Численное моделирование вихревого переноса тепла в бассейнах Мирового океана

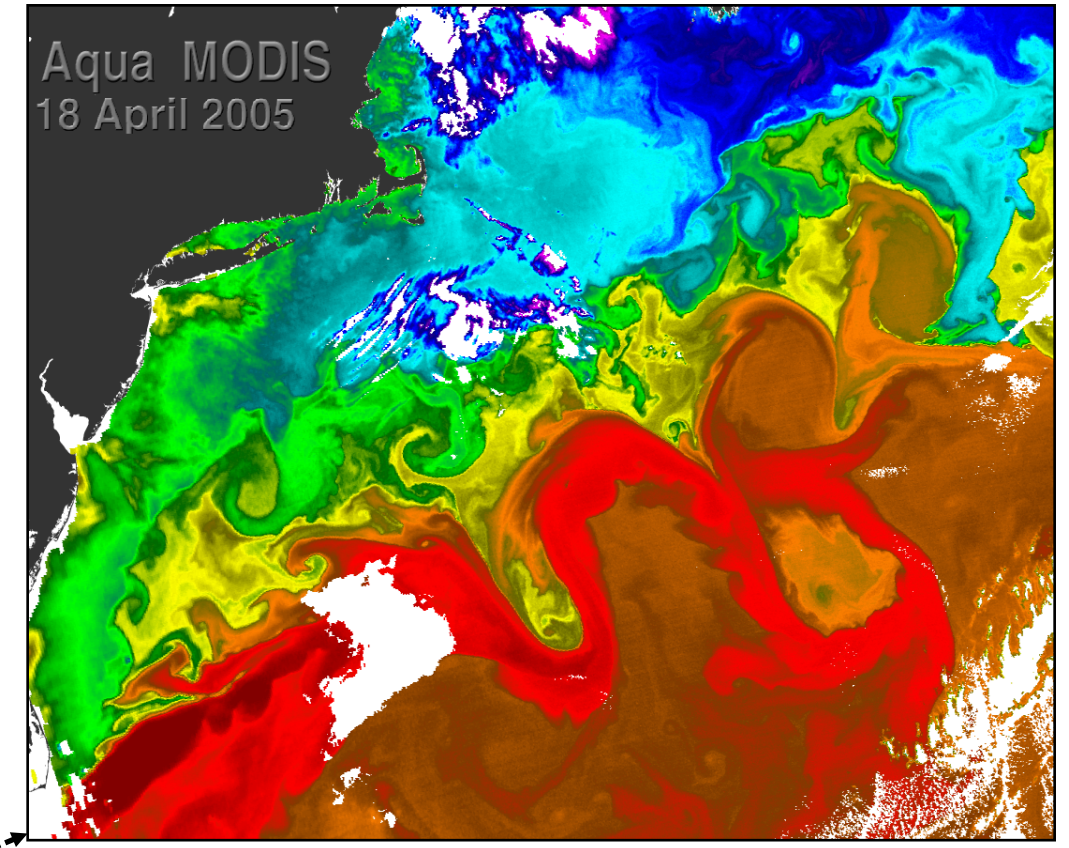
Ушаков К.В.

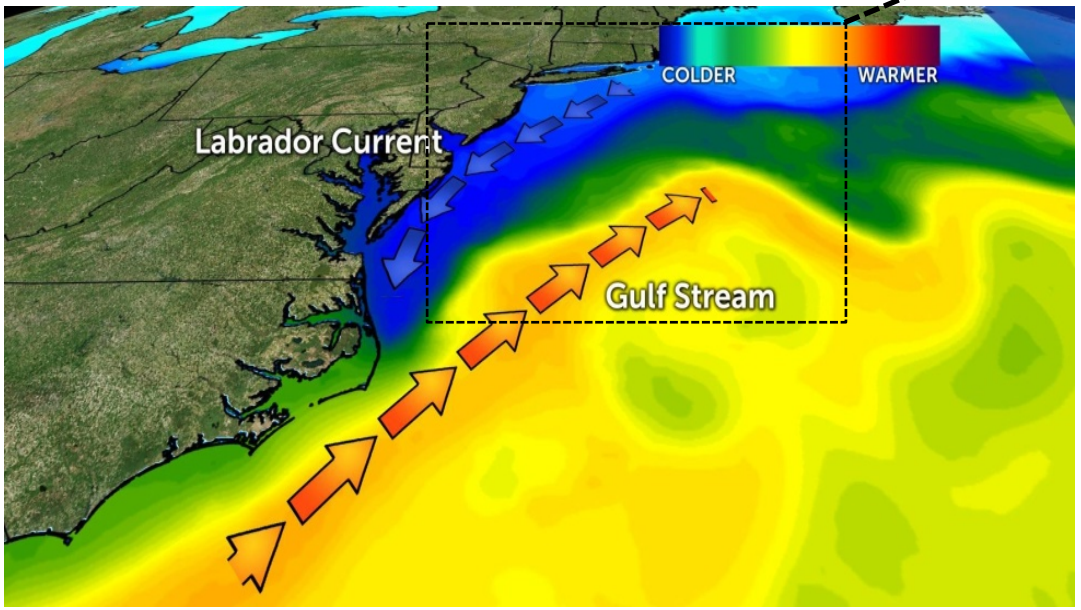
Ибраев Р.А.

Громов И.В.

Вихревой перенос тепла в океане

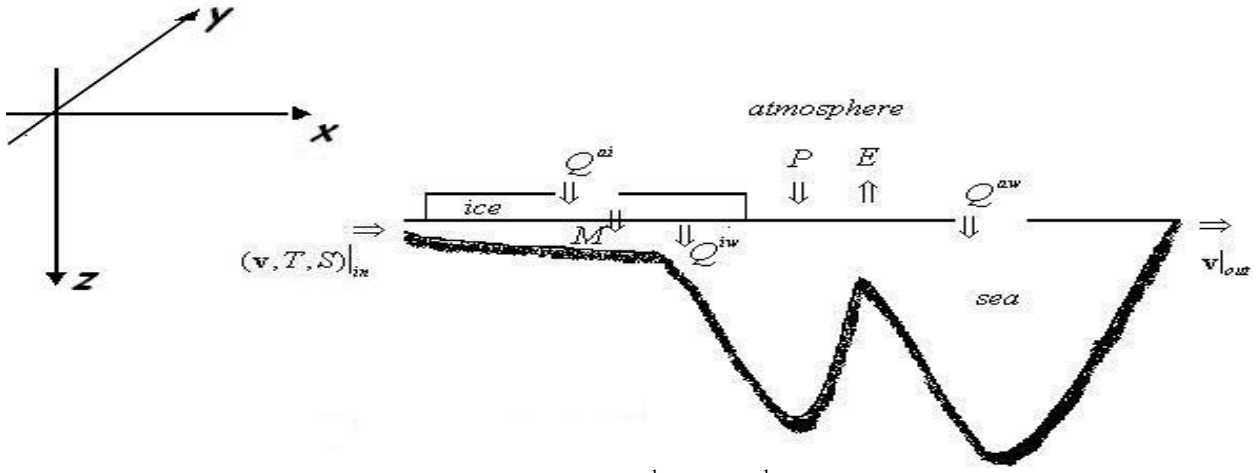
- Значителен в ряде районов
- Регулирует перенос среднего потока
- Вносит вклад в формирование глобального климата
- Не поддаётся контактным измерениям
- Не виден полностью со спутников
- Комбинированные оценки дают разрешение ~5°





- Основной механизм горизонтального переноса – захват воды во внутренней части вихря
- Характерные масштабы:
  10 – 100 км
  10 – 100 суток

Вихреразрешающая модель Мирового океана ИВМИО



$$u_t + (\vec{v}\ \ )u \quad fv = \quad {}_o{}^1 p_x + (K_m u_z)_z + D_u$$

$$v_t + (\vec{v}\ \ )v + fu = \quad {}_o{}^1 p_y + (K_m v_z)_z + D_u$$

$$p_z = \quad g$$

$$\vec{v} = 0$$

$$_t + \vec{v}\ \ (z + \quad) = \quad {}_f{}^1 (P + M \quad E)$$

$$T_t + (\vec{v}\ \ )T = (K_h T_z)_z + D_T + (\quad {}_o c_p)\ {}^1 I_z \ (1 \quad A)$$

$$S_t + (\vec{v}\ \ )S = (K_h S_z)_z + D_S$$

$$= \quad (T,S)$$

$$K_m (u_z, v_z) + (u,v) \quad {}_f{}^1 W = \quad {}_o{}^1 (1 \quad A)(\quad , \quad)$$

$$G \ , z = \quad (\ , \ , t):$$

$$p = p_a$$

$$c_p K_h T_z + c_p T \quad {}_f{}^1 W = \quad {}_o{}^1 [Q_h^{aw}(1 \quad A) + Q_h^{iw} A]$$

$$K_h S_z + S \quad {}_f{}^1 W = \quad {}_o{}^1 S^{iw} MA$$

$$w = u(a\cos \quad)\ {}^1 \frac{H}{\quad} + va\ {}^1 \frac{H}{\quad}$$

$$G_H, z = H(\ , \ ):$$

$${}_o K_m \frac{(u,v)}{z} = (\quad {}_B, \quad {}_B)$$

$$c_p K_h \frac{T}{z} = 0$$

$$K_h \frac{S}{\mathbf{n}} = 0$$

$$G_S: \quad \begin{matrix} (u,v)_n = 0 \\ \dfrac{(u,v)}{\vec{n}} = 0 \\ \dfrac{T}{\vec{n}} = 0 \\ \dfrac{S}{\vec{n}} = 0 \end{matrix} \quad \text{или} \quad \begin{matrix} u = 0 \\ v = 0 \\ \dfrac{T}{\vec{n}} = 0 \\ \dfrac{S}{\vec{n}} = 0 \end{matrix}$$

$$G_L: \quad \begin{matrix} u = u^{in} \\ v = v^{in} \\ T = T^{in} \\ T = T^{in} \end{matrix} \quad \text{или} \quad \begin{matrix} u = u^{out} \\ v = v^{out} \\ \dfrac{T}{\vec{n}} = 0 \\ \dfrac{S}{\vec{n}} = 0 \end{matrix}$$

Ибраев и др., ФАО, 2012, 48(1)
Ушаков и др., ФАО, 2016, 52(4)

Постановка численного эксперимента

Разрешение 0.1 градуса (3600x1800)

$A_m = 0$

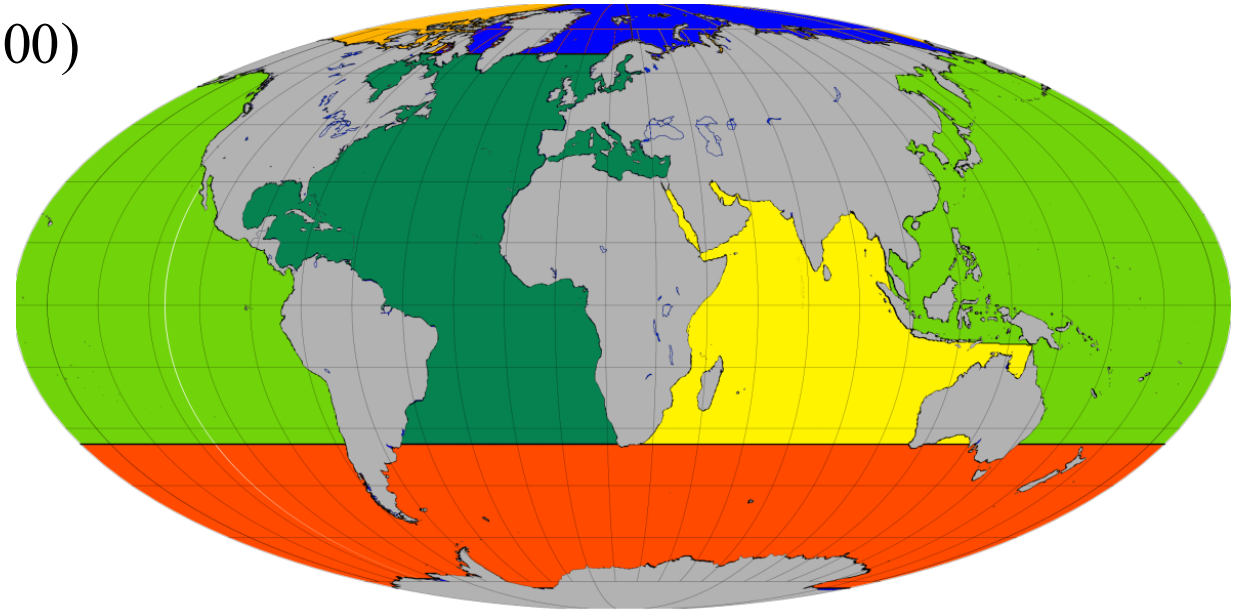
$A_{m\_bh} = \ 18\ 10^9\ м^4/с$

$A_h = 100\ м^2/с$

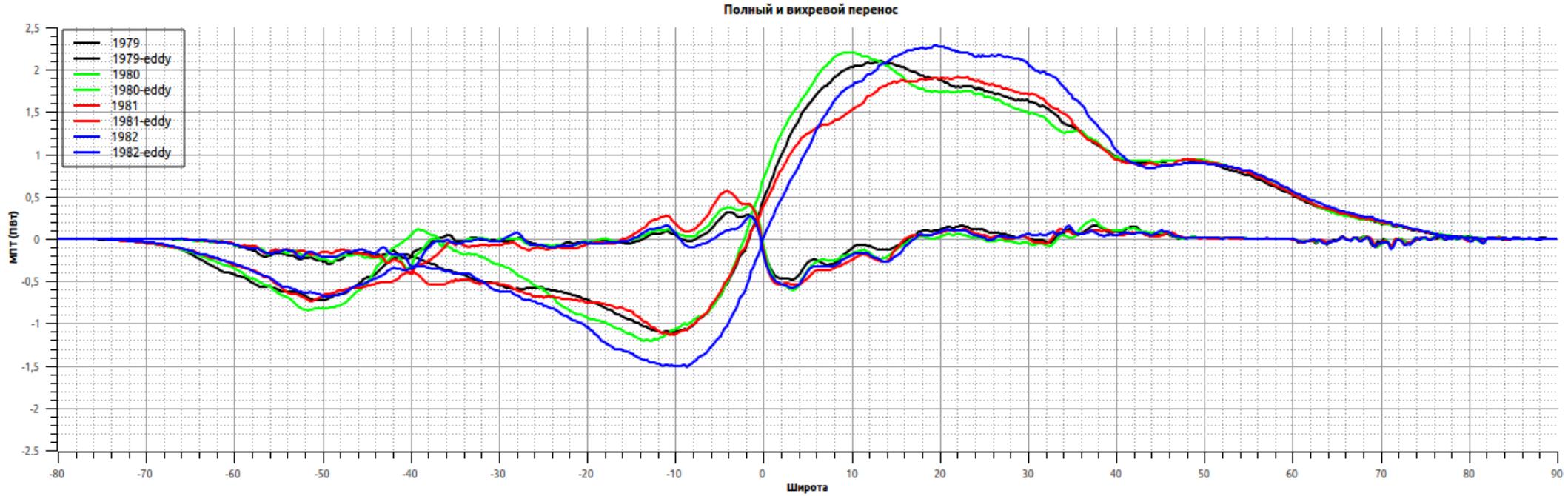
$dt = 4\ мин.$

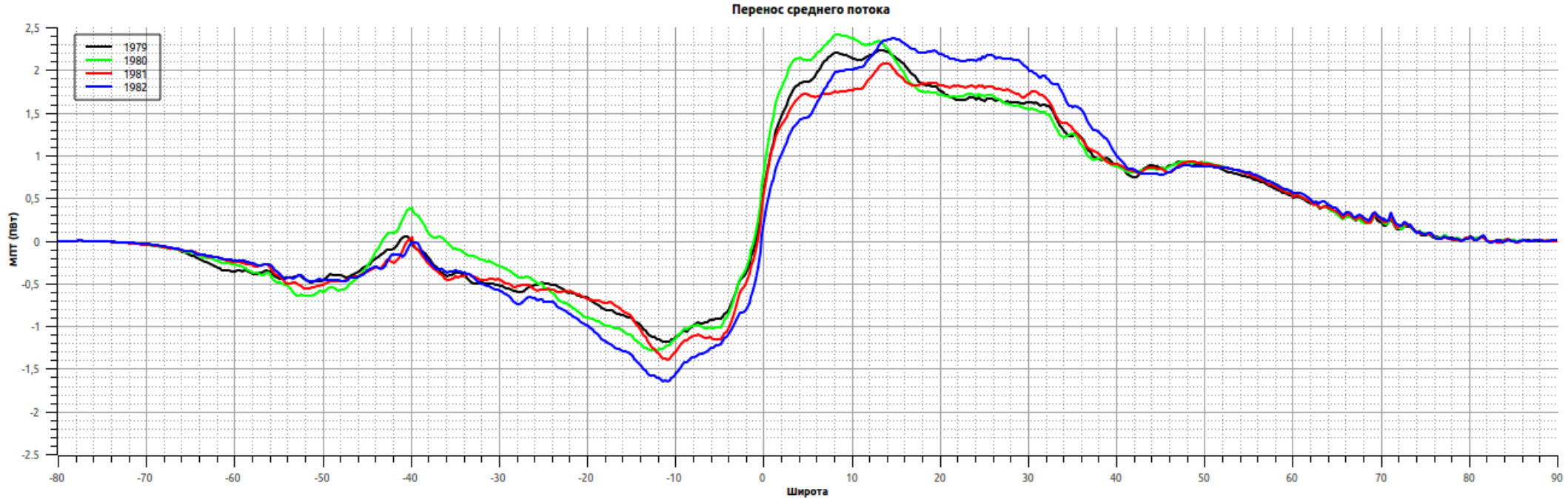
Граничные условия CORE - II

за 1978 - 1982 гг.

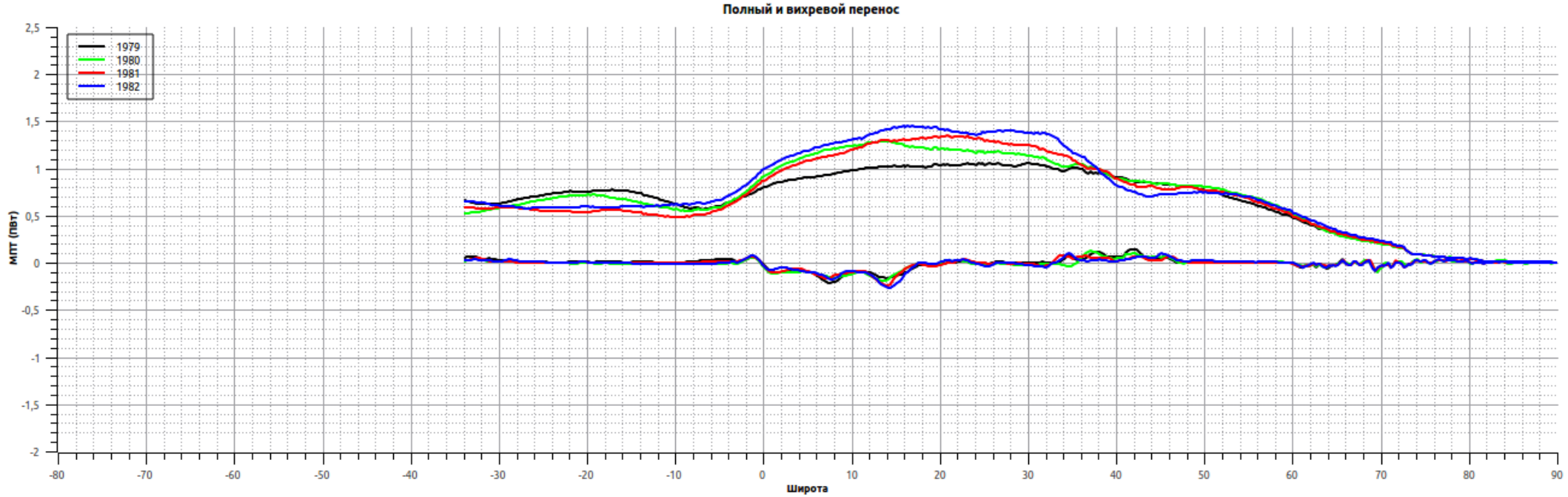


$$Q_E = \underbrace{\rho C_P \theta V dz dx}_{\text{полный явный МПТ}} \quad \underbrace{\rho C_P \langle\theta\rangle\langle V\rangle dz dx}_{\text{МПТ среднего потока}} \quad \underbrace{A_h \rho C_P \ \theta dz dx}_{\text{параметризованный вихревой МПТ}}$$

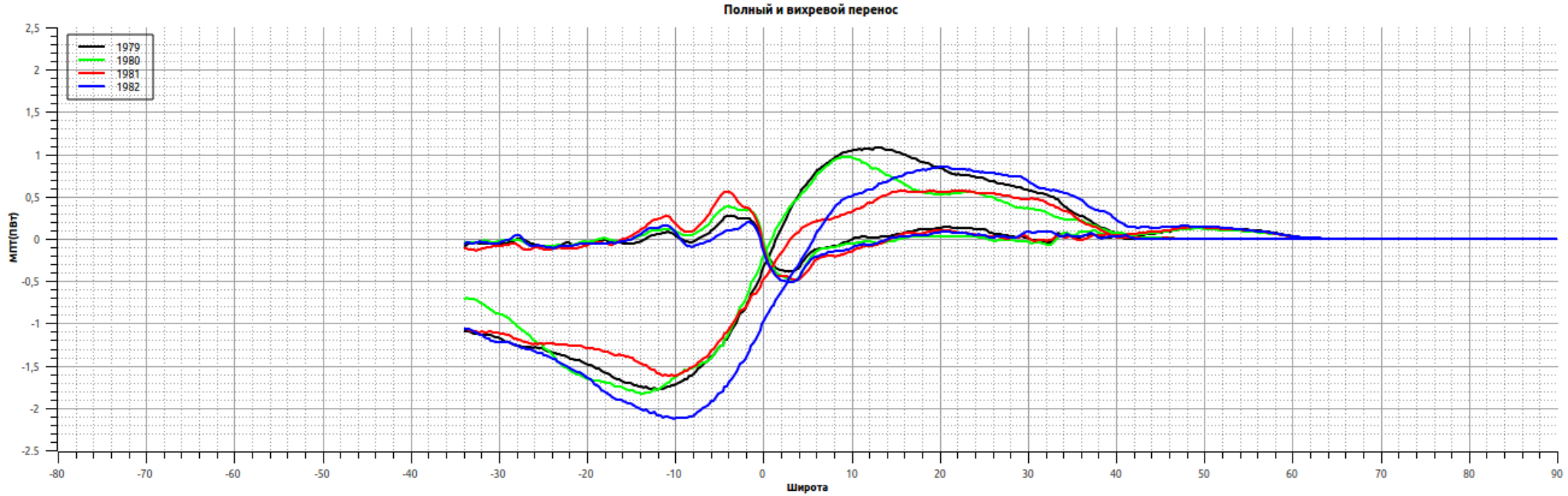


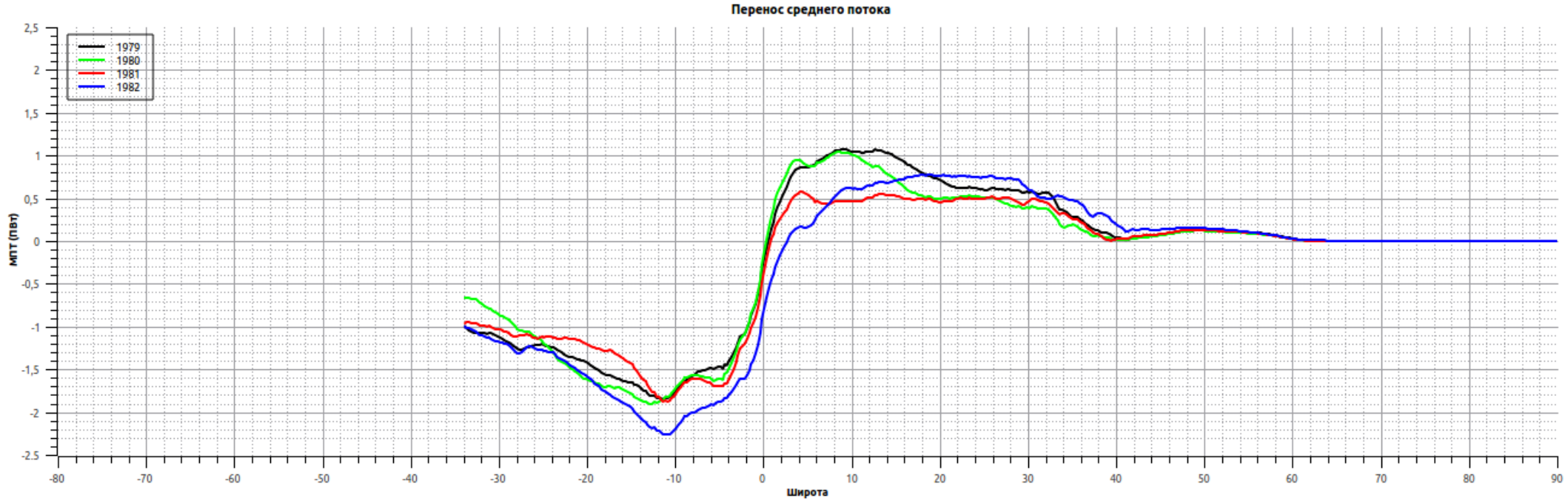


Мировой океан

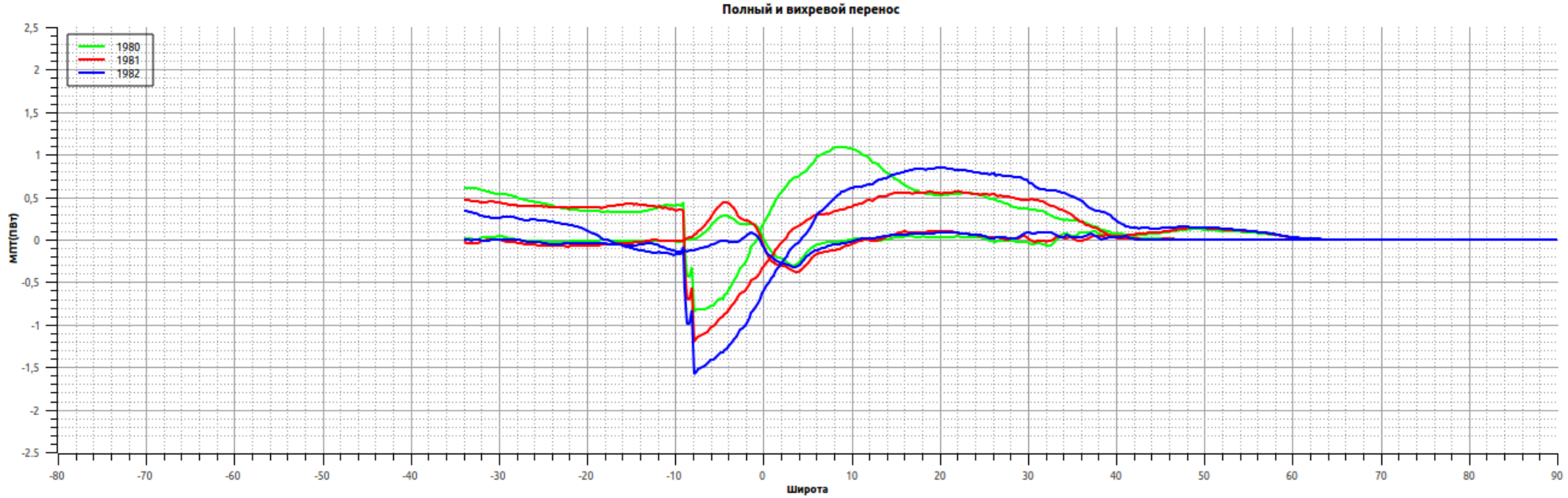


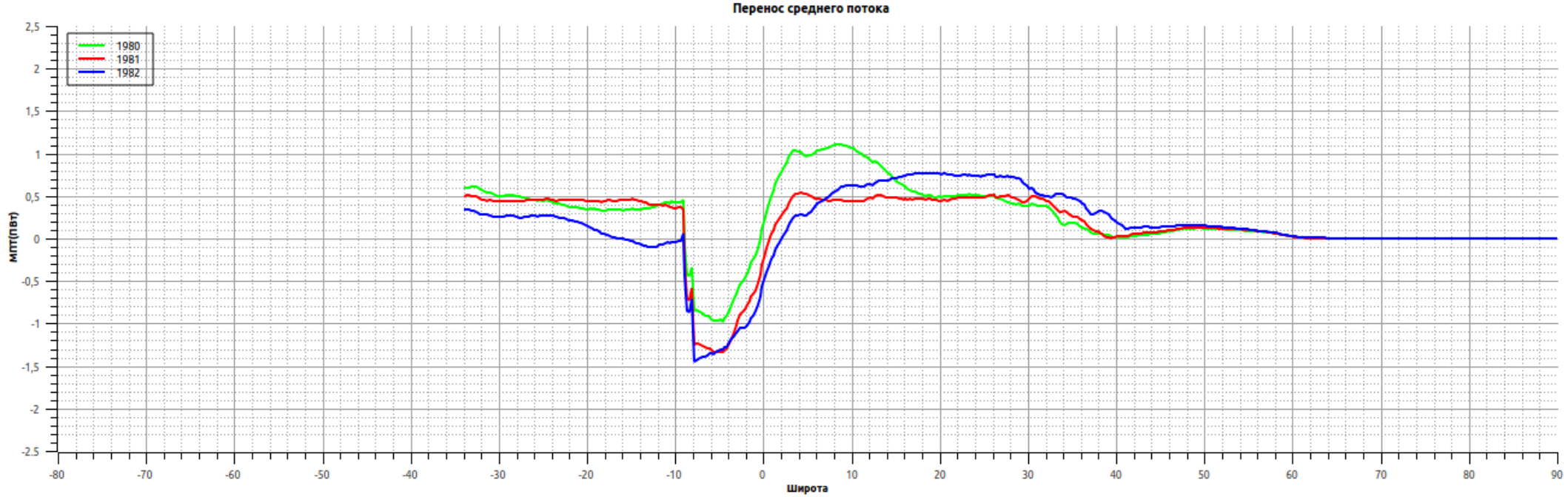
Атлантический океан



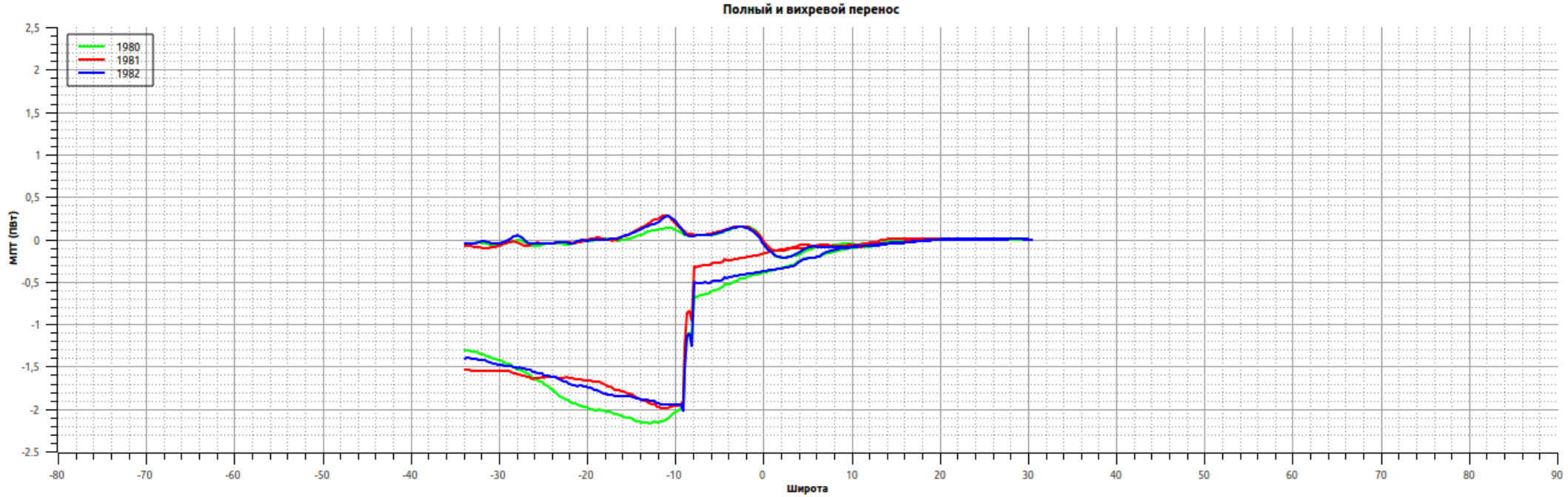


Индийский и Тихий океаны

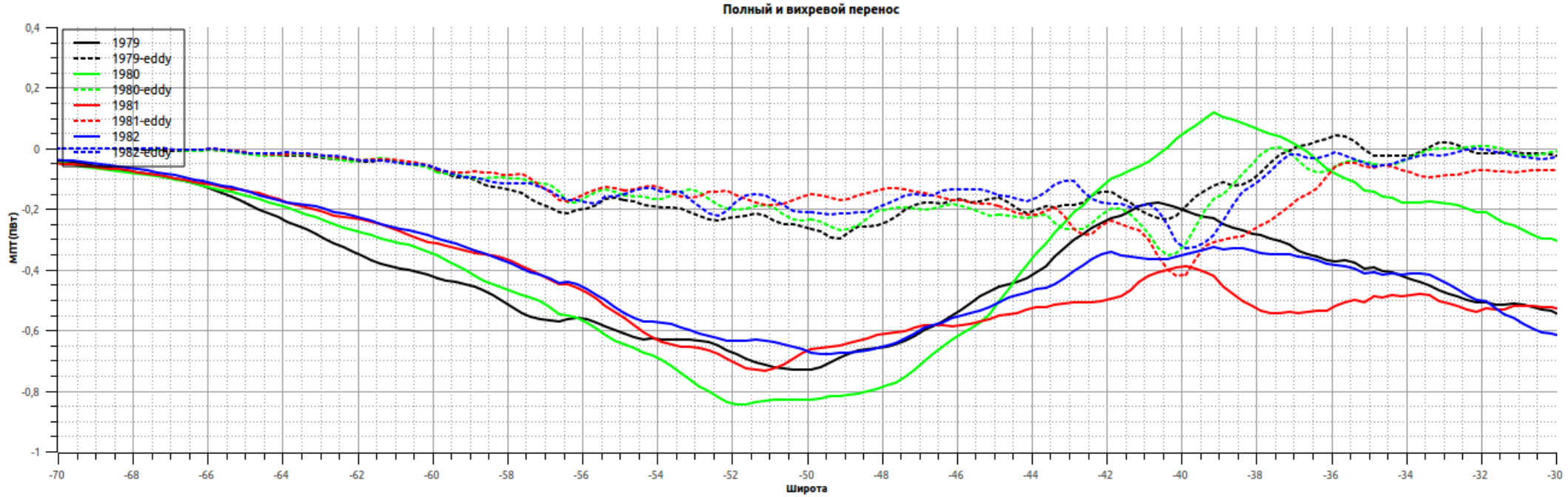

Полный и вихревой перенос
1980
1981
1982
млт(пвт)
Широта

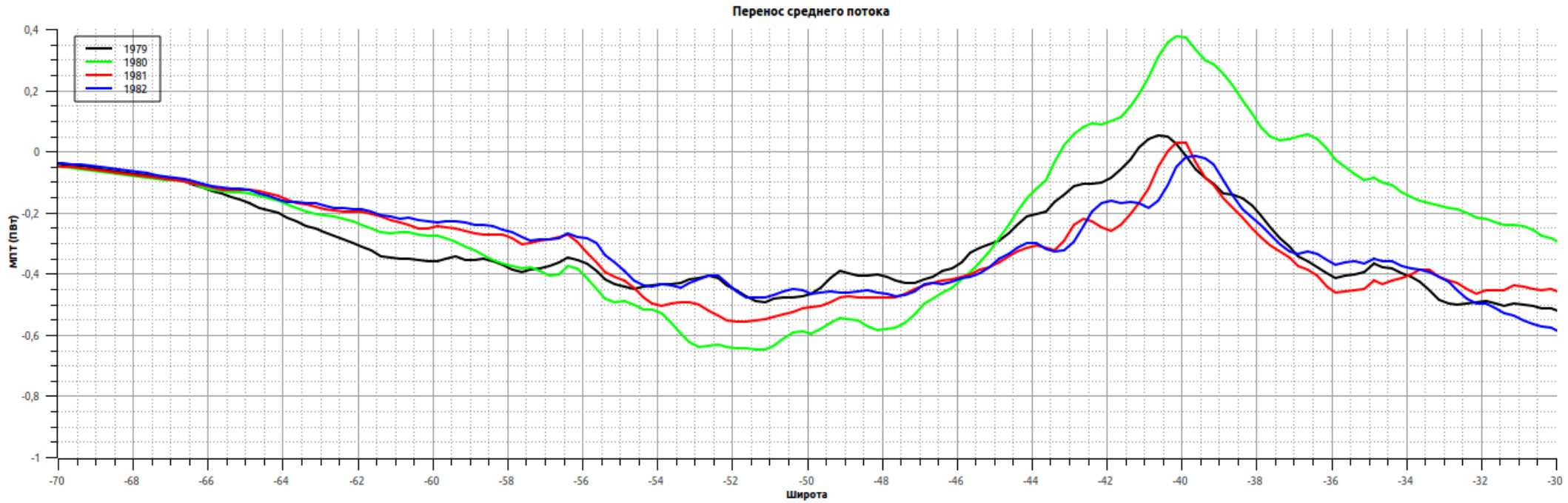

Перенос среднего потока
1980
1981
1982
млт(пвт)
Широта

Тихий океан

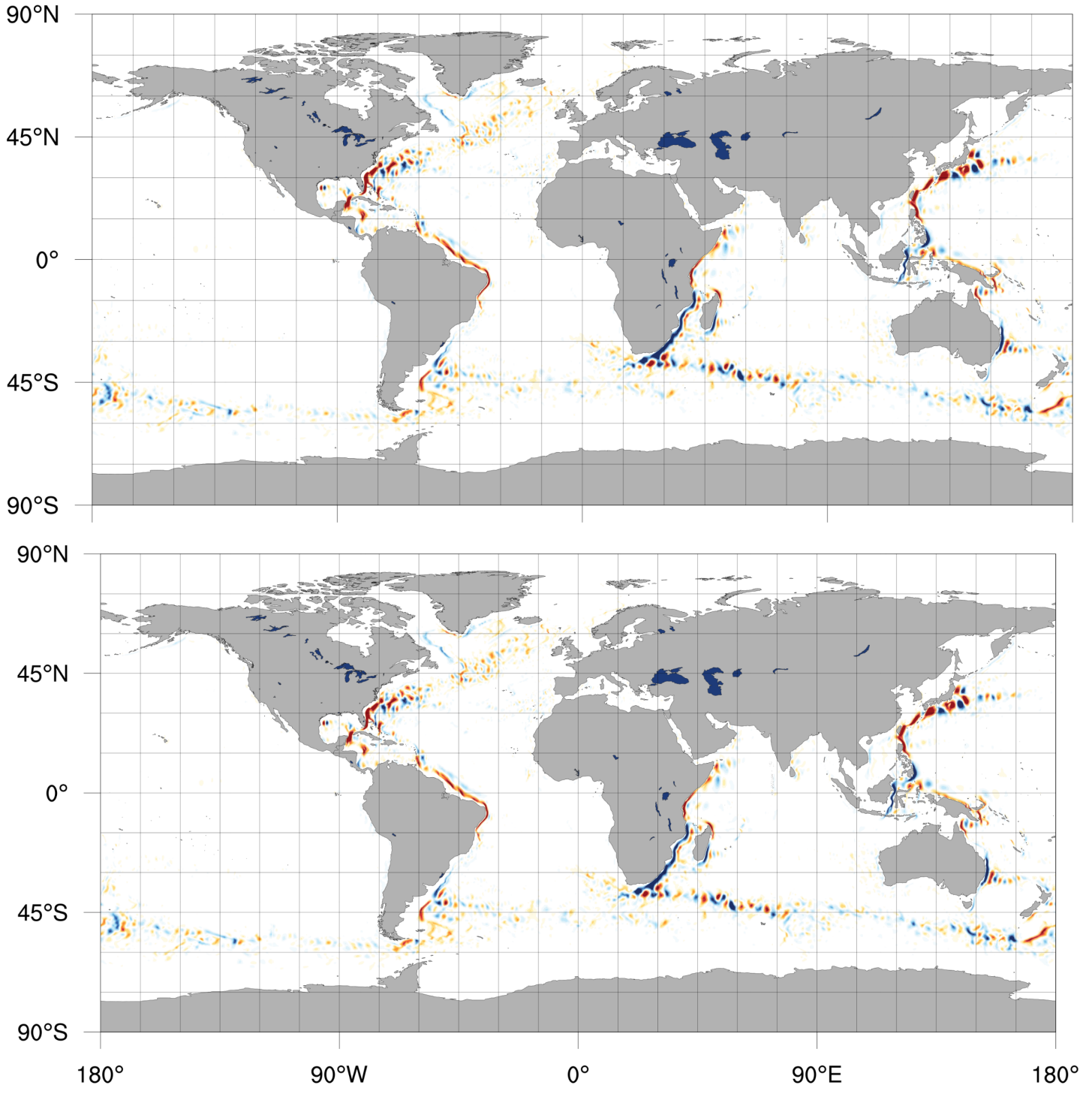


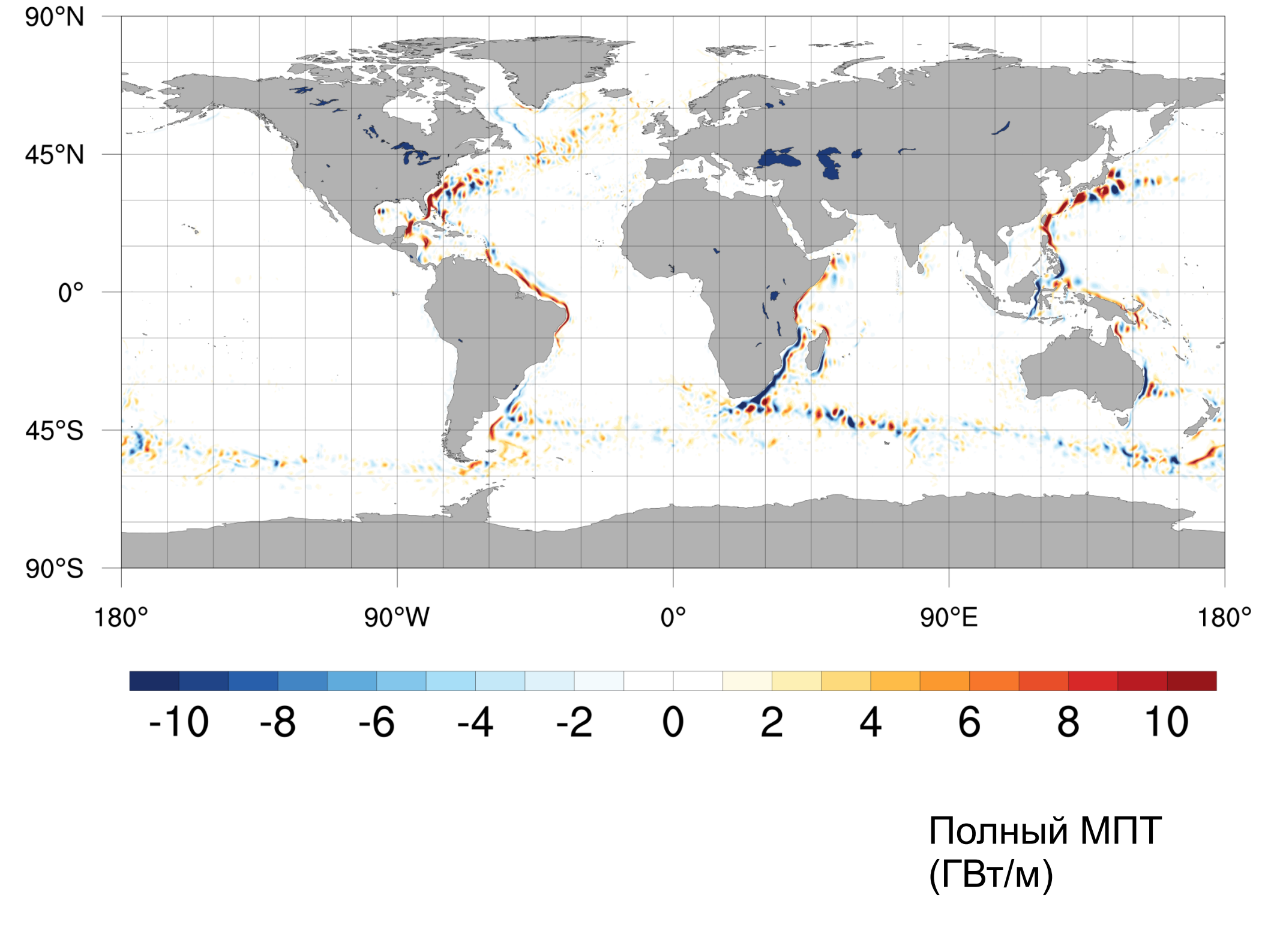
Индийский океан

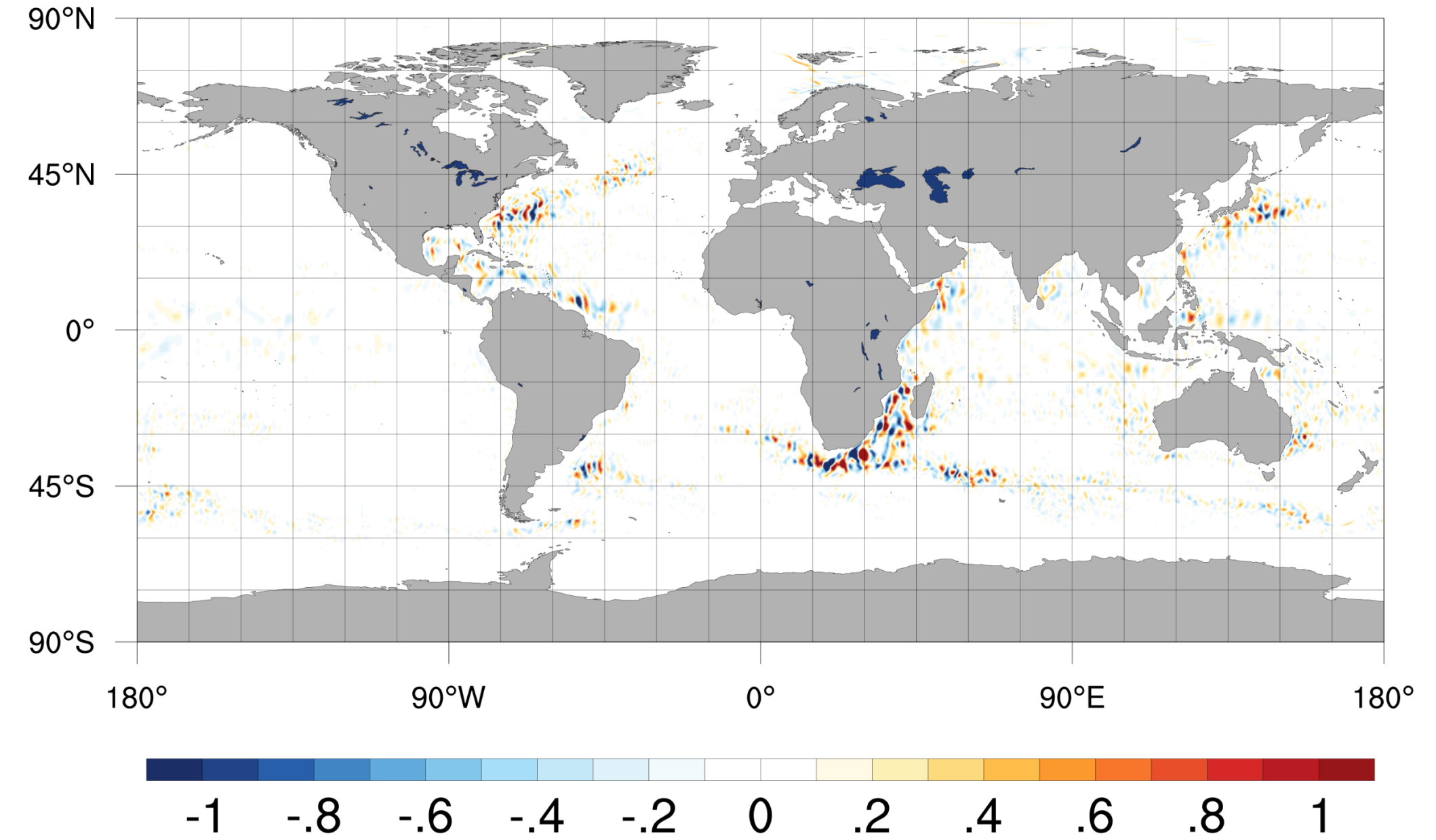

Полный и вихревой перенос
1979
1979-eddy
1980
1980-eddy
1981
1981-eddy
1982
1982-eddy
МПТ (ПВт)
Широта

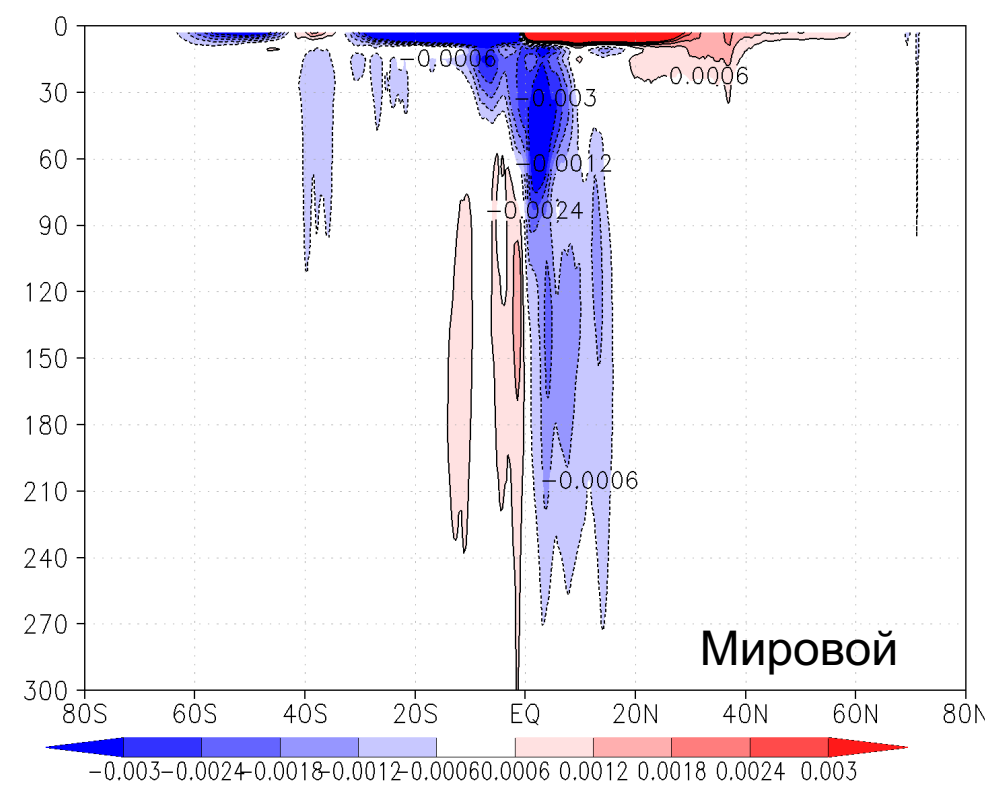

Перенос среднего потока
1979
1980
1981
1982
МПТ (ПВт)
Широта

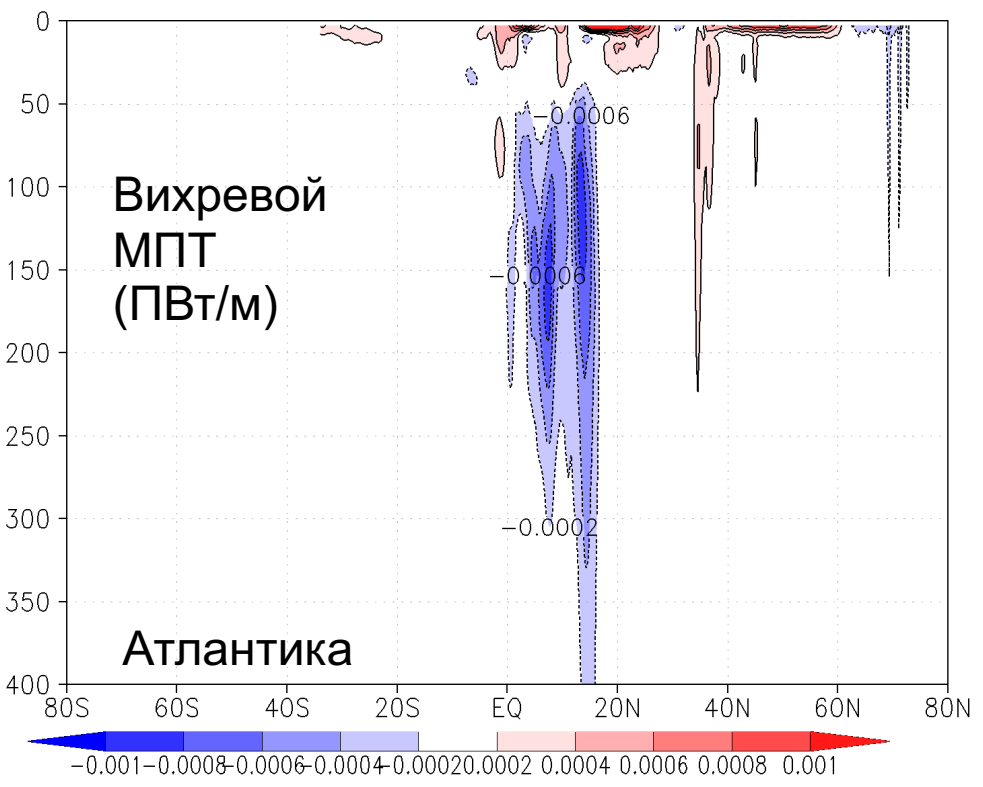
Южный океан

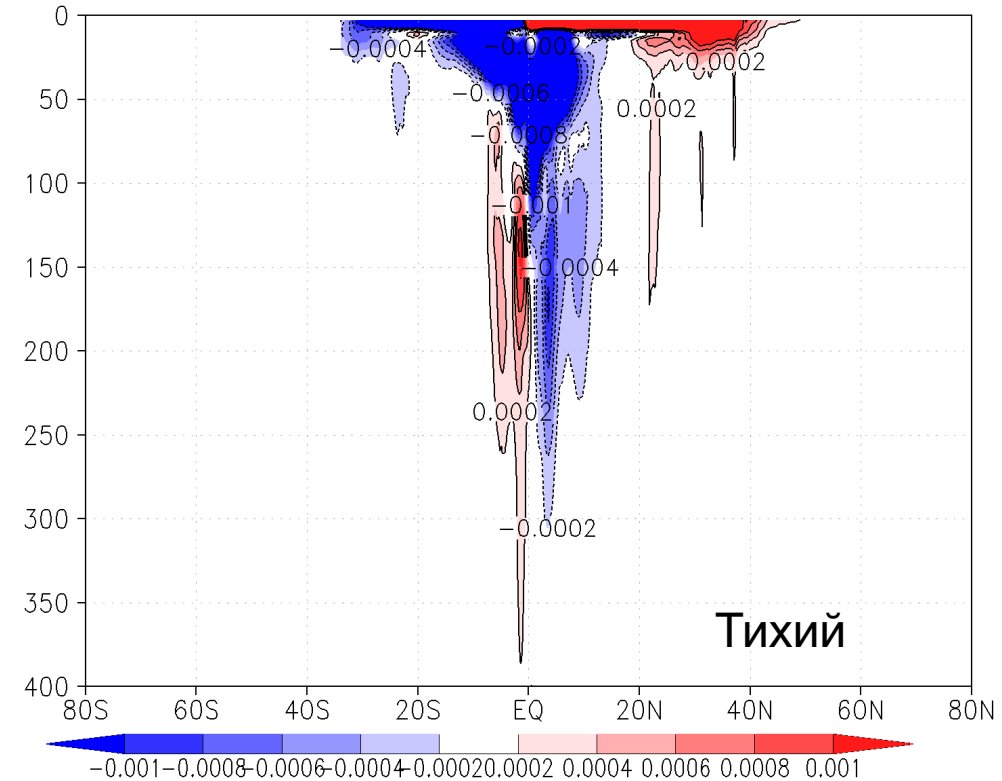

90°N
45°N
0°
45°S
90°S
90°N
45°N
0°
45°S
90°S
180°
90°W
0°
90°E
180°
-10
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10

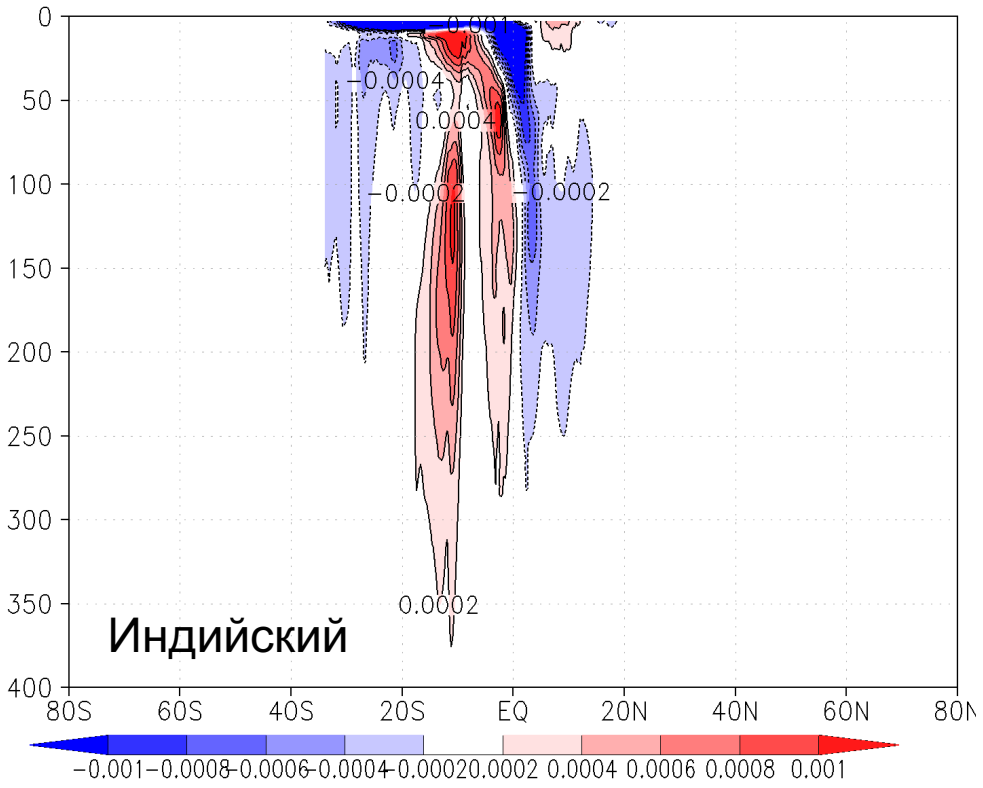

90°N
45°N
0°
45°S
90°S
180°
90°W
0°
90°E
180°
-10
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10
Полный МПТ
(ГВт/м)


90°N
45°N
0°
45°S
90°S
180°
90°W
0°
90°E
180°
-1
-.8
-.6
-.4
-.2
0
.2
.4
.6
.8
1
Вихревой МПТ
(ГВт/м)


Мировой
−0.0006
−0.003
−0.0012
−0.0024
0.0006
−0.0006
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300
80S 60S 40S 20S EQ 20N 40N 60N 80N
−0.003 −0.0024 −0.0018 −0.0012 −0.0006 0.0006 0.0012 0.0018 0.0024 0.003


Вихревой
МПТ
(ПВт/м)
Атлантика
−0.0006
−0.0006
−0.0002
0 50 100 150 200 250 300 350 400
80S 60S 40S 20S EQ 20N 40N 60N 80N
−0.001 −0.0008 −0.0006 −0.0004 −0.0002 0.0002 0.0004 0.0006 0.0008 0.001


Тихий
−0.0004
−0.0002
0.0002
−0.0006
0.0002
−0.0008
−0.001
−0.0004
0.0002
−0.0002
0 50 100 150 200 250 300 350 400
80S 60S 40S 20S EQ 20N 40N 60N 80N
−0.001 −0.0008 −0.0006 −0.0004 −0.0002 0.0002 0.0004 0.0006 0.0008 0.001


Индийский
−0.0004
−0.0004
−0.0002
−0.0002
0.0002
0 50 100 150 200 250 300 350 400
80S 60S 40S 20S EQ 20N 40N 60N 80N
−0.001 −0.0008 −0.0006 −0.0004 −0.0002 0.0002 0.0004 0.0006 0.0008 0.001

Спасибо за внимание!

ushakovkv@mail.ru

www.model.ocean.ru