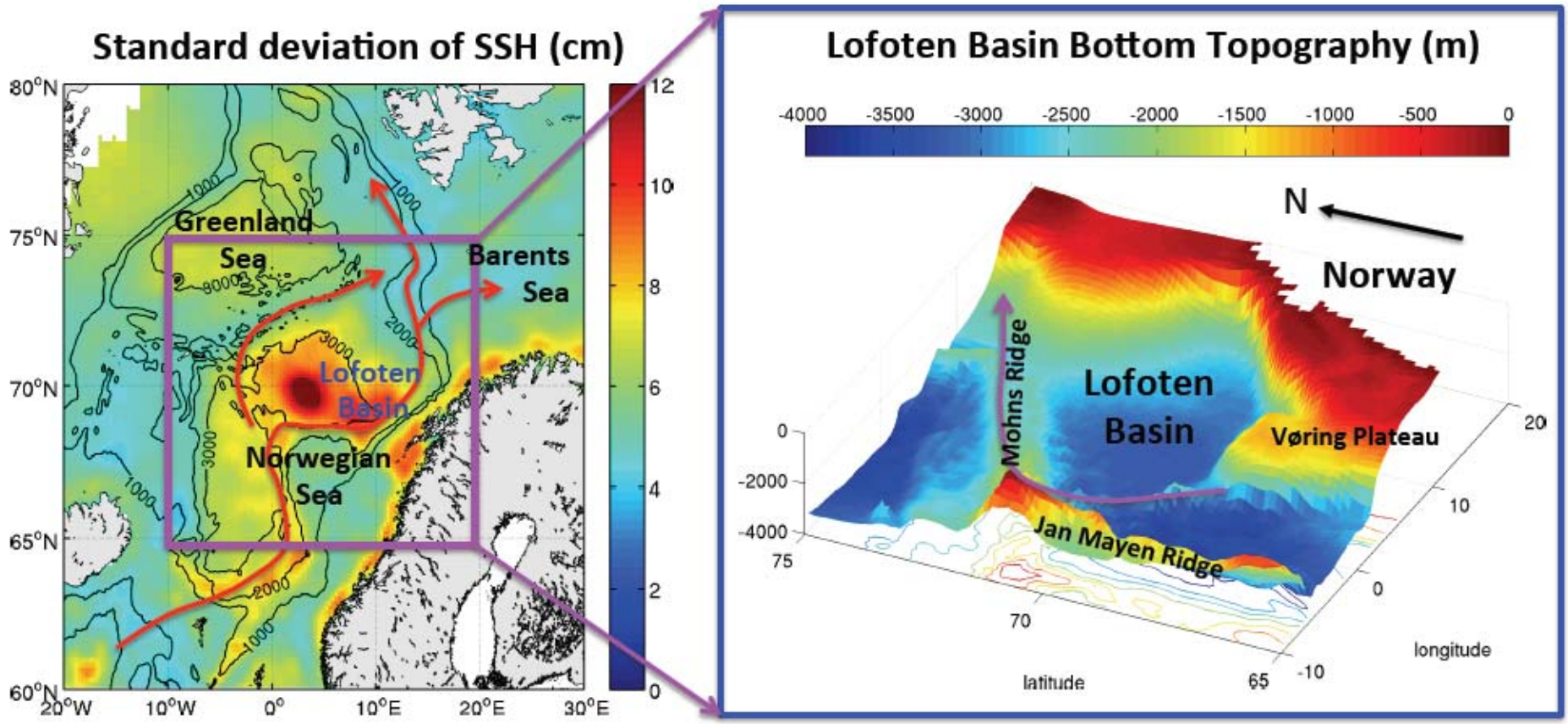
Т.В. Белоненко

Методы исследования «котловинных волн» Лофонтенской котловины Норвежского моря

Четвертая Международная школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»

Таруса, ИКИ РАН, 19-25 февраля 2013 г.

Sub-Arctic "hot spot" of variability



- A sub-Arctic "hot spot" of SSH variability (largely due to mesoscale signals) is observed in the Lofoten Basin of the Norwegian Sea
- LB is the major heat reservoir for the Nordic Seas [Björk et al., 2001],where large ocean-atmosphere interactions occur [Nilsen and Falck, 2006; Rossby et al., 2009]

Цель исследования

В низкочастотную изменчивость уровня Норвежского моря существенный вклад вносят градиентно- вихревые волны типа топографических волн Россби. Эти волны определяют циклоническое вращение неоднородностей уровня моря относительно центра ЛК и получили название «котловинные волны».

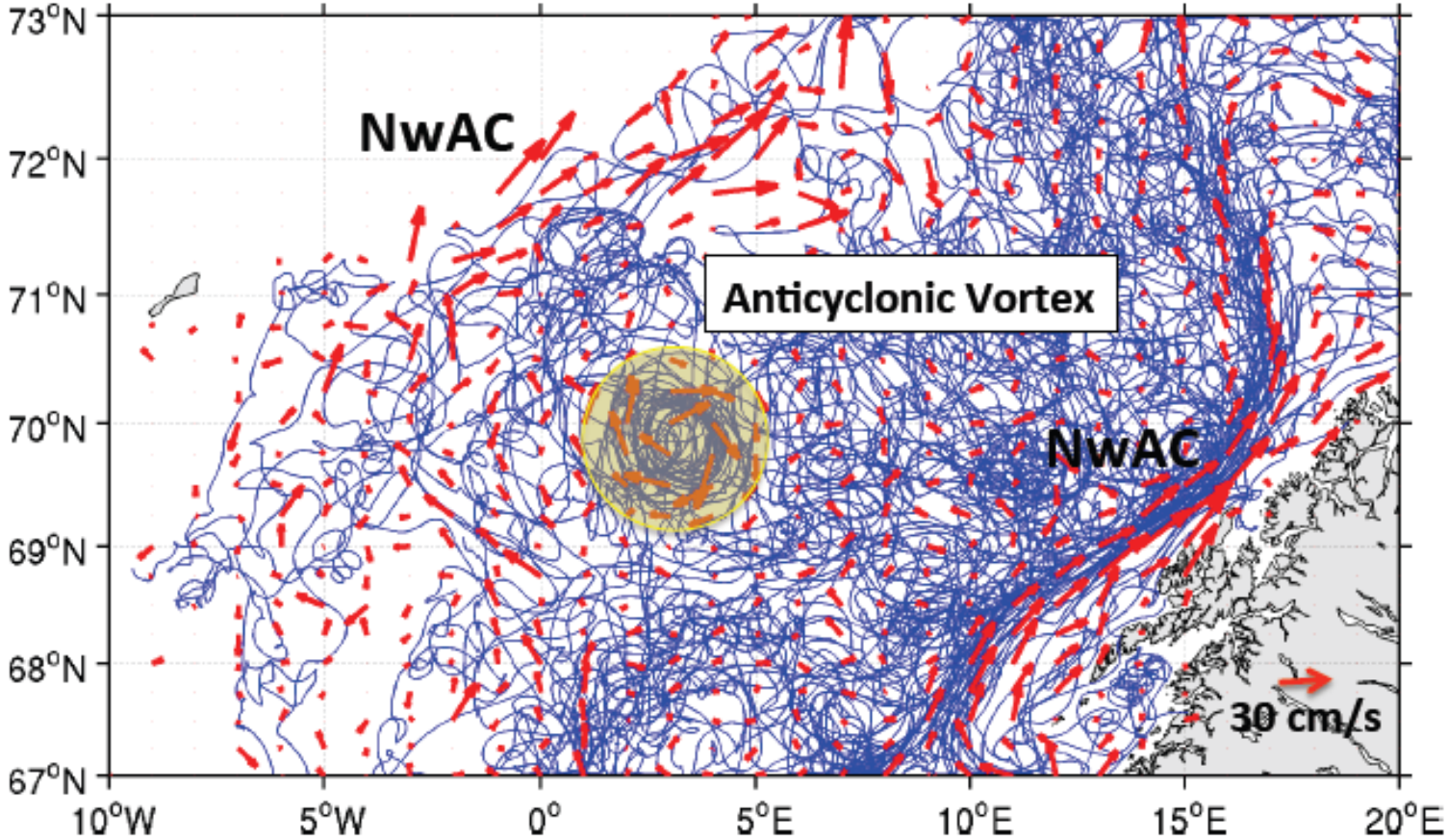
Используемые данные:

- **Спутниковые альтиметрические измерения: архив AVISO, данные *SSH* и *SLA* спутников ERS-1/2 и Envisat (1/3° Mercator grid).**

Circulation in the Lofoten Basin

- The surface cyclonic circulation is not obvious in more recent studies based on longer drifter records [Björk et al., 2001; Jacobsen et al., 2003; Koszalka et al., 2011];
- It is neither present in the most recent mean dynamic topography products, which show the dominance of an anticyclonic flow.

Trajectories of 100 surface drifters (Sep. 1996 – Aug. 2010) and geostrophic velocity vectors



Space-Time Lagged Correlation of SSH Fields

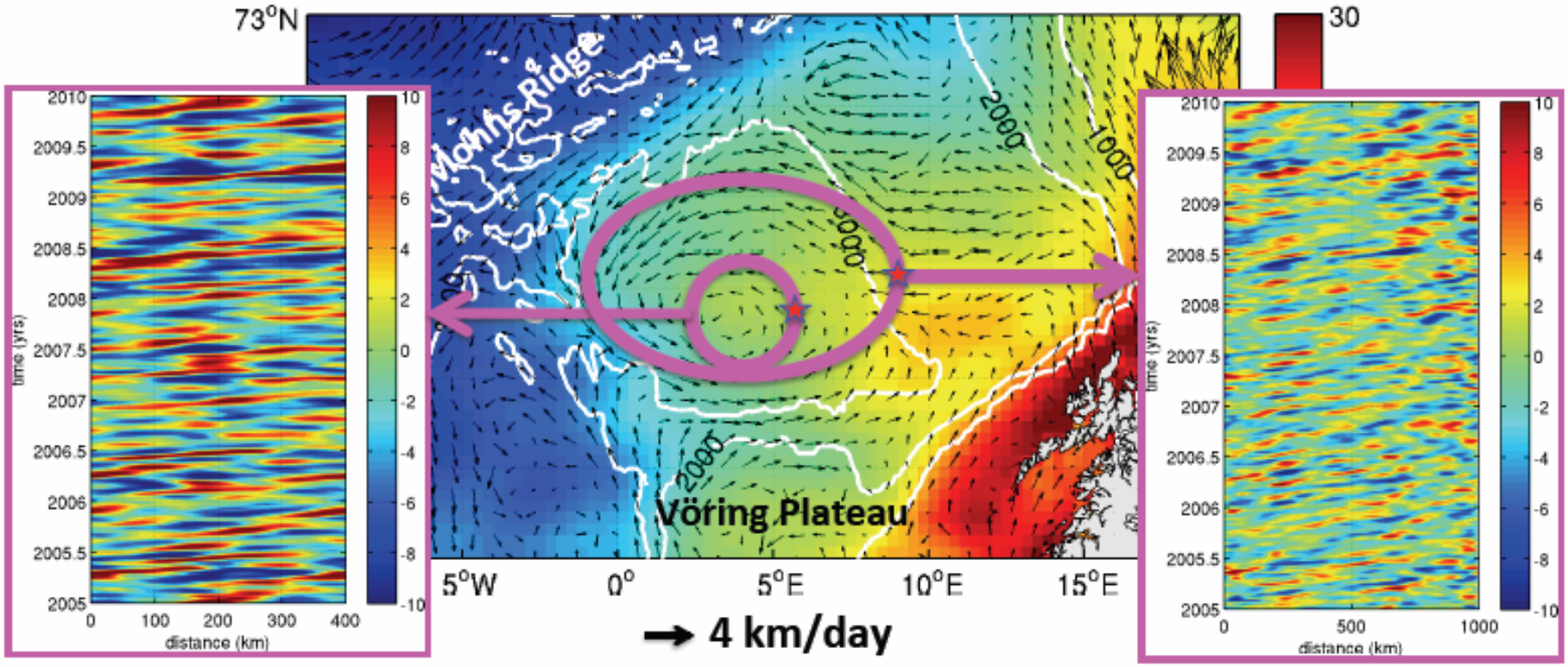
- At each (x,y) we compute the cross-correlations of SSH (h) in square boxes (180x180 km) for time lags Δt<=12 weeks [see Fu 2006 and 2009 for details]:

$$C_{x,y}(\Delta x, \Delta y, \Delta t) = \overline{h(x,y,t)h(x+\Delta x, y+\Delta y, t+\Delta t)}$$

- An average velocity vector weighted by the correlation coefficients (C_i):

$$(u,v) = \left(\sum_i (\Delta x_i/\Delta T_i, \Delta y_i/\Delta T_i)\cdot C_i\right) \Big/ \sum_i C_i$$

Velocity vectors of SSH anomaly propagation and MDT_CNES-CLS09 (cm)



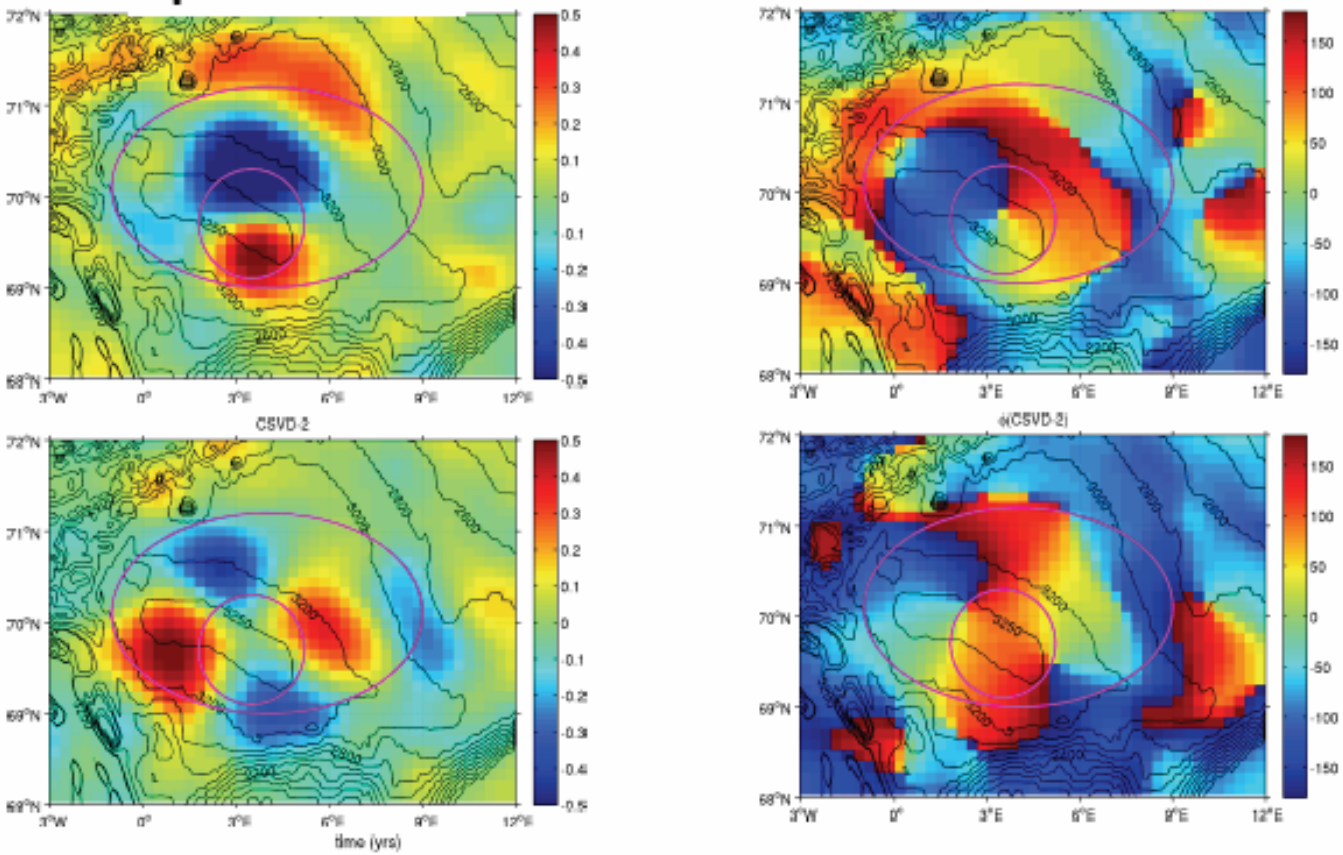
Modal Structure: Complex SVD

Spatial Pattern

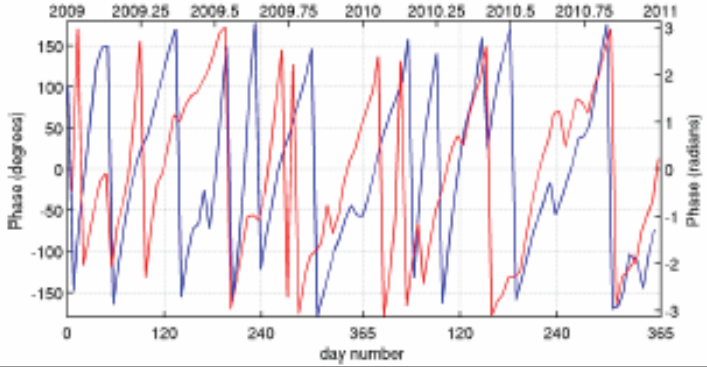
Spatial Phase

CSVD-1
13.5 %

CSVD-2
8.2 %



Temporal phase of CSVD-1 (blue) & CSVD-2 (red)



- Two statistical modes propagating cyclonically: di-pole and quadri-pole;
- The wavelength of the rotating CSVD-1 and CSVD-2 patterns is approximately 500 km;
- The frequency of waves is not constant.

Преобразование Гильберта

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

В математике и обработке сигналов **преобразование Гильберта** — линейный оператор, сопоставляющий каждой функции $u(t)$ функцию $H(u(t))$ в той же области.

Преобразование Гильберта может быть определено в смысле главного значения интеграла по Коши:

$$H(u)(t) = \frac{1}{\pi}\text{v.p.}\int\limits_{-\infty}^{\infty}\frac{u(\tau)}{t-\tau}\,d\tau$$

Или, более явно:

$$H(u)(t) = -\frac{1}{\pi}\lim_{\epsilon\to 0}\int\limits_{\epsilon}^{\infty}\frac{u(t+\tau)-u(t-\tau)}{\tau}\,d\tau.$$

При двукратном применении преобразования Гильберта функция меняет знак:

$$H(H(u))(t) = -u(t),$$

при условии, что оба преобразования существуют.

Связь с преобразованием Фурье

Преобразование Гильберта является множителем в спектральной области.

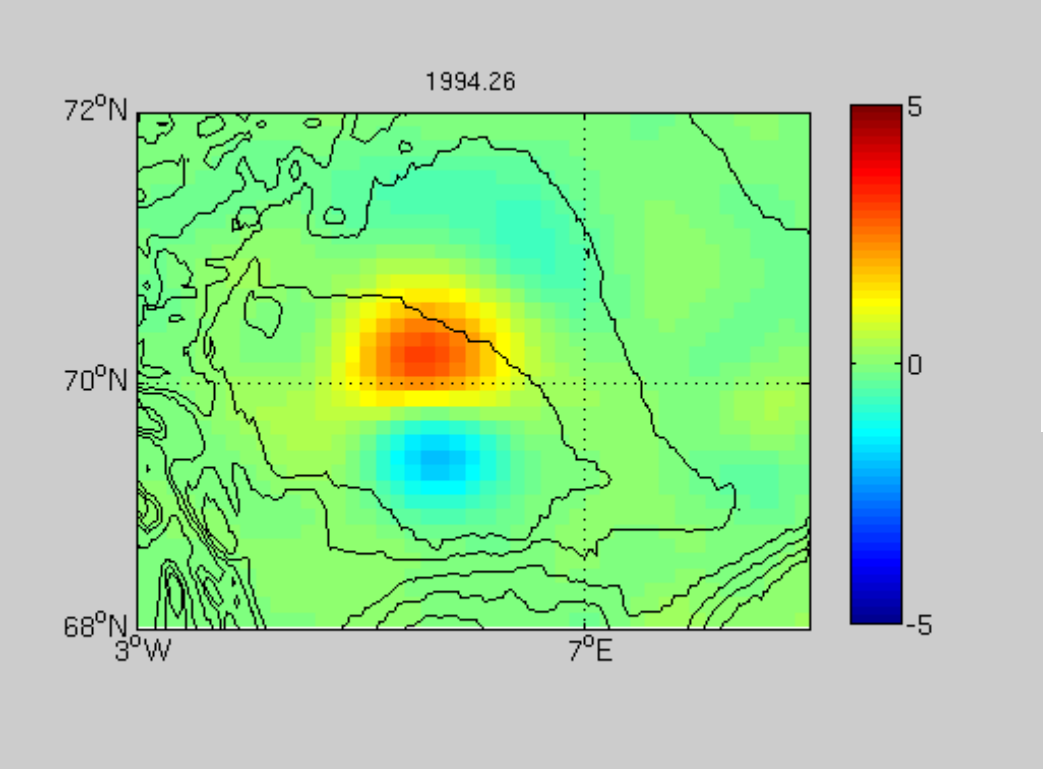
$$\mathcal{F}(H(u))(\omega) = -i\,\operatorname{sgn}(\omega)\cdot\mathcal{F}(u)(\omega),$$

где $\mathcal{F}(f)(\omega) = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-i\omega t}dt$ — вариант прямого преобразования Фурье без нормировочного множителя.

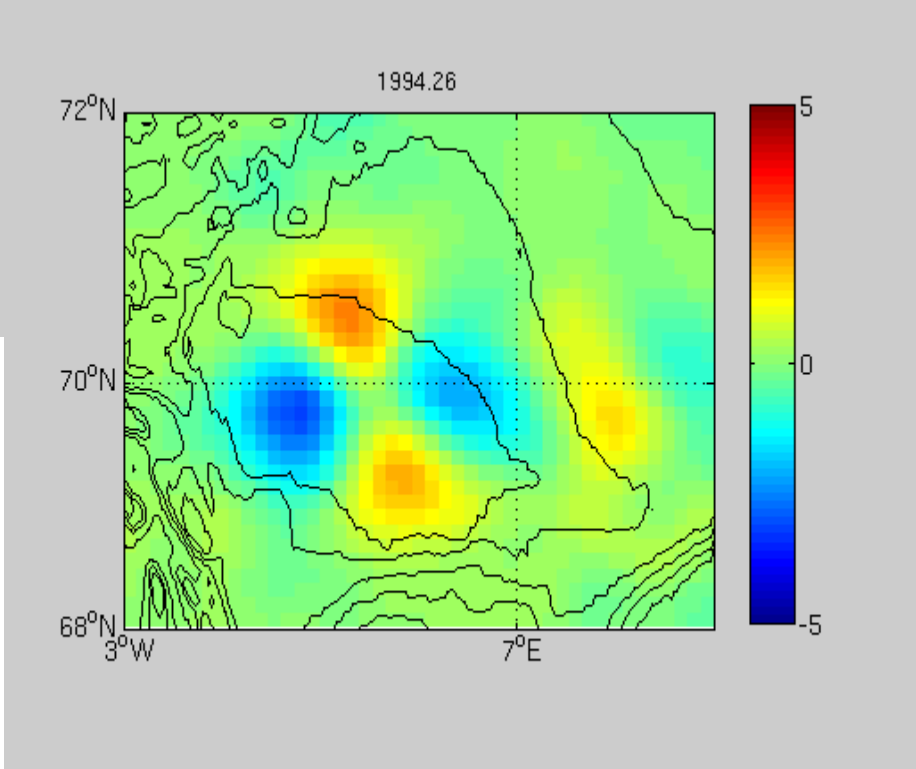
Обратное преобразование

$$H^{-1} = -H$$

1 мода разложения по СЕОФ



2 мода разложения по СЕОФ

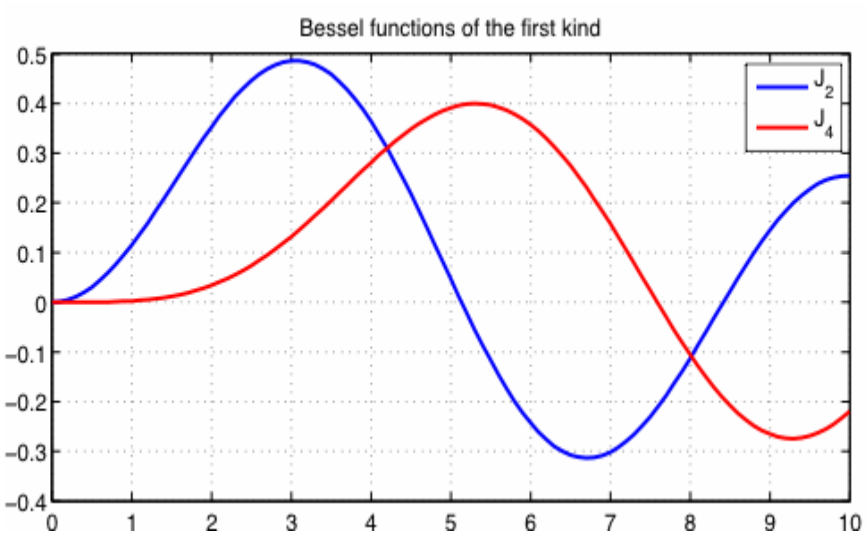


Вывод дисперсионных соотношений

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\nabla^2\eta - \frac{f^2\eta}{gH}\right) + \beta\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{f}{H}\left(\frac{\partial\eta}{\partial x}\frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial\eta}{\partial y}\frac{\partial H}{\partial x}\right) = 0$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \frac{1}{z}\frac{\partial p}{\partial z} + \left(\frac{s\beta_e}{\omega} - \frac{4s^2}{z^2}\right)p = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial^2\eta}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\eta}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\eta}{\partial\theta^2}\right) - \frac{H}{r}\frac{\partial\eta}{\partial\theta}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{f}{H}\right) = 0$$



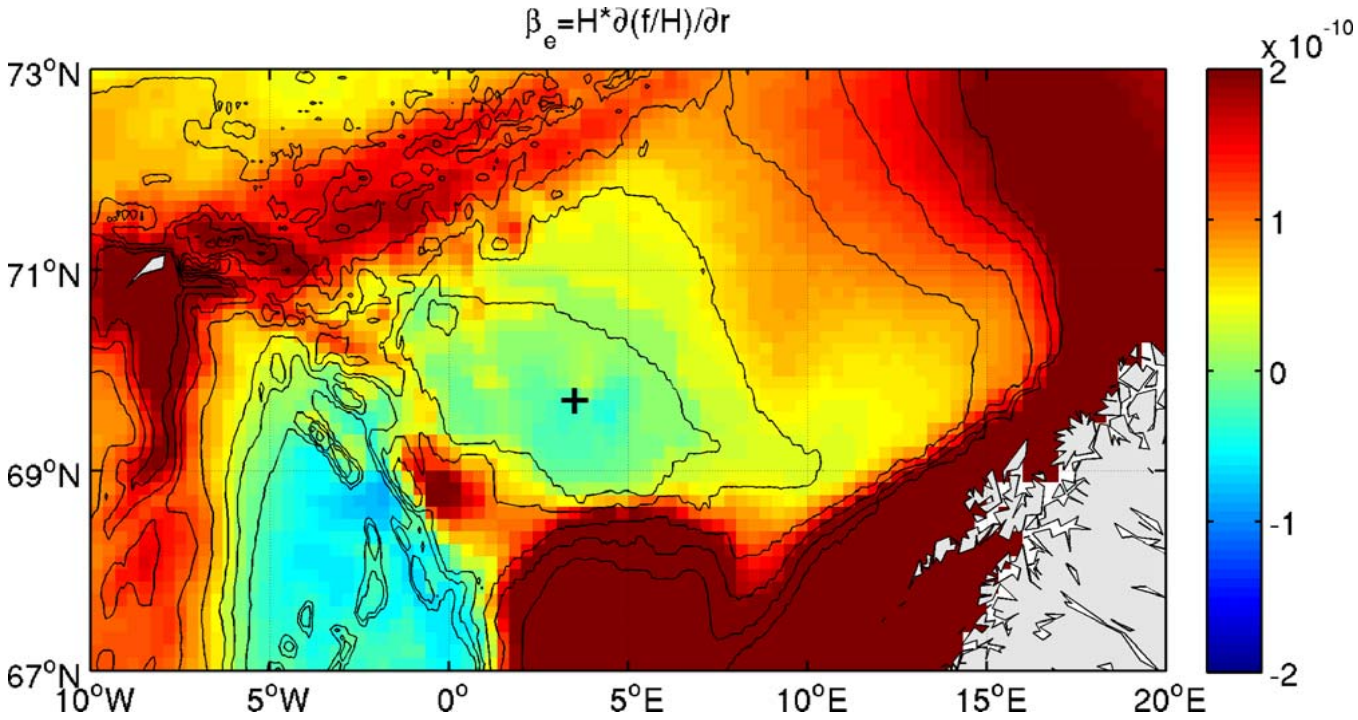
$$\eta = p(r)\cdot\exp[i(s\theta - \omega t)]$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial p}{\partial r} - \frac{s^2}{r^2}p + \frac{s\beta_e}{r\omega}p = 0$$

$$\eta = \sum_{s=0}^{\infty} A_s \exp[i(s\theta - \omega t)]J_{2s}(2k\sqrt{r})$$

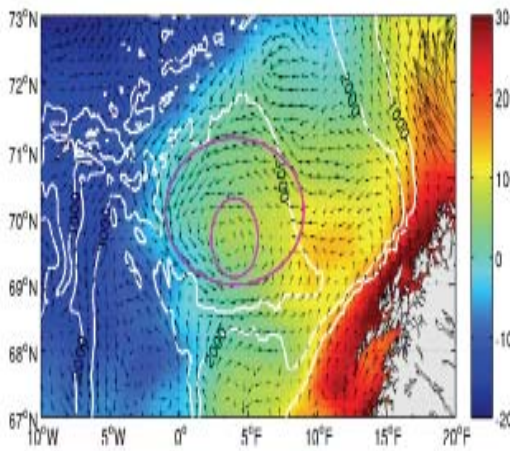
$$s = \begin{Bmatrix}1\\2\end{Bmatrix} \Rightarrow \sigma = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \begin{Bmatrix}\dfrac{\beta_e}{(3.1\pi)^2 l}\\ \dfrac{4\beta_e}{(5.3\pi)^2 l}\end{Bmatrix}$$

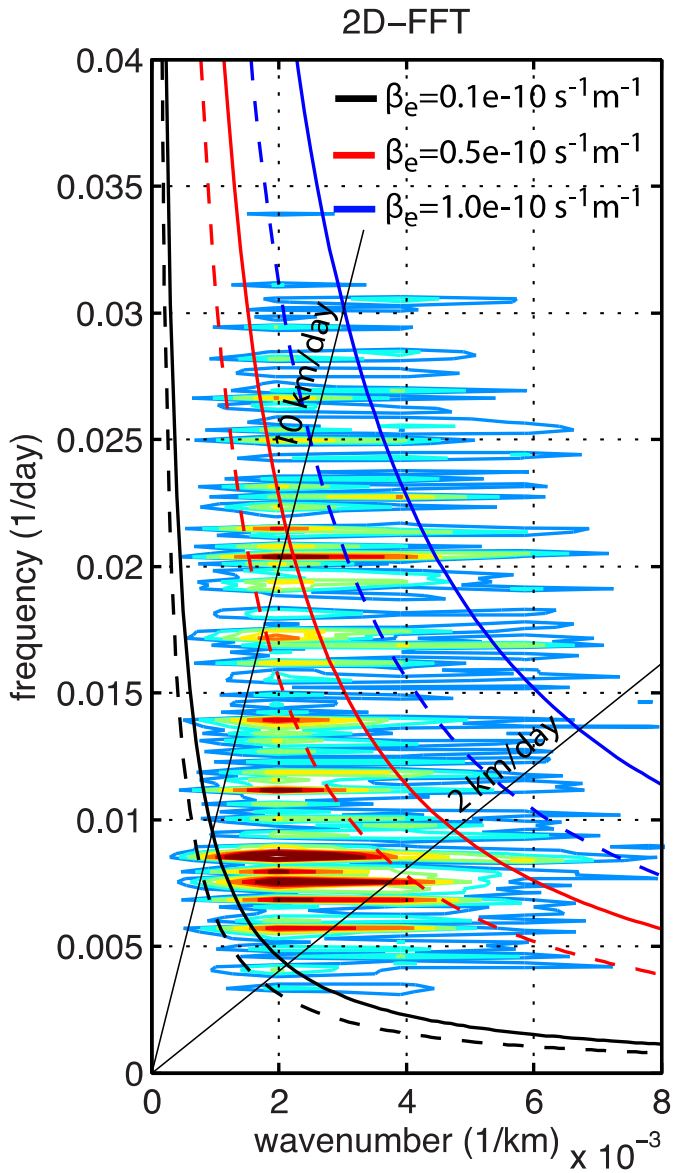
«Эквивалентный» бета-эффект

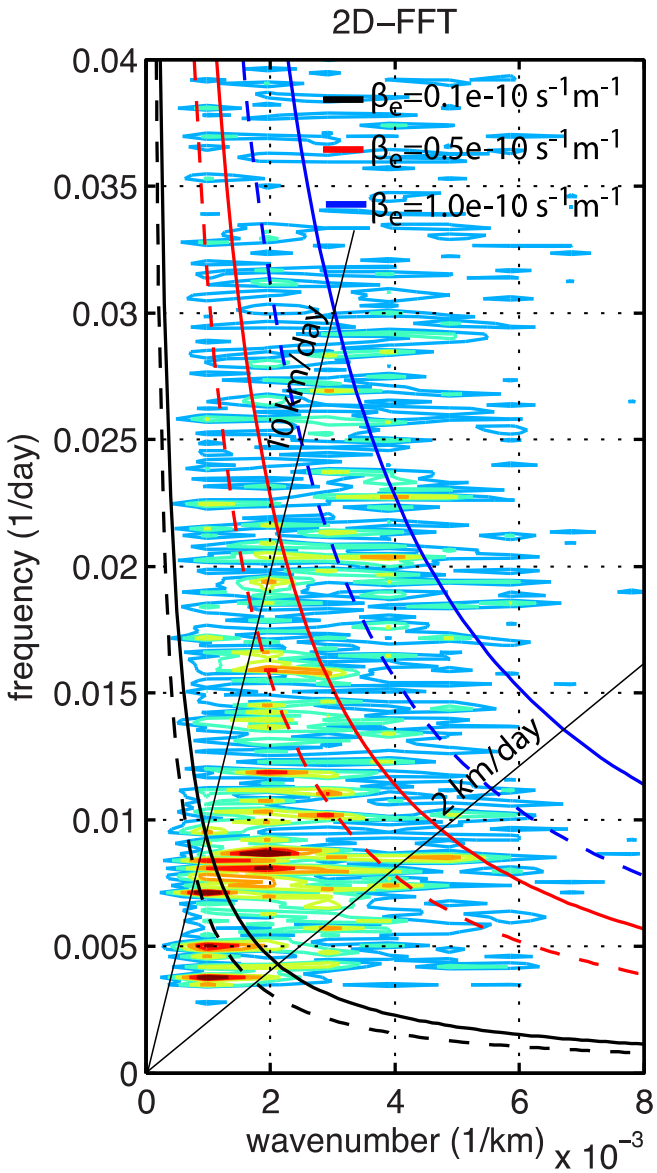


В пределах котловины, исключая материковый склон с сильным фоновым течением, бета-эффект меняется в пределах от ~0 до ~1.5×10^{-10} m^{-1} s^{-1}.

Дисперсионные соотношения







Дисперсионные соотношения для двух-полюсной волны, а пунктиры - для четырёх-полюсной волны при заданных βe.

Спасибо за внимание!