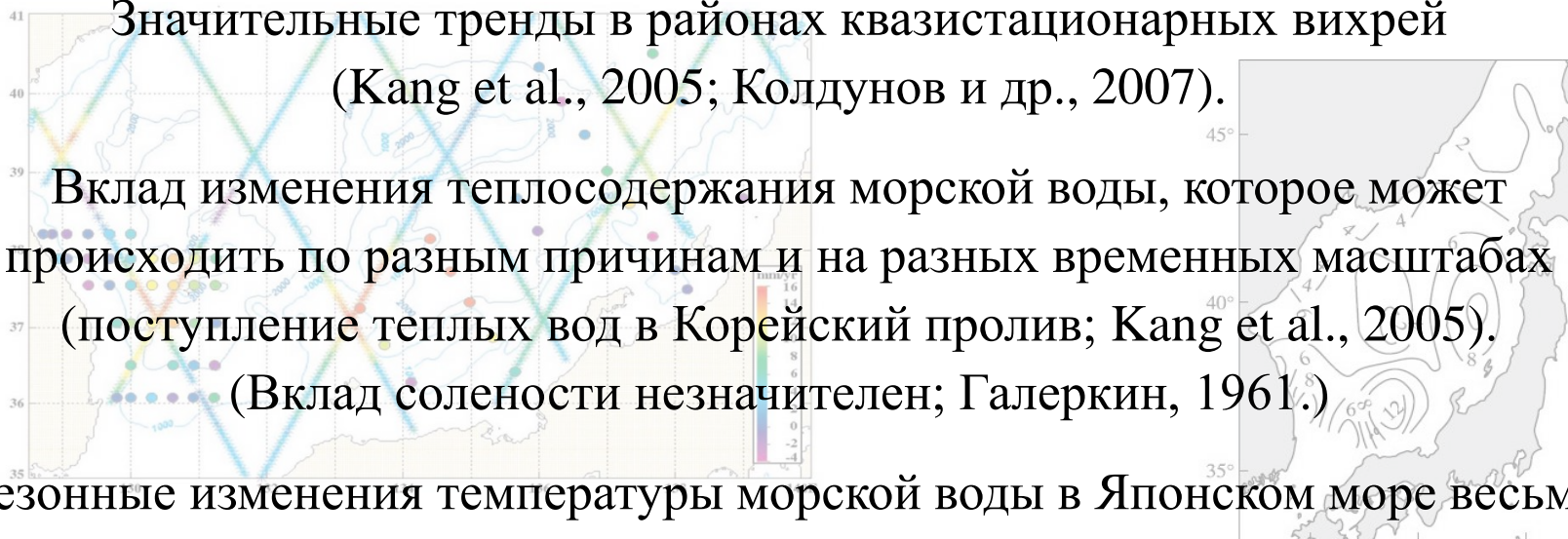
Вклад изменения теплосодержания морской воды, которое может происходить по разным причинам и на разных временных масштабах (поступление теплых вод в Корейский пролив; Kang et al., 2005).

(Вклад солености незначителен; Галеркин, 1961.)

Сезонные изменения температуры морской воды в Японском море весьма значительны; изменения термических условий в годовом ходе →

изменение трендов уровня моря.

Дисбаланс расходов в проливах, определяемых как локальными, так и крупномасштабными факторами, является причиной короткопериодных (Choi et al., 2004) и квазидвухлетних (Трусенкова, Каплуненко, 2013) колебаний уровня Японского моря, а также может приводить к изменениям на более длительных масштабах.



## Цель работы

Анализ долгопериодной изменчивости уровня Японского моря, не ограниченной только оценками трендов, за весь период спутниковых альтиметрических измерений, превышающий уже 20 лет.

# Аномалии уровня Японского моря (AVISO, Ssalto/Duacs, версия 2014)

## *Сезонные аномалии:*

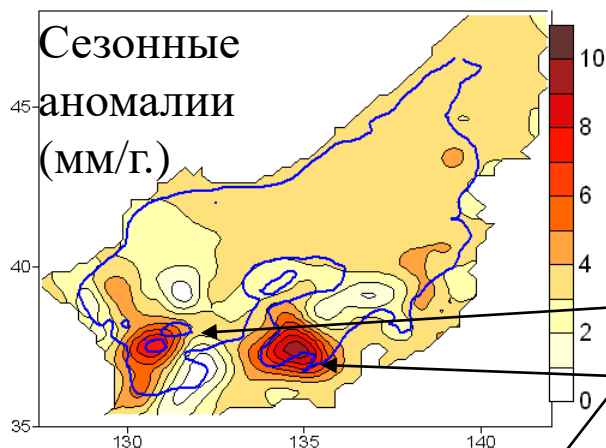
Ежедневные сеточные ( $1/4^\circ$ ) поля за 1993–2015 гг.,  
 $35^\circ$ -  $48^\circ$  с.ш.,  $127^\circ$ - $142^\circ$  в.д.

## *Низкочастотные аномалии:*

Низкочастотная фильтрация с устранением годовой и внутригодовой изменчивости на основе вейвлет-преобразования с материнским вейвлетом Морле 6-го порядка; период отсечения – 1.2 г.



# Тренды уровня Японского моря (1993-2015 гг.)



Изобата 1500 м.



*1993-2015 гг.:*

субарктическая часть моря и р-н у о-ва Хонсю (в потоке Цусимского течения): 3-4 мм/г.;

район о-ва Уллындо: 5-8 мм/г.;

западная часть котловины Ямато: 5-9 мм/г.;

банка Оки: < 3 мм/г.

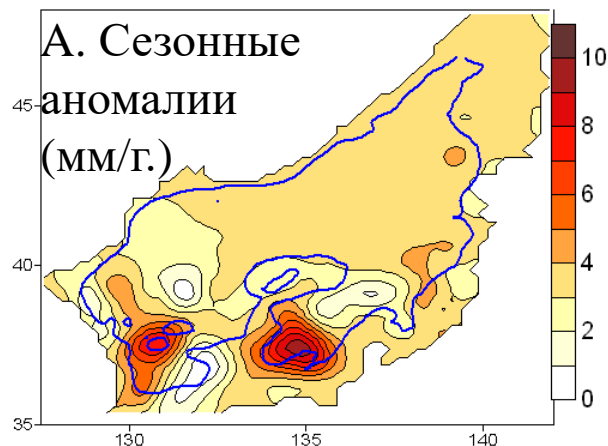
*Средний:*  $3.3 \pm 2.0$  мм/г.

*Средний по Мировому океану:* 3.4 мм/г.

Средний по прибрежным станциям Приморья: 3.6 мм/г. (Ростов и др., 2016).

В предыдущих оценках по коротким рядам средние тренды были выше, чем для Мирового океана!

# Тренды уровня Японского моря (1993-2015 гг.)



*1993-2015 гг., сезонные аномалии:*

субарктическая зона: 3-4 мм/г.;

район о-ва Уллындо: 5-8 мм/г.;

западная часть котловины Ямато: 5-9 мм/г.;

банка Оки: < 3 мм/г..

*Средний:*  $3.3 \pm 2.0$  мм/г.

*Средний по Мировому океану:* 3.4 мм/г.



*1993-2015 гг., низкочастотные аномалии:*

субарктическая зона: 1-2 мм/г.;

район о-ва Уллындо, западная часть

котловины Ямато: 2-4 мм/г.;

банка Оки: < 1 мм/г.

*Средний:*  $1.3 \pm 0.9$  мм/г., близко к скорости

подъема уровня Японского моря при

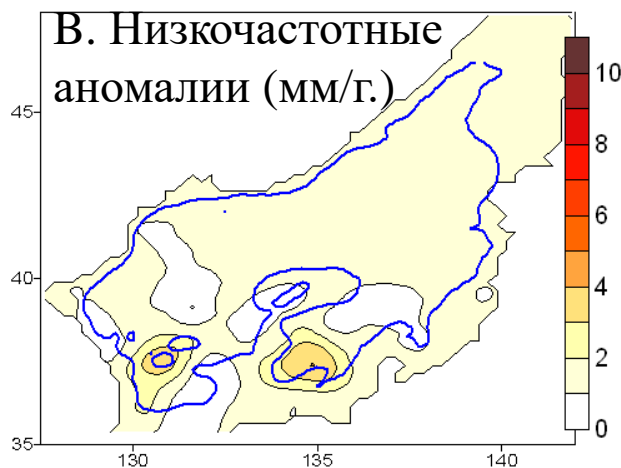
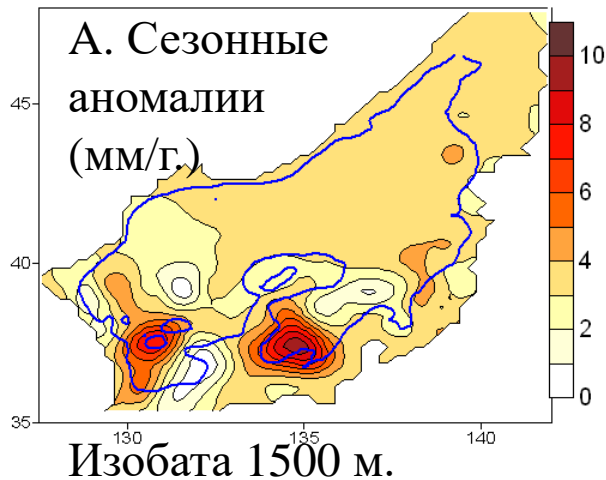
трансгрессии в позднем плейстоцене –

голоцене (1 мм/год; Короткий и др., 1997).

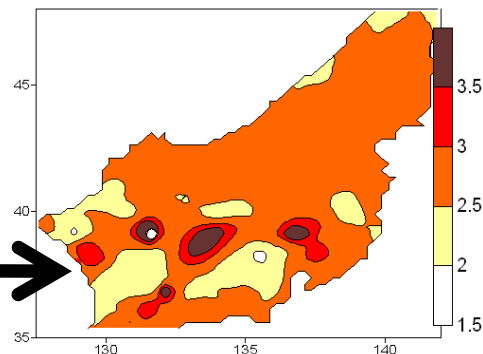
Изобата 1500 м.

# Тренды уровня Японского моря (1993-2015 гг.)

Средний:  $3.3 \pm 2.0$  мм/г.



Отношение А/В

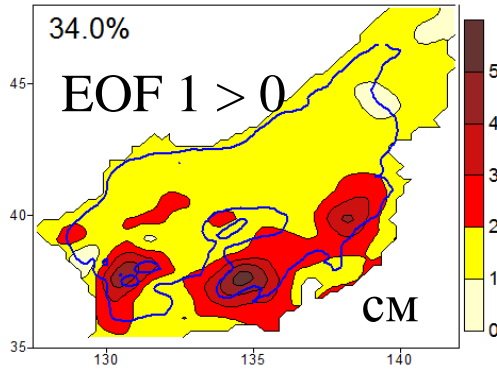


Снижение дисперсии выборки в результате фильтрации при устранении вклада сезонных изменений теплосодержания, т.е. ослабление зимнего выхолаживания и/или летнего нагрева.

Долгопериодная изменчивость уровня  
Японского моря, не ограниченная только  
оценками трендов

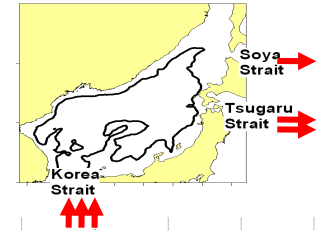
# Синфазные колебания уровня Японского моря (EOF 1 по низкочастотным аномалиям; Трусенкова, Каплуненко, 2013)

Низкочастотная  
фильтрация,  
 $T > 1.2$  г.

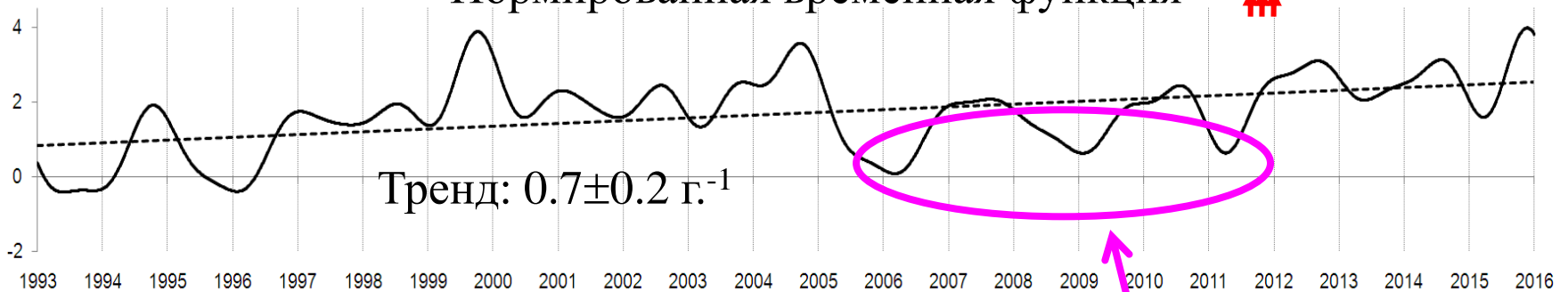


Изобата 1500 м.

Мода связана с  
изменениями количества  
воды в море  
(дисбалансом расходов в  
проливах).



Нормированная временная функция

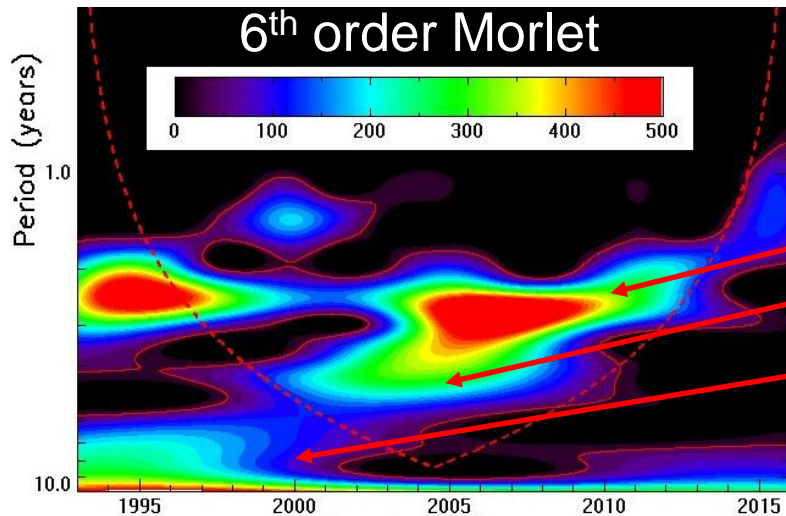


Локальные минимумы

По выборкам до 2013 г. преобладали квазидвухлетние колебания,  
при удлинении ряда до 2015 г. появляется тренд!

# Масштабы временной изменчивости

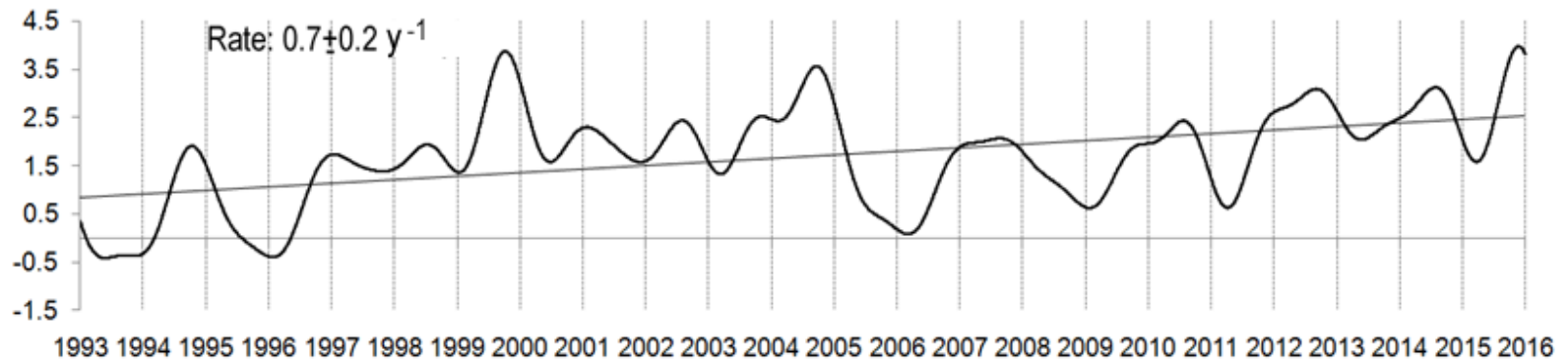
## Вейвлет-преобразование



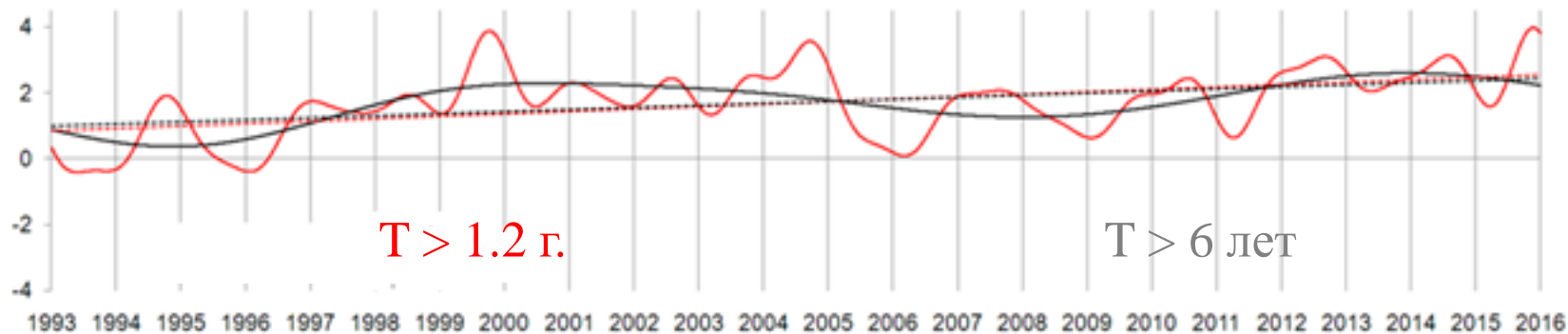
Квазидвухлетний (2-3 гг.)

Межгодовой (4-5 гг.)

$T > 6$  лет



# Квазидесятилетнее колебание



Оценки тренда по временной функции и ее низкочастотной составляющей совпадают:

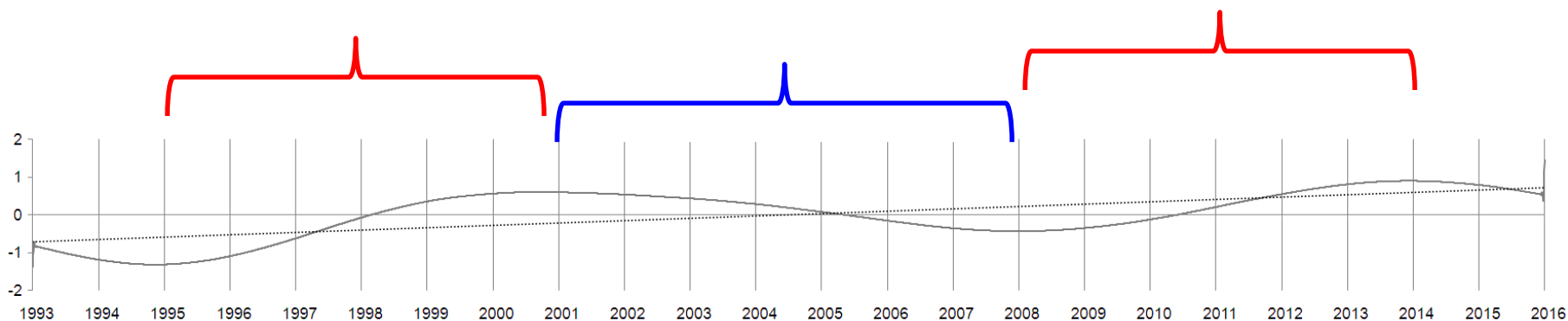
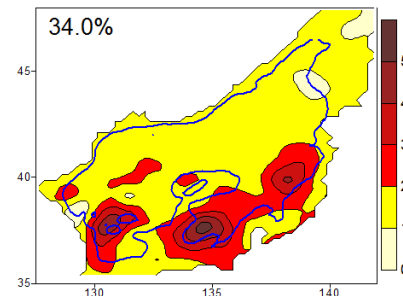
$$0.06-0.07\pm 0.02 \text{ г.}^{-1}$$

Оценка трендов по вкладам моды ( $Z_1 = A_1(x,y) \cdot V_1(t)$ ): 1.2 мм/г. (в среднем).

Оценка по полной низкочастотной выборке: 1.3 мм/г. →

тренды по низкочастотной выборке за счет дисбаланса расходов в проливах.

# Квазидесятилетнее колебание: периоды синфазного подъема и опускания уровня Японского моря



Подъем,  
1995-2000 гг.  
(положительная  
фаза)

Опускание,  
2001-2007 гг.  
(отрицательная  
фаза)

Подъем,  
2008-2013 гг.  
(положительная  
фаза)

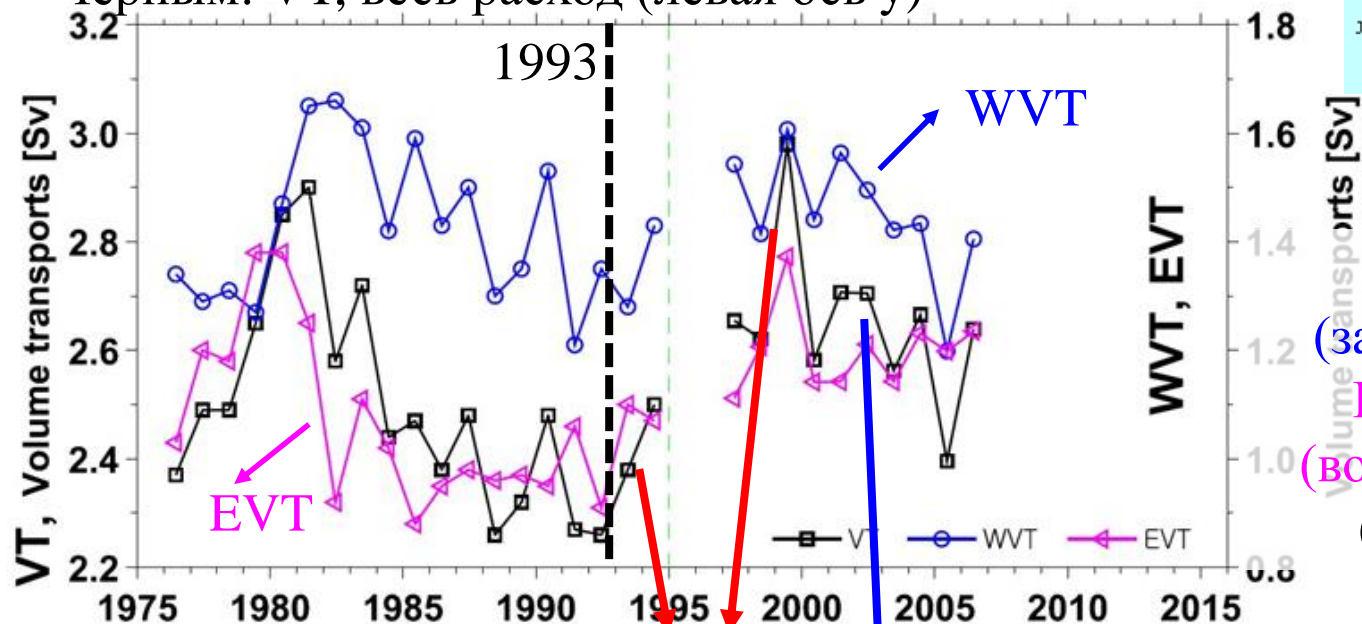


# Связь с расходом воды в Корейском проливе

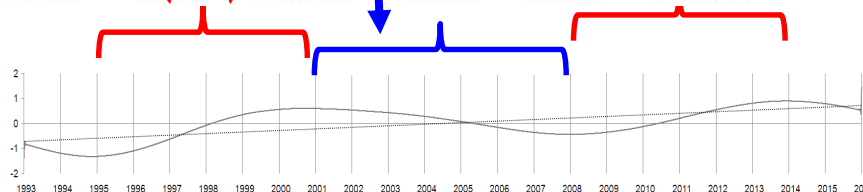
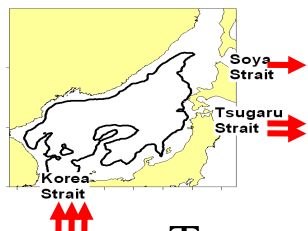
Среднегодовой расход по данным ADCP (паром; Yoon et al., 2016)



Черным: VT, весь расход (левая ось y)

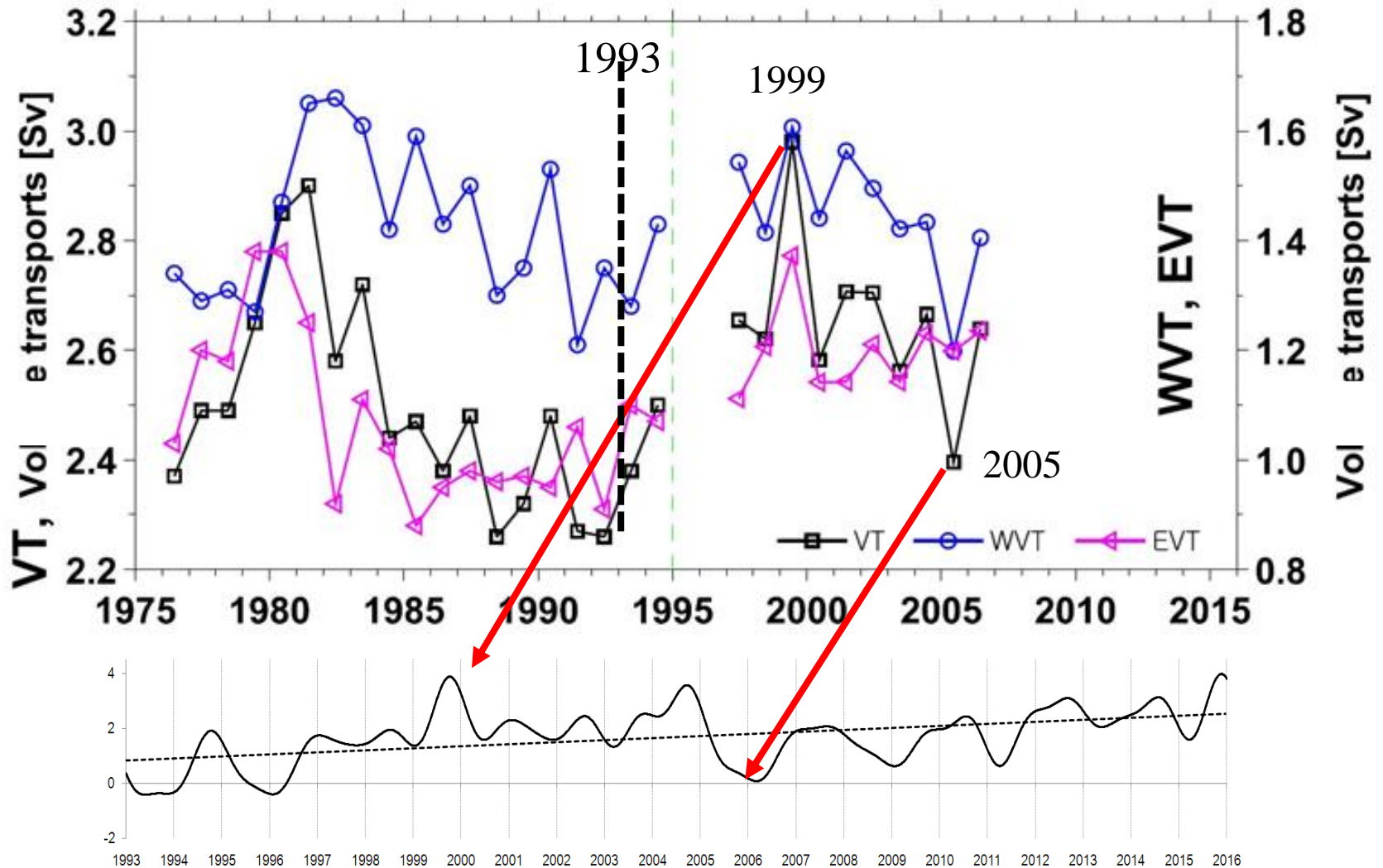


синим: WVT  
(западный канал),  
Розовым: EVT  
(восточный канал),  
(правая ось y)



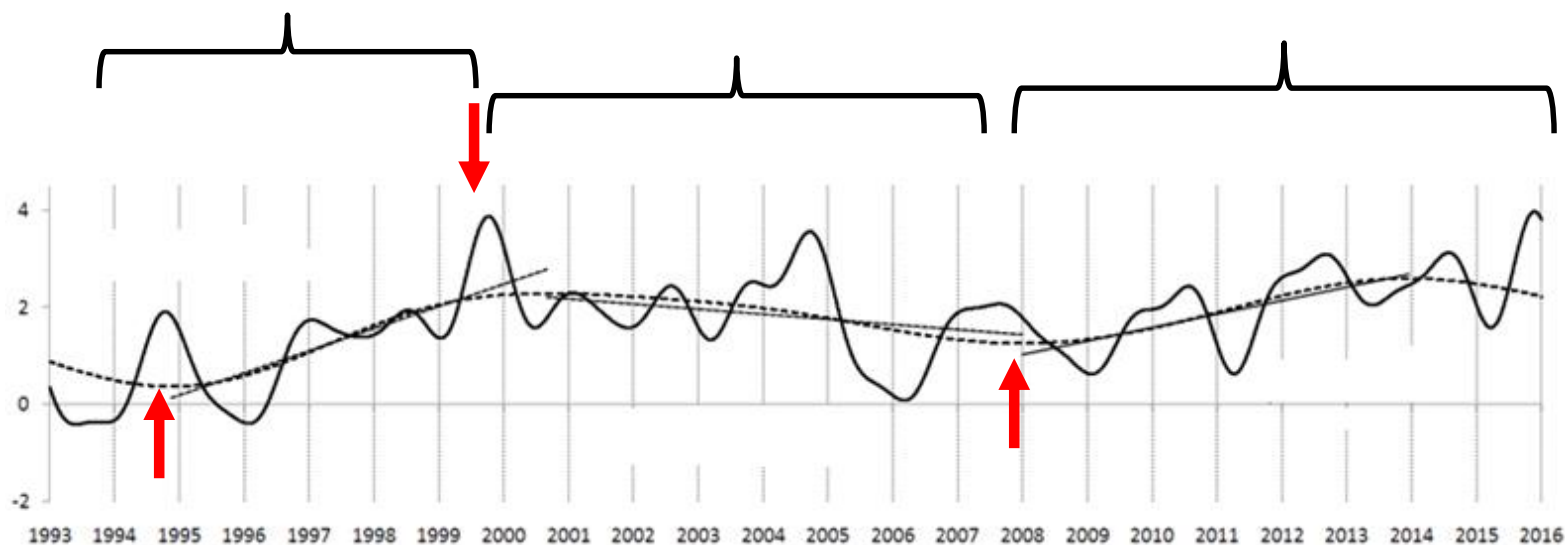
Тенденции увеличения (1992-1999 гг.) и уменьшения (2000-2005 гг.) расхода соотносятся с положительной и отрицательной фазами уровня моря соответственно.

# Связь с расходом воды в Корейском проливе



Локальные максимумы расхода и временной функции (1999 г.);  
локальные минимумы расхода (2005 г.) и временной функции (начало 2006 г.).

## Оценка трендов в разные фазы квазидесятилетнего колебания



Оценки трендов выполняются по полным сезонным и низкочастотным выборкам, включающим, помимо синфазных колебаний, другую изменчивость.

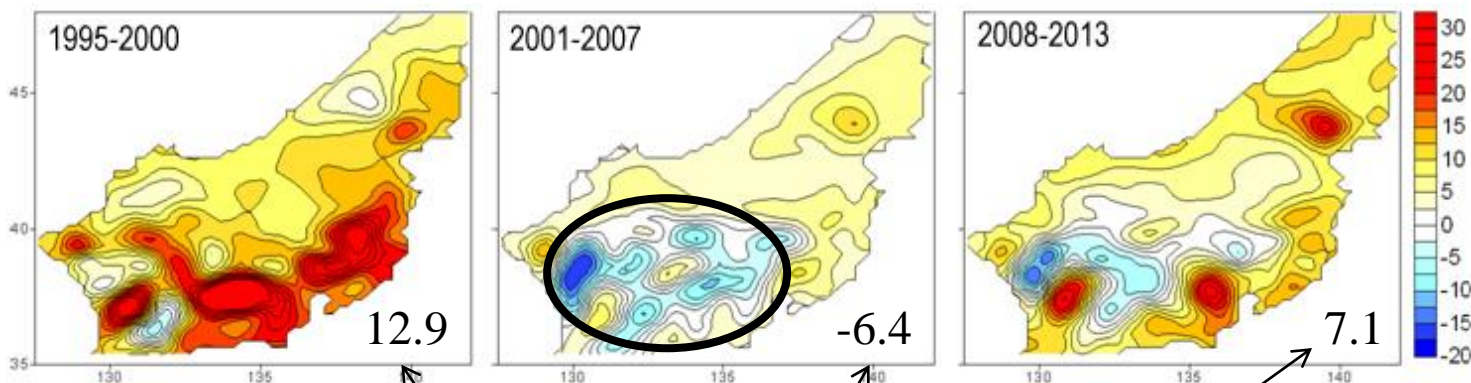
# Оценка трендов в разные фазы квазидесятилетнего колебания

Сезонные аномалии, мм/г.

Фаза 1 - подъем

Фаза 2 - опускание

Фаза 3 - подъем

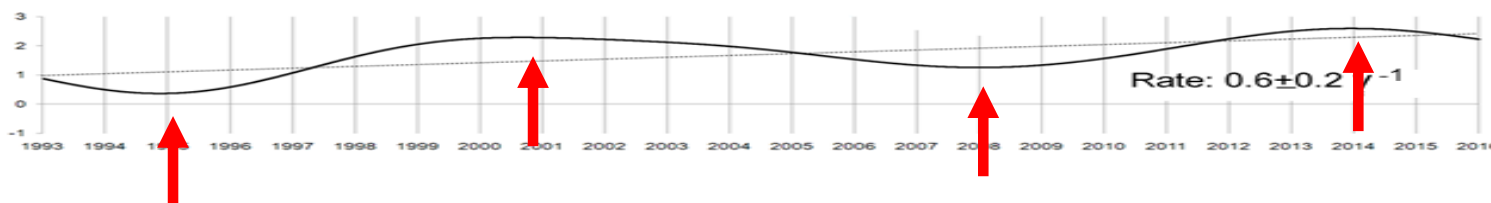


Наиболее значительные положительные, соответствует (Kang et al., 2005; Колдунов и др., 2007)

Отрицательные в субтропической зоне

Преимущественно положительные

Тренды среднего по морю уровня; в 2001-2007 гг. – средние по выделенной зоне



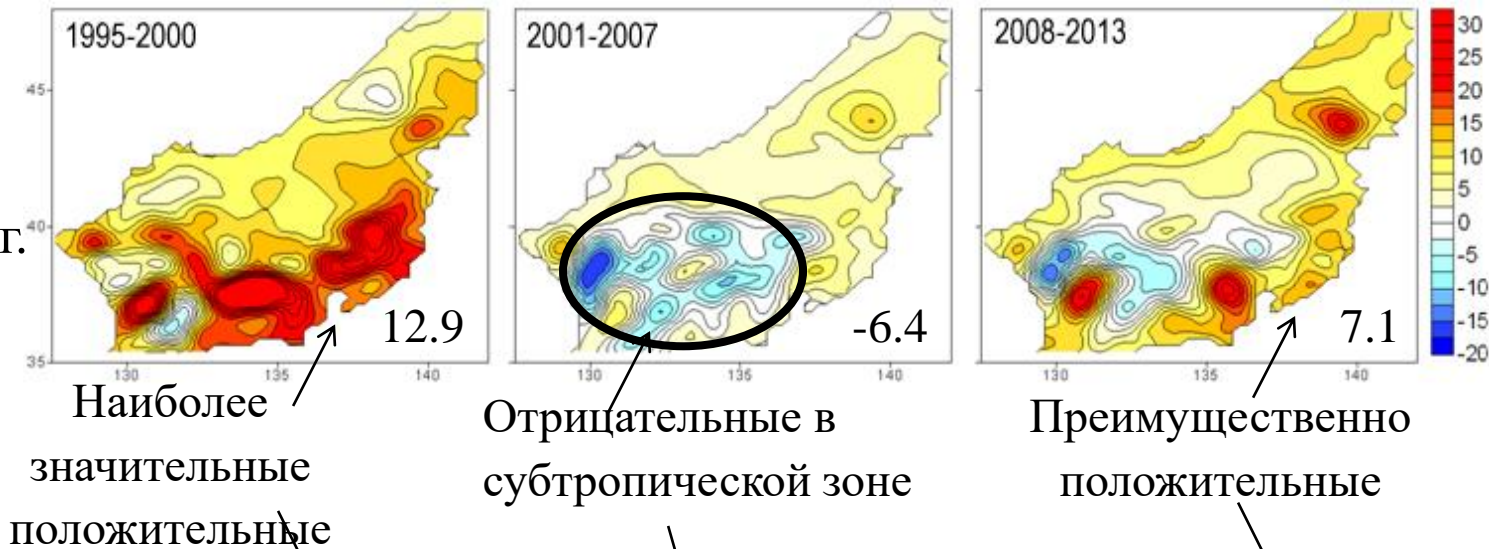
Значимые различия в субтропической части моря (изменение теплосодержания)

Фаза 1 - подъем

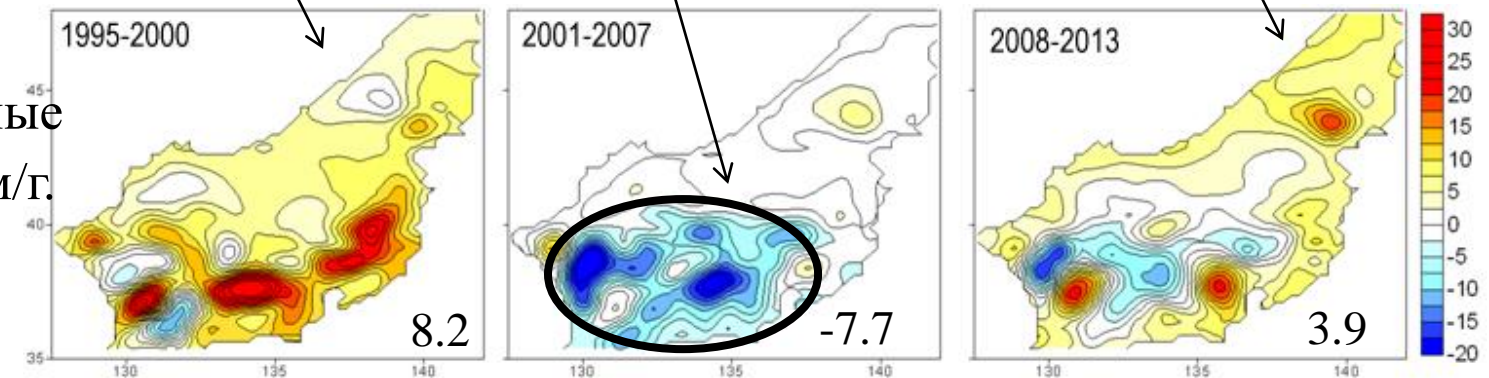
Фаза 2 - опускание

Фаза 3 - подъем

Сезонные  
аномалии, мм/г.



Низкочастотные  
аномалии, мм/г.



Тренды среднего по морю уровня;  
в 2001-2007 гг. – средние по выделенной зоне

По низкочастотной выборке: положительные тренды слабее, отрицательные – сильнее.

# Междесятилетние колебания в Собственной воде Японского моря: связь с арктическим колебанием (Cui, Senjyu, 2010, 2012)

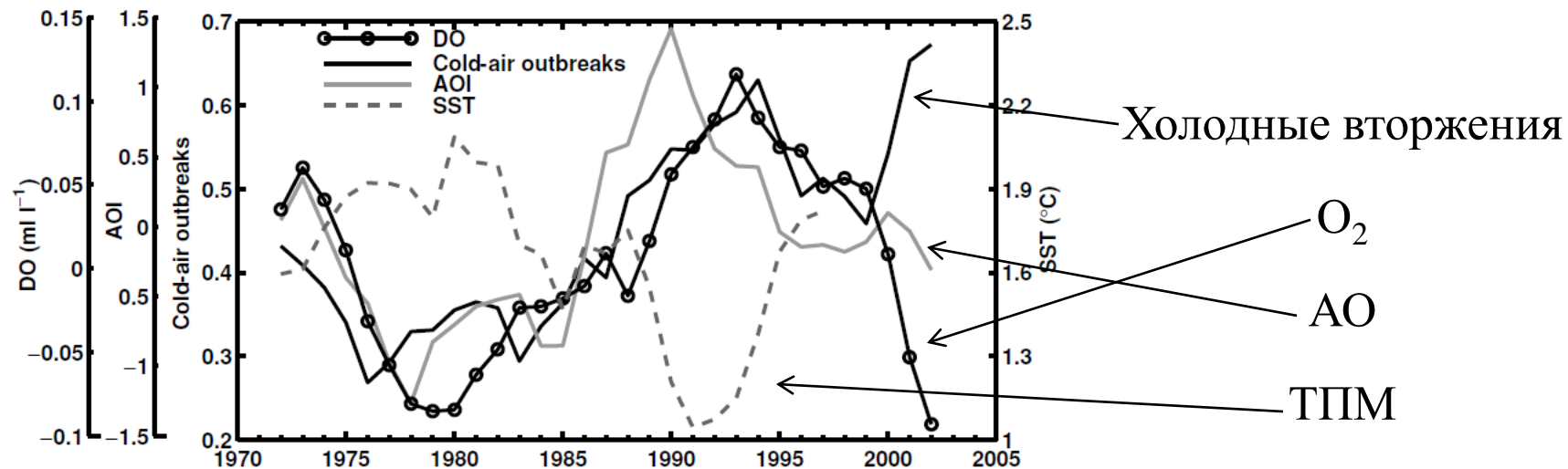


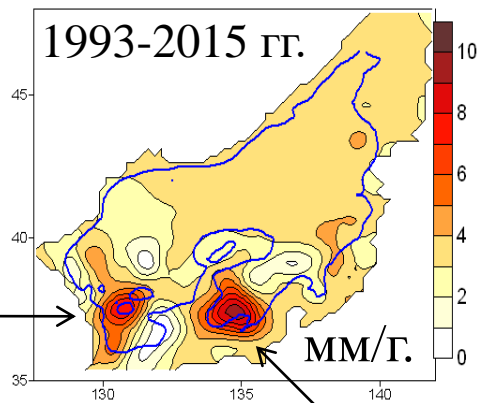
Fig. 9. Time series of low-pass filtered DO concentration, cold-air outbreaks, AOI and SST in the flux center.

Japan Sea Proper (Deep) Water shows clear interdecadal oscillation with about **20-year periodicity** since the 1970s: DO concentration tends to be high during a positive AO phase when the East Asian winter monsoon is relatively weak and cold-air outbreaks over the Japan Sea are more active according to Isobe and Beardsley (2007) (from Cui, Senjyu, 2010).

Квазидесятилетнее(12-13 гг.) уровня моря: связь с расходом воды в Корейском проливе.

Связей с 20-летним колебанием или с климатическими индексами (PDO, ENSO, WP) не обнаружено!

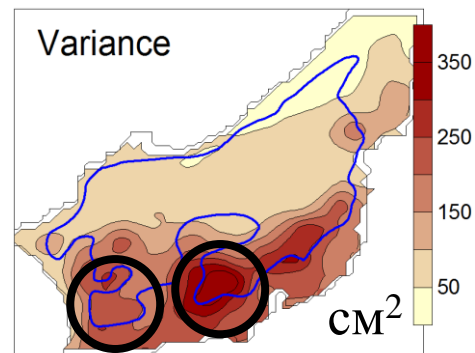
# Связь с батиметрическими и динамическими структурами



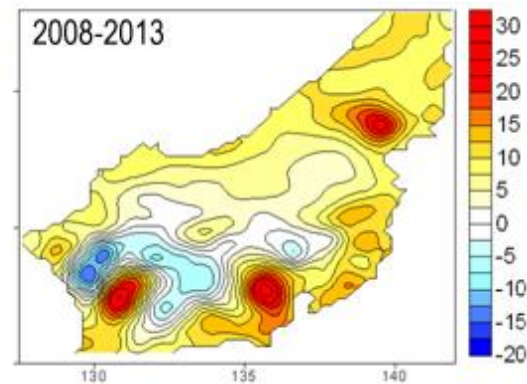
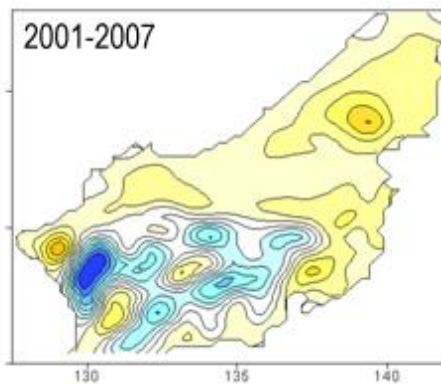
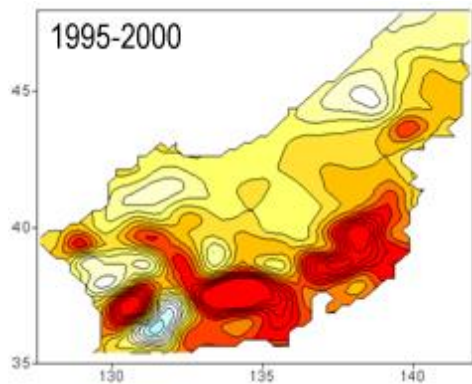
Р-н о-ва  
Уллындо



Максимумы  
тренда совпадают  
с максимумами  
дисперсии



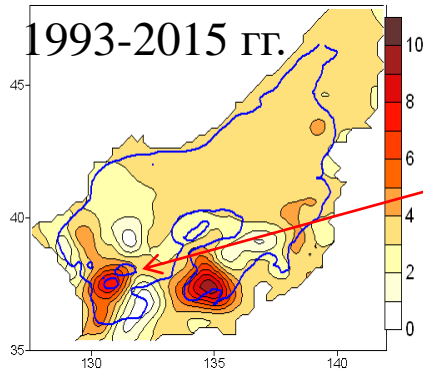
Западная часть  
котловины Ямато





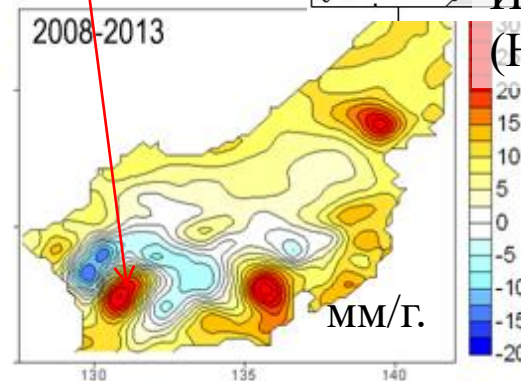
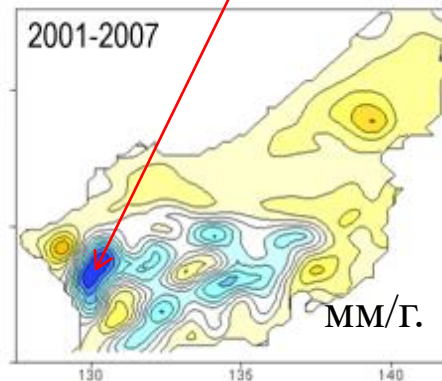
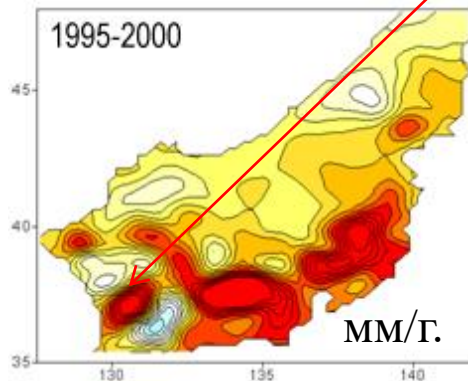
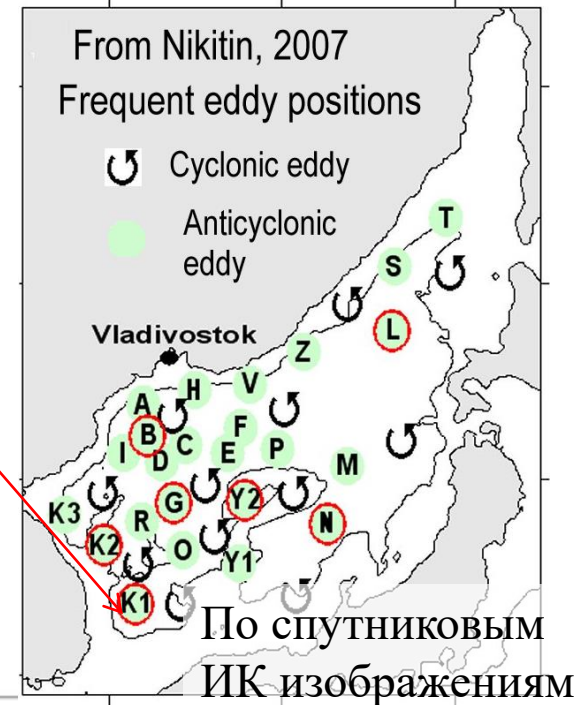
# Связь с батиметрическими и динамическими структурами

Сезонные аномалии, мм/г.



Ulleung Warm Eddy ( $K_1$ )

Конвергенция внутри АЦ вихрей  
→ увеличение теплосодержания,  
как и в работе (Kang et al., 2005)

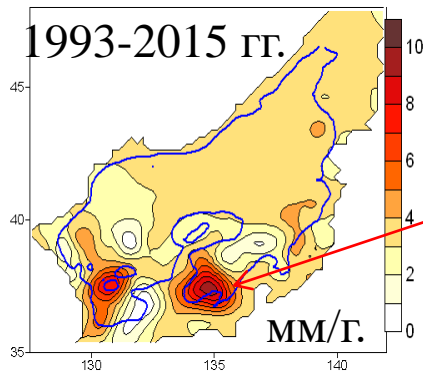


В р-не о-ва Уллындо тренды противоположного знака в положительную и отрицательную фазы.

# Связь с батиметрическими и динамическими структурами

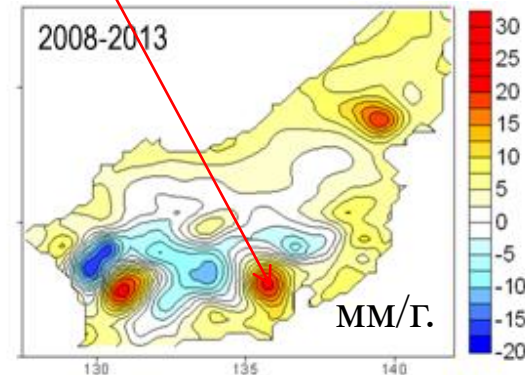
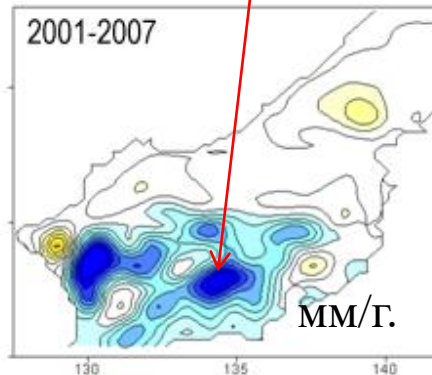
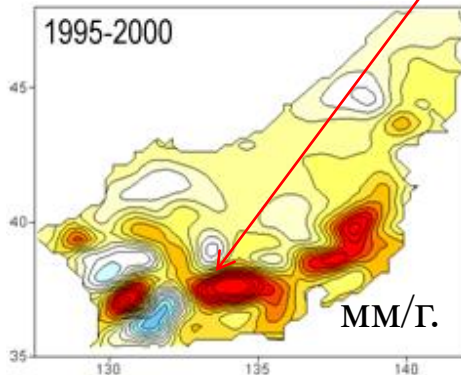
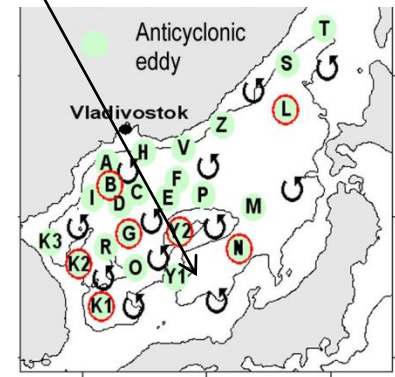
Нет квазистационарного вихря

Сезонные аномалии, мм/г.



Западная часть котловины Ямато

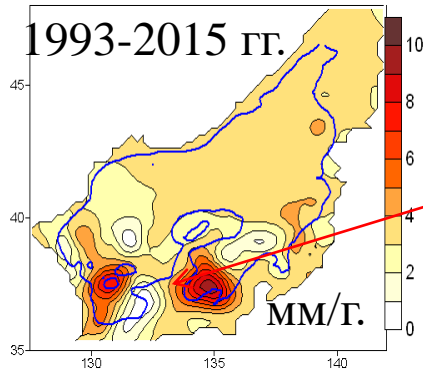
Волны вблизи инерционной частоты в глубинных слоях котловины Ямато (Senjuu, 2016; Jeon et al., 2016) → конвергенция за счет волновых процессов



В р-не котловины Ямато тренды противоположного знака в положительную и отрицательную фазы.

# Связь с батиметрическими и динамическими структурами

Сезонные аномалии, мм/г.



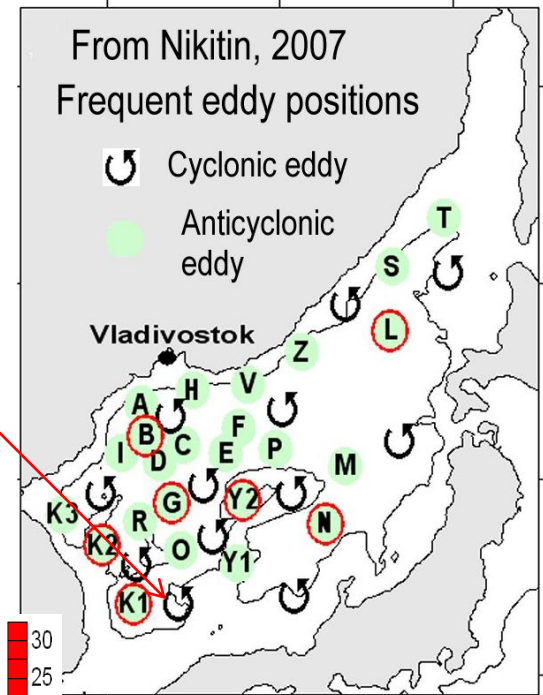
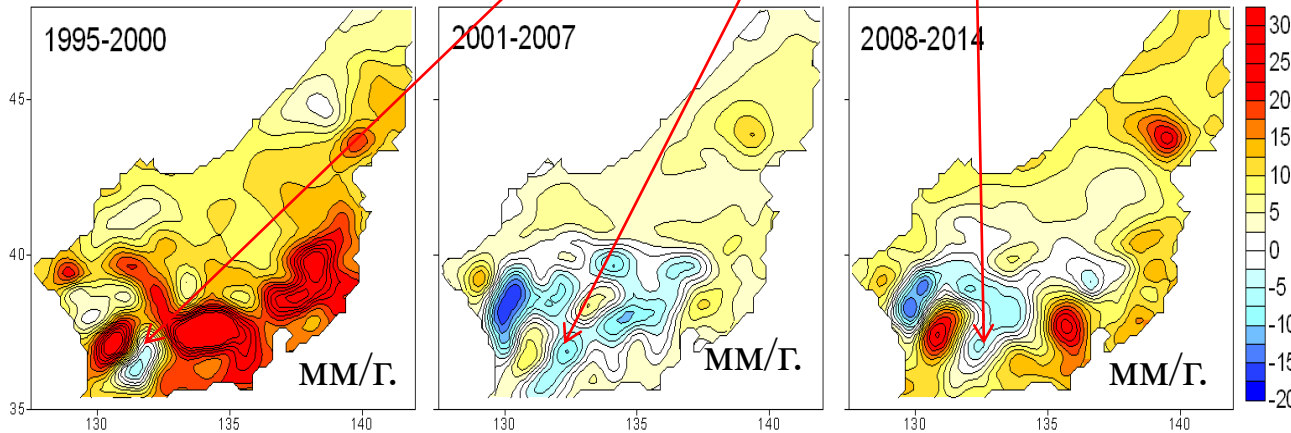
Циклонический вихрь

Doc Cold Eddy

(р-н о-ва Докдо)

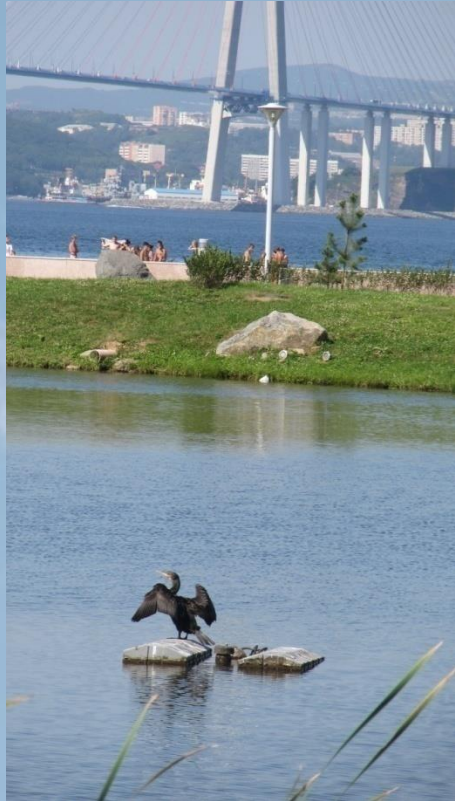
(Mitchel et al., 2005)

Отрицательный тренд



Слабые или отрицательные тренды в р-не о-ва Докдо

# Выводы



Спасибо за  
внимание!

- Средний тренд – 3.3 мм/г., как и средний по Мировому океану.
- 70% трендов связано с изменениями в системе восточноазиатского муссона.
- Квазидесятилетнее колебание: синфазный подъем уровня во всем море в 1995-2000, синфазное опускание в 2001-2007 гг., синфазный подъем в 2008-2013 гг.
- Существенные различия трендов в разные фазы квазидесятилетнего колебания:
  - 1995-2000 гг.: наибольшие положительные,
  - 2001-2007 гг.: отрицательные в субтропической части моря за счет изменения теплосодержания вод при изменениях расхода воды в Корейском проливе,
  - 2008-2013 гг.: умеренно положительные.
- Локальные экстремумы трендов можно связать с изменениями теплосодержания вод за счет динамических процессов.

## INTERNATIONAL CONFERENCE

# FLUXES AND STRUCTURES IN FLUIDS



**VLADIVOSTOK, RUSSIA**  
**AUGUST 8-10, 2018**

## FIRST ANNOUNCEMENT

### **Conference venue:**

V.I. Il'yichev Pacific Oceanological Institute,  
Far Eastern Branch,  
Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, Russia



POI main building, Vladivostok, Russia

## CALL FOR PAPERS

The conference programme will include invited lectures and oral / poster presentations.

## CALL FOR PAPERS

The conference official language is English.

Authors should submit the following:

- Completed **Registration form**;
- **Abstract** up to 3 pages should be formatted in accordance with the template presented at the conference web site. To be sent to: [fluxes2018@poi.dvo.ru](mailto:fluxes2018@poi.dvo.ru).

Abstract book will be distributed during the conference.

Selected papers will be printed in a journal indexed in WoS or SCOPUS.

The programme will include general lectures (30 min), contributed papers (15 min), and poster presentations (3 min oral + poster display, with the poster size of 1 x 2 m).

The conference rooms are equipped with blackboards and PC video projection units.

## KEY DATES

Submission of the registration forms and abstracts **by April 15, 2018**.

Notification to authors by **April 30, 2018**.

## REGISTRATION FEE

Regular participant fee is **130 USD**. Young scientist/student fee is **50 USD**.

Fee can be paid in cash at the conference desk or by money transfer order. Transfer information is available upon request.

## ACCOMMODATION

Information on recommended hotels will be in the second announcement. Otherwise participants can book their accommodations by themselves ([booking.com](http://booking.com), etc...).

## CONFERENCE TOPICS

- Dynamic processes in the ocean and atmosphere: from global to microscales.
- Waves, vortices, coherent structures, turbulence: transport and accumulation of sub-stances on interfaces.
- Effects of oceanic dynamic structures upon hydrochemical and hydrobiological distributions in the ocean.
- Impact of physical, chemical and biological effects on formation of spatial structures in fluids.
- Analytical, numerical and laboratory modeling of environmental systems and processes.
- Conventional and novel instruments.
- Environmental and technological applications.

## POST-CONFERENCE WORKSHOP

**Marine measurements  
in Geophysics and Hydrophysics,**  
August 11-14, 2018,  
POI Cape Schultz Marine  
Experimental Station

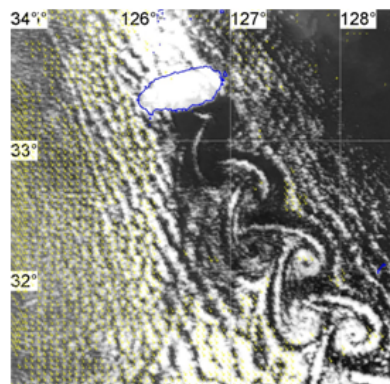


## REGISTRATION

Registration will take place in the POI lobby starting in the morning of August 8, 2018.

## INTERNATIONAL PROGRAMME COMMITTEE

V.G. Baydulov (Rus) – Scientific Secretary, Yu.D. Chashechkin (Rus) – Chair, J.H. Fernando (USA), Y. Fukumoto (Jap), Ph. Fraunie (Fra), G.J.F. van Heijst (Nld), S.Y. Kim (Kor), K.V. Koshel (Rus), X.S. Liang (China), V.B. Lobanov (Rus) – Co-chair, I.I. Mokhov (Rus), S.V. Prants (Rus), F. Qiao (China), J.-M. Redondo (Spa), M. Sommerfeld (Ge), H. Ueno (Jap), A.G. Zatsepin (Rus).



Karman vortex street southeast of the Jeju Island (Korea) from multichannel NOAA-15 satellite image on 01/08/2015 (Aleksanin et al., 2016)

## CONFERENCE HISTORY

This Conference follows the highly successful Meetings held in Sveltogorsk (1987), Kanev, Ukraine (1988), Novosibirsk (1989), Jurmala, Latvia (1990), Vladivostok (1991), St.-Petersburg (1992), Moscow (1993), St.-Petersburg (1995), Svetlogorsk (1996), Moscow (1997), St.-Petersburg (1999), Moscow (2001), St.-Petersburg (2003), Moscow (2005), St.-Petersburg (2007), Moscow (2009), Vladivostok (2011), St.-Petersburg (2013), Kaliningrad (2015).

## GENERAL INFORMATION

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS is located at the coast of Peter the Great Bay, the Japan Sea. It was established in 1973 and now it is the largest institution in the Russian Far East, conducting research in the Pacific and Asia Marginal Seas, including Arctic, in the fields of physical, chemical, and biological oceanography, hydrophysics, hydroacoustics, geophysical hydrodynamics, marine ecology, biochemical technologies, geology and geophysics, technological marine systems, remote sensing and ocean information systems.

POI scientists have participated in more than 500 research cruises aimed at multipurpose investigation of marine environments. Substantial progress has been achieved in understanding variability and elucidating the role of regional processes in climate variation and change. The POI Oceanographic Database accumulates data from research cruises. Unique collections of samples of bottom sediments and rocks have been created.

The Institute operates small research vessels for field surveys in coastal areas. The open sea surveys are implemented using the research fleet of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

The POI Popov Island and Cape Schultz marine experimental stations serve for conducting research in the coastal area of Peter the Great Bay, Japan Sea.

## VENUE

POI FEB RAS, 43 Baltivskaya Str., Chaika Station, Vladivostok, Russia. Schedule of the commuter trains is available at [www.expresspk.ru](http://www.expresspk.ru). (in Russian).

## THE CONFERENCE ORGANIZERS

- A.Yu. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics, RAS
- V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS



## THE CONFERENCE SPONSORS

- Russian Academy of Sciences
- Federal Agency of Scientific Organizations
- The Russian Foundation for Basic Research

## CONTACTS

Prof. Yuli D. Chashechkin  
E-mail: [chakin@ipmnet.ru](mailto:chakin@ipmnet.ru), [yulidch@gmail.com](mailto:yulidch@gmail.com)  
Tel.: +7(495)434-0192

Dr. Vyacheslav B. Lobanov  
E-mail: [fluxes2018@poi.dvo.ru](mailto:fluxes2018@poi.dvo.ru)  
Tel.: +7(423)2311400

Dr. Olga O. Trusenkova  
E-mail: [fluxes2018@poi.dvo.ru](mailto:fluxes2018@poi.dvo.ru)  
Tel.: +7(423)2313087

Conference web-site:  
<http://fluxes2018.poi.dvo.ru/>

# Статистическая значимость трендов

Доверительные интервалы для трендов: на основе распределения хи-квадрат. Число степеней свободы принимается равным 23 (по числу лет) для сезонной выборки и 9 для низкочастотной.

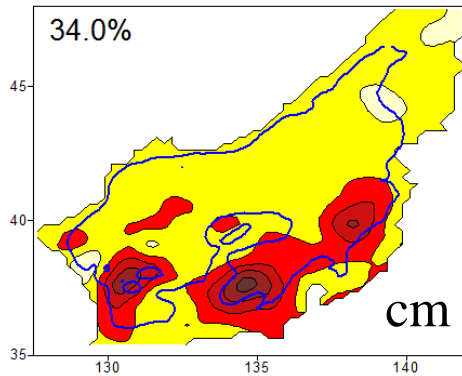
При оценке по коротким выборкам (фазы колебания) тренды считаются достоверными, если связанные с ними аномалии (изменения уровня моря за период оценки) превышают ошибки данных, т.е. при абсолютных величинах трендов 5.7 и 8 мм/год и более в субарктической и субтропической частях моря соответственно (для сезонных выборок).

(Средние ошибки аномалий уровня Японского моря не превышают 4 и 5.5 см в субарктической и субтропической частях моря соответственно.)

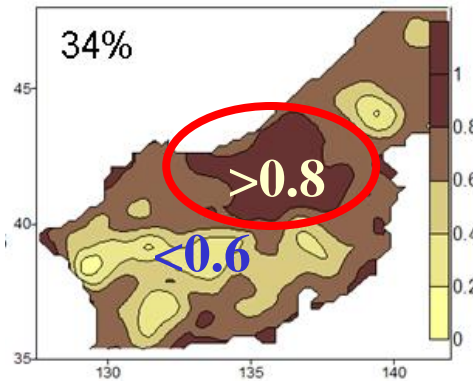
Средние по районам тренды рассчитываются по осредненным временным рядам аномалий уровня моря, вследствие чего ошибки данных снижаются в  $(N^*)^{1/2}$  раз, где  $N^*$  – число степеней свободы, определяемое с учетом радиуса декорреляции, который для данных AVISO составляет около  $1^\circ$  (Chelton et al., 2011).

# Simultaneous Oscillations in the entire Japan/East Sea (EOF 1 of the interannual SLA)

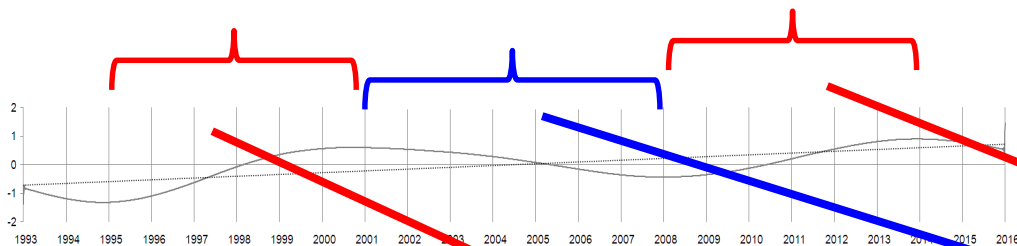
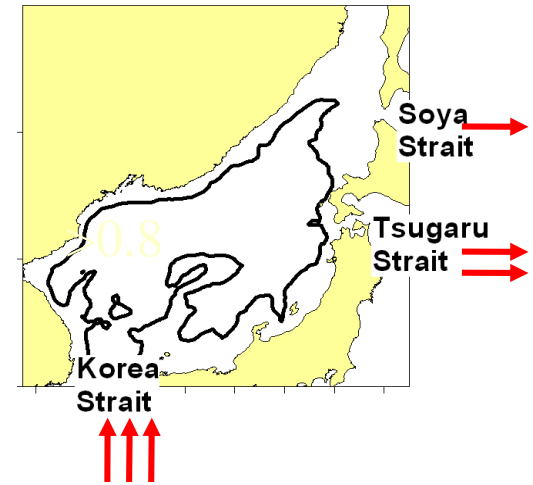
Spatial pattern



Correlation of the temporal  
function with SLA



Troughflow



Different trends in  
different phases

Transport influence stronger in  
the southern area

