

Волны Россби и зональные ветры в атмосферах планет. Обзор

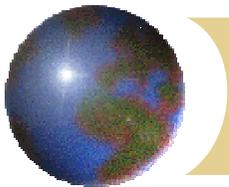
✿ **О. Г. Онищенко**

✻ **Институт космических исследований РАН**

✻ **Институт физики Земли РАН**

✿ **Н. М. Астафьева**

✻ **Институт космических исследований РАН**



Предмет исследования.

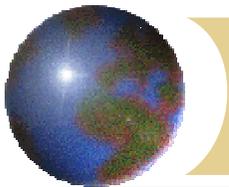
Аномальный перенос.

Крупномасштабная циркуляция.

Аналогия движения вещества в вихрях с движением ионов в дрейфовых волнах замагниченной плазмы.

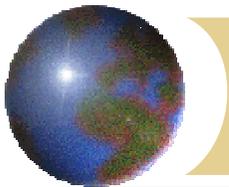
Синоптические вихри (циклоны, антициклоны). Зональные ветры (течения).

Захват и перенос вещества в синоптических вихрях.



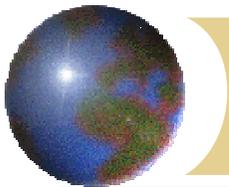
Характерные масштабы синоптических вихрей

- В земной атмосфере циклоны и антициклоны имеют пространственные масштабы от сотен до тысяч километров. Время существования от нескольких дней до нескольких недель и больше. Скорость дрейфа порядка 5 – 10 м/с и часто не превышает скорость вращения вещества в вихре.
- В океане аналогичные вихри имеют масштаб порядка 50 – 100 км, а скорость дрейфа порядка 5 – 10 см/с.



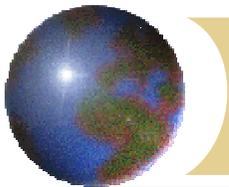
Зональные ветры в атмосфере (течения в океане). Генерация меандров.

- ❊ Периодическая структура зональных ветров.
- ❊ Генерация меандров, трансформирующихся в циклоны и антициклоны в поле зональных ветров.
- ❊ Отсекаемые от Гольфстрима меандры с характерным масштабом 300 – 400 км трансформируются в холодные циклонические вихри справа и теплые антициклонические вихри слева от основной струи.



**Согласно метеонаблюдениям
движение в синоптических вихрях
должно обладать свойствами
(Charney, “On the scale of
atmospheric motion”, 1947):**

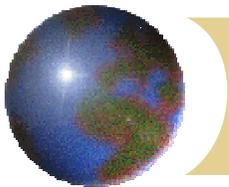
- ❖ квазигидростатическим по высоте атмосферы,
- ❖ квазидвумерным,
- ❖ квазиadiaбатическим,
- ❖ и квазигеострофическим.



Волны Россби

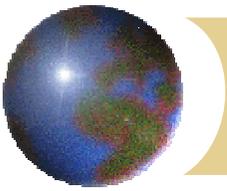
- Волны Россби – движения синоптического масштаба сравнимого с радиусом Россби существенно превышающим высоту атмосферы или глубину океана.
- В земной атмосфере радиус Россби порядка 2000 км, в океане порядка 50 – 100 км.

$$\omega_k = - \frac{k_x v_{Rs}}{1 + k^2 r_{Rs}^2}.$$



Место среди других обзоров и монографий

- Незлин М. В., Солитоны Россби, УФН, 150. 3 – 58, 1986; Незлин М. В., Е. Н. Снежкин «Вихри Россби и спиральные структуры», М. Наука, 1990.
- Петвиашвили В. И., О. А. Похотелов «Уединенные вихри в плазме и атмосфере», 1989.
- Монин А. С., Г. М. Жихарев, Океанские вихри, УФН, 160, 1 – 47, 1990.
- Kamenkovich V., M. Koshlyakov, A. Monin “Synoptic eddies in the ocean, Reidel Publ. Comp., Netherlands, 1986.



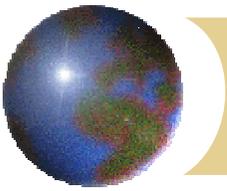
Приближение мелкой воды

$$p(x, y) = g\rho H,$$

$$\frac{d}{dt} \mathbf{v} = -g \nabla H + f [\mathbf{v} \times \mathbf{e}_z],$$

$$\mathbf{v}_g = \frac{1}{f\rho} [\mathbf{e}_z \times \nabla p],$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\text{rot}_z \mathbf{v} + f}{H} \right) = 0.$$



Уравнение Чарни – Обухова

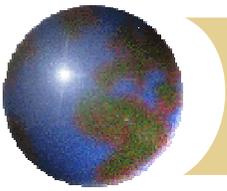
$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\hat{p} - r_{Rs}^2 \nabla_{\perp}^2 \hat{p} \right) - v_{Rs} \frac{\partial}{\partial x} \hat{p} - r_{Rs}^4 f_0 \{ \hat{p}, \nabla_{\perp}^2 \hat{p} \} = 0.$$

$$\{ A, B \} \equiv [\nabla A \times \nabla B]_z = \partial A / \partial x \partial B / \partial y - \partial A / \partial y \partial B / \partial x$$

$$r_{Rs} = c_s / f_0, \quad v_{Rs} = r_{Rs}^2 \beta, \quad f \approx f_0 + \beta y.$$

$$W = \int [\hat{p}^2 + r_{Rs}^2 (\nabla \hat{p})^2] d^2 x,$$

$$H = \int [(\nabla \hat{p})^2 + r_{Rs}^2 (\nabla^2 \hat{p})^2] d^2 x.$$



Вихревые структуры

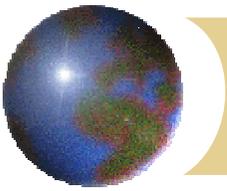
$$\eta = x - ut, \quad \left\{ \nabla^2 \hat{p} - \Lambda \hat{p}, \hat{p} + y / b \right\}$$

$$\Lambda = \frac{1}{r_R^2} \left(1 + \frac{v_R}{u} \right), \quad b = \frac{r_R^2 f_0}{u}.$$

$$\nabla^2 \hat{p} - \Lambda \hat{p} = F(\hat{p} + y / b), \quad \nabla^2 \hat{p} = F(\hat{p} - y / r_f).$$

$$v_x = v_R k r_f K \frac{C \cdot \operatorname{sh}(ky)}{C \cdot \operatorname{ch}(ky) + (C^2 - 1)^{1/2} \cos(kx)},$$

$$v_y = v_R k r_f K \frac{(C^2 - 1)^{1/2} \sin(kx)}{C \cdot \operatorname{ch}(ky) + (C^2 - 1)^{1/2} \cos(kx)}.$$



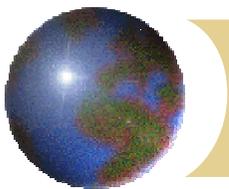
Колмогоровские спектры слабой турбулентности

$$i \frac{\partial C_{\mathbf{k}}}{\partial t} = \sum_{\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 = \mathbf{k}} V(\mathbf{k}, \mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2) C_{\mathbf{k}_1} C_{\mathbf{k}_2} \exp[-i(\omega_{\mathbf{k}_1} + \omega_{\mathbf{k}_2} - \omega_{\mathbf{k}})t]$$

$$V(\mathbf{k}, \mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2) \propto |k_x k_{x1} k_{x2}|^{1/2} \left(\frac{k_{x1}}{1+k_1^2 r_R^2} + \frac{k_{x2}}{1+k_2^2 r_R^2} - \frac{k_x}{1+k^2 r_R^2} \right)$$

$$W_{\mathbf{k}} \propto k_x^{-3/2} k_y^{-2}, \quad H_{\mathbf{k}} \propto k_x^{-3/2} k_y^{-3}.$$

$$W_{\mathbf{k}} \propto k_{\perp}^{-4}, \quad W_{\mathbf{k}} \propto (k_{\perp}^{-7/2}, k_{\perp}^{-9/2}).$$



Генерация крупномасштабной структуры зональных ветров волнами Россби

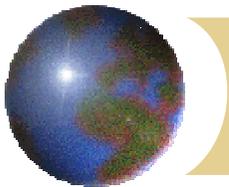
$$\nabla_{\perp}^2 \frac{\partial}{\partial T} \hat{p} = -f r_R^2 \overline{\{\tilde{p}, \nabla_{\perp}^2 \tilde{p}\}}$$

$$\Omega = -\frac{f^2}{2} q^2 r_R^2 \int d\mathbf{k} \frac{\partial N_{\mathbf{k}}^0}{\partial k_y} \frac{V_g k_x}{\Omega - q V_g}$$

$$\left(\frac{q}{k}\right)_{\max}^2 = \left(\frac{f}{\omega_{\mathbf{k}}}\right)^2 (k r_R)^4 |\tilde{p}_{\mathbf{k}0}|^2, \quad \gamma = \frac{f^2}{\omega_{\mathbf{k}}} (k r_R)^6 |\tilde{p}_{\mathbf{k}0}|^2.$$

$$r_R \approx 2 \cdot 10^6 \text{ м}, \quad \tilde{p}_{\mathbf{k}0} \approx 10^{-2}, \quad k_0 r_R \approx 5 - 10, \quad v_R \approx 3 \cdot 10^2 \text{ м/сек}, \quad f \approx 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ сек}^{-1},$$

$$\gamma \approx (2 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-4}) \text{ сек}^{-1} \quad \lambda_{\min} = 2\pi / q_{\max} \approx (3000 - 5000) \text{ км}, \quad v_Z \approx 3 \cdot 10^2 \text{ м/сек}$$



**Благодарим за
внимание!**