

- О ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЕ
ФРОНТОВ И ИНТРУЗИЙ В
ЕВРАЗИЙСКОМ БАССЕЙНЕ И
БАССЕЙНЕ МАКАРОВА (АРКТИКА)



NATALIA KUZMINA¹, BERT RUDELS^{2, 3}, VICTOR ZHURBAS^{1,4} AND TAPANI STIPA²

**ON THE STRUCTURE AND DYNAMICAL FEATURES OF INTRUSIVE
LAYERING IN THE EURASIAN BASIN IN THE ARCTIC OCEAN**

JOURN. GEOPH. RES., VOL. 116, C00D11, [doi:10.1029/2010JC006920](https://doi.org/10.1029/2010JC006920), 2011

NATALIA KUZMINA¹, BERT RUDELS^{2, 3}, VICTOR ZHURBAS¹, TAPANI STIPA² AND NATALIA
ZHURBAS⁴

**ON THE STRUCTURE AND DYNAMICAL FEATURES OF INTERLEAVING IN
THE ARCTIC OCEAN**

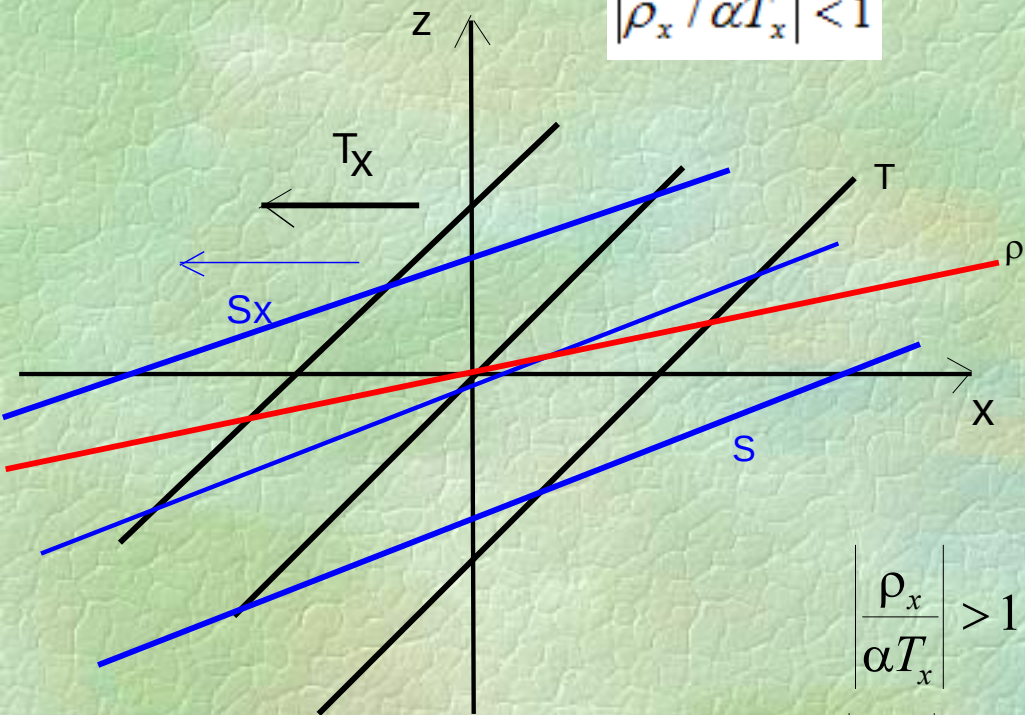
EGU, 2011

Н.П. Кузьмина, Н.В. Журбас

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ
СТРУКТУРЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТРОПИЧЕСКОЙ
АТЛАНТИКИ И ЕВРАЗИЙСКОГО БАСЕЙНА АРКТИКИ**

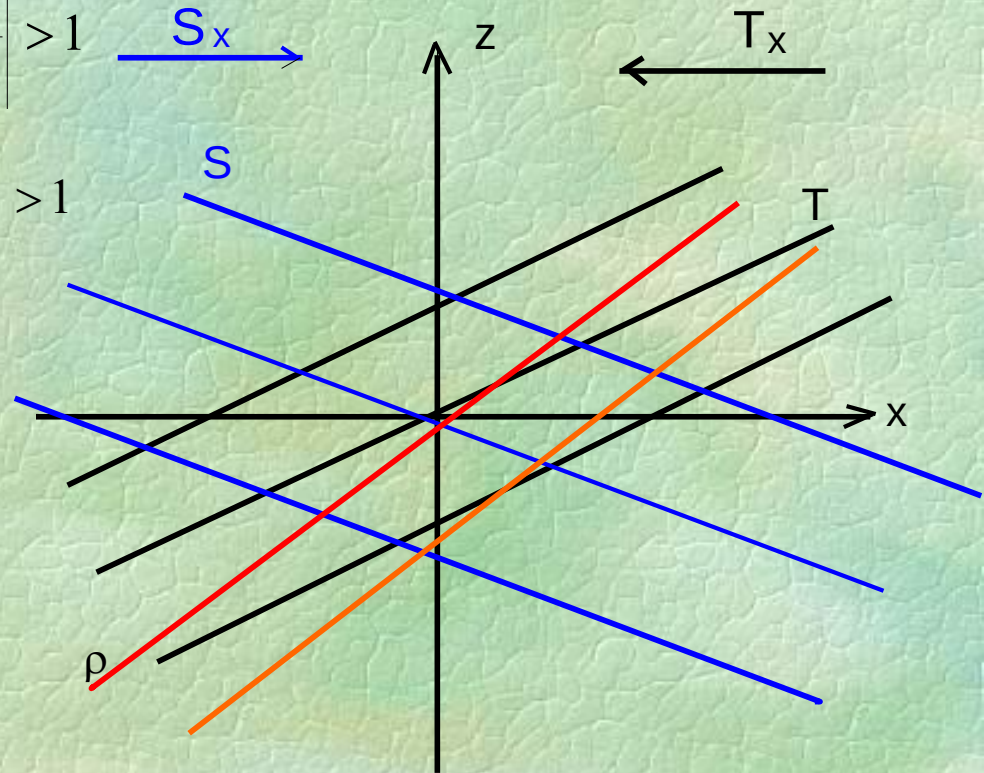
Метеорология и Гидрология, 2011, принята к печати

$$|\rho_x / \alpha T_x| < 1$$



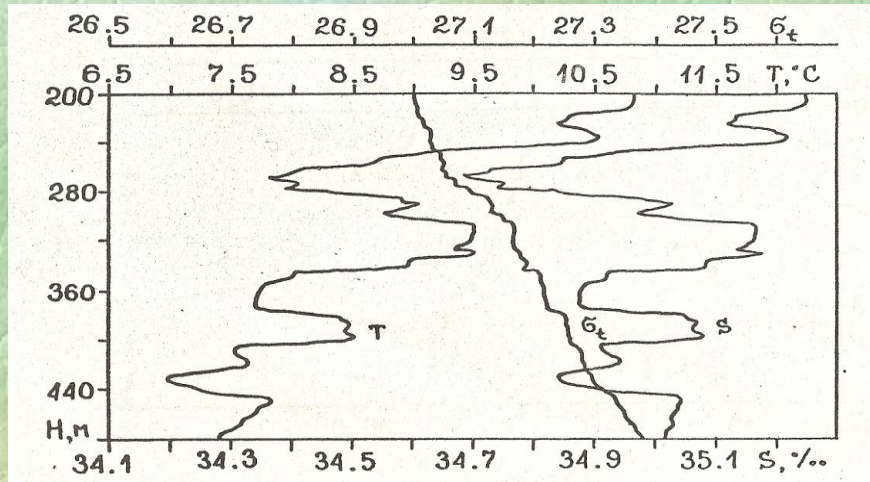
$$\left| \frac{\rho_x}{\alpha T_x} \right| > 1 \quad \xrightarrow{S_x}$$

$$\left| \frac{\rho_x}{\beta S_z} \right| > 1$$

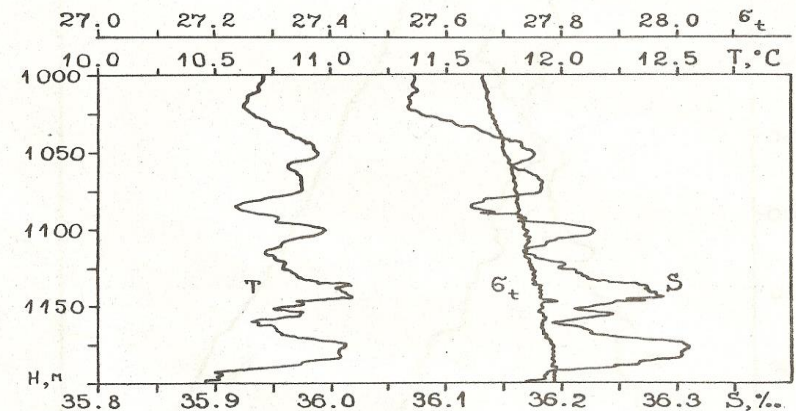


Некоторые примеры наблюдения интрузий в океане

1. Интрузионная структура при средней стратификации типа солевых пальцев (температура и соленость спадают с глубиной). Наблюдения выполнены в области фронтальной зоны Северо-Атлантического течения.



2. Интрузионная структура при средней стратификации типа послойной конвекции (температура и соленость увеличиваются с глубиной). Наблюдения выполнены в Северо – Восточной Атлантике в районе распространения Средиземноморской воды.





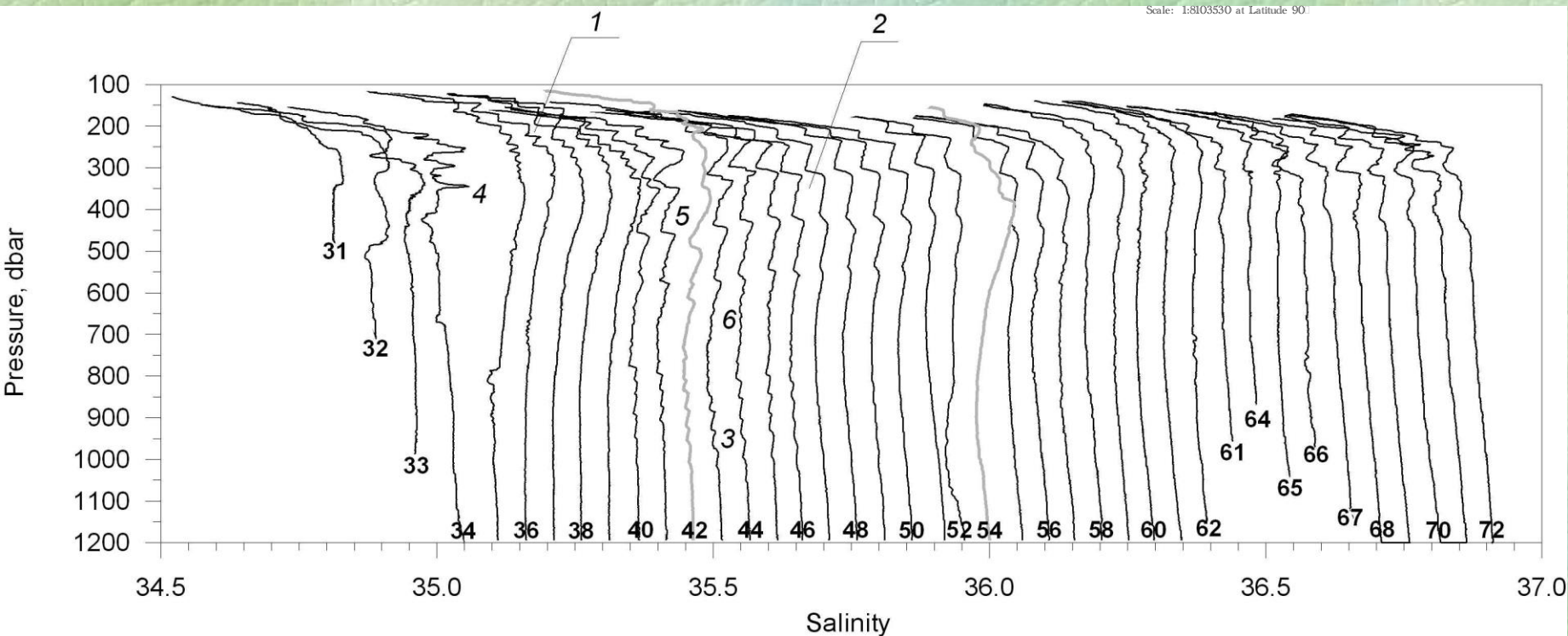
Карта циркуляции Атлантической воды в Арктическом бассейне (Rudels et al., 1994).

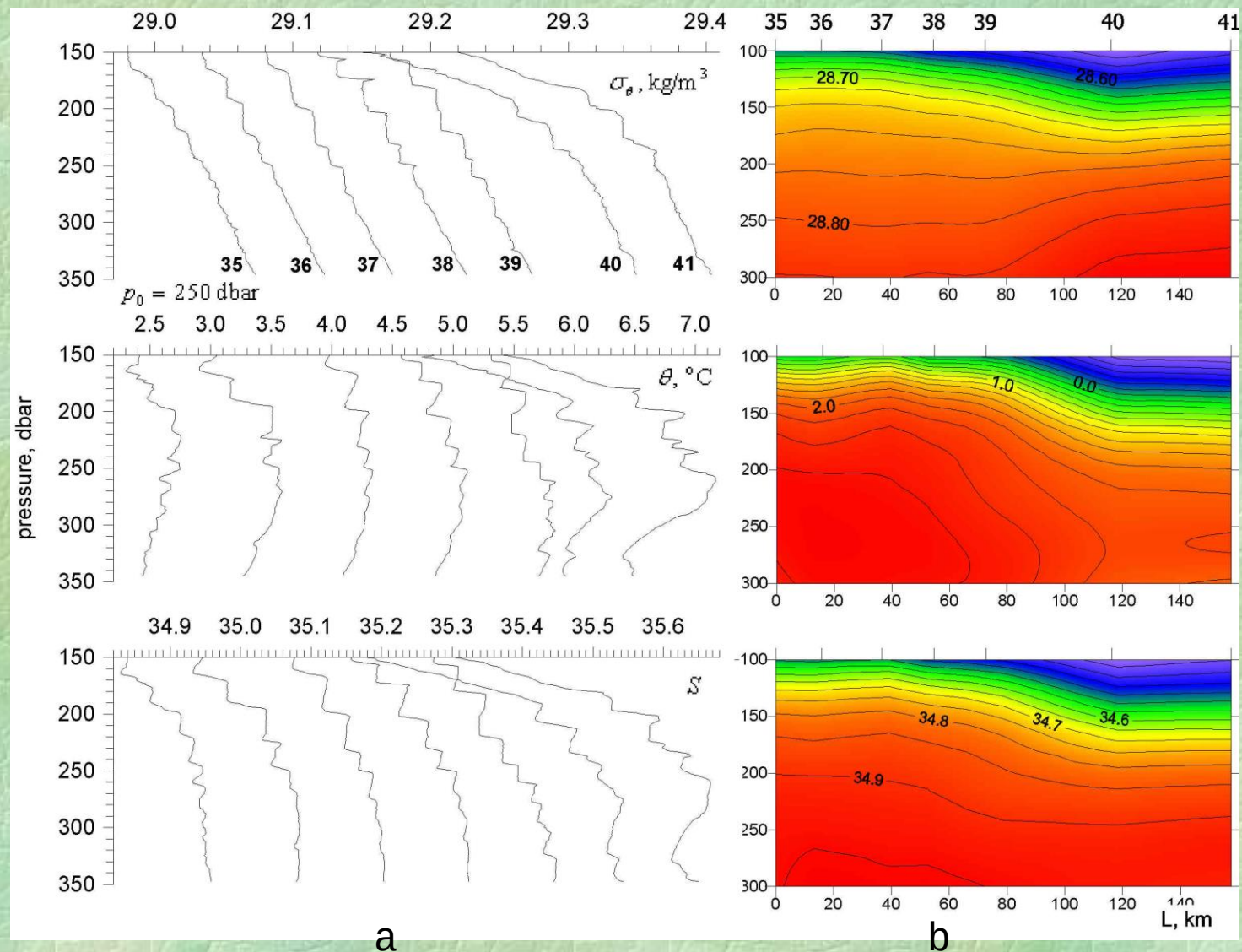


Scale: 1:8103530 at Latitude 90°

Географическое положение СТД-станций научных судов-ледоколов во время проведения международных полярных экспедиций «Polarstern» в 1996 (PS-96; треугольники), «Oden» в 1991 (Oden-91; ромбы) и «Louis S. St. Laurent» в 1994 (AO-94; кресты).

Последовательные профили солености (PS-96).
 Станции 31(первый профиль) – 72 (последний профиль).
 Станция 53 отсутствует. Номера показывают различные типы интрузий.

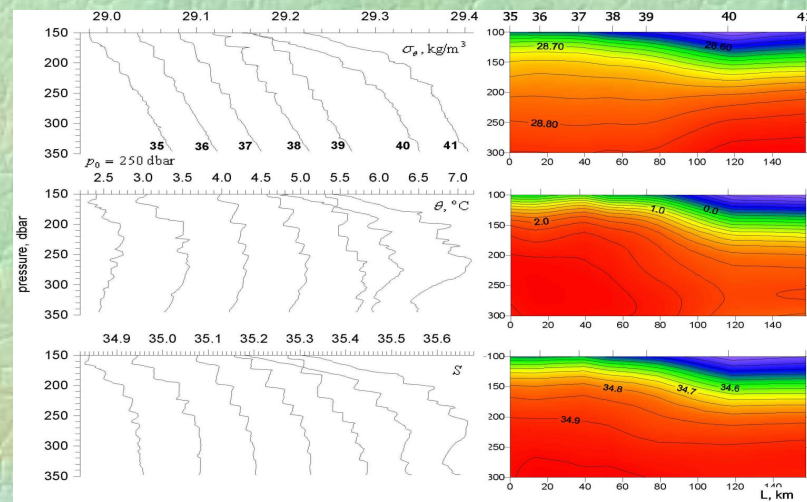




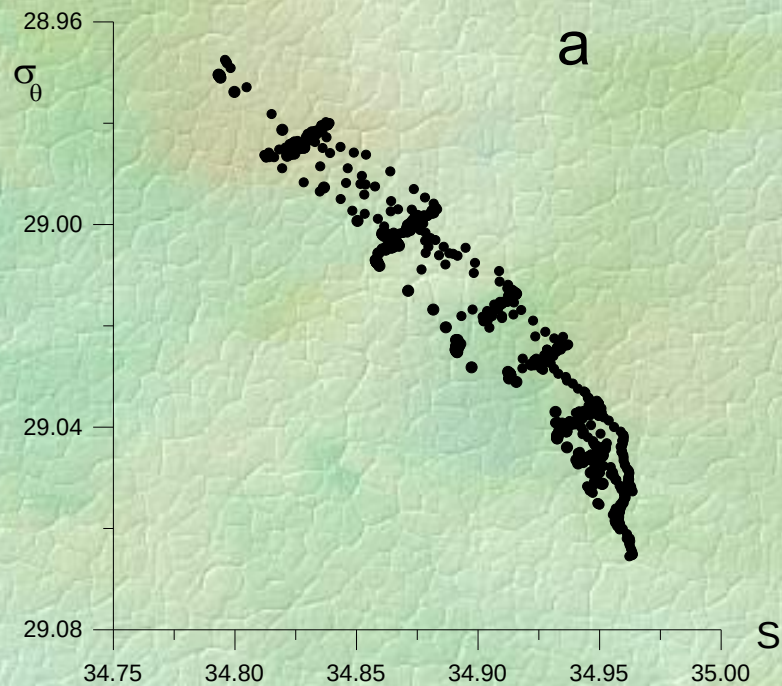
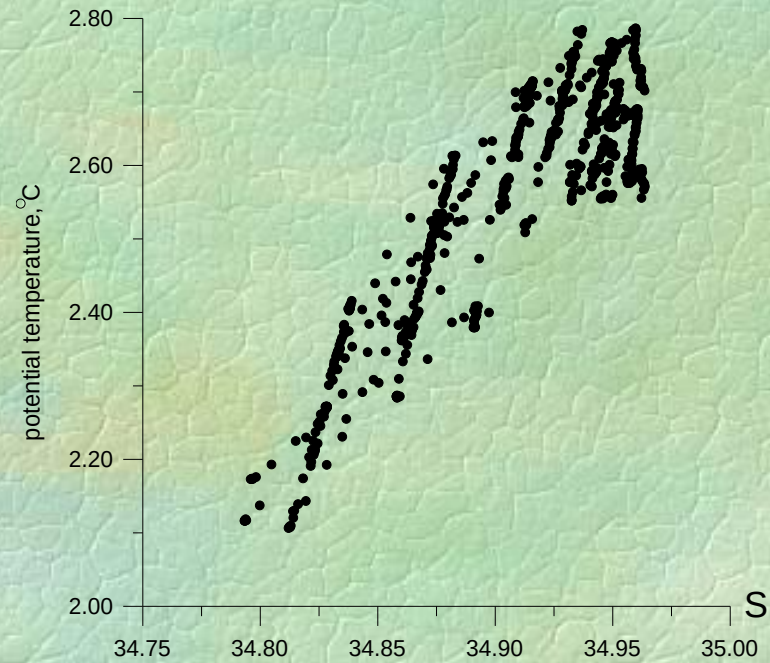
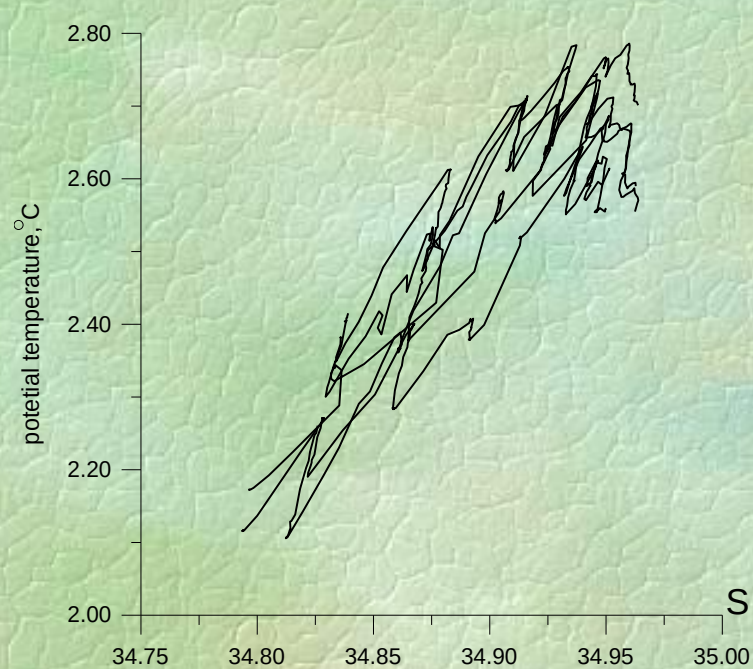
Последовательные CTD-профили (а) плотности (вверху), температуры (средний фрагмент) и солёности (внизу) и соответствующие средние термохалинные поля (б) в области верхнего слоя океана (PS-96). Номера около профилей (верхний фрагмент слева) обозначают номера станций. Расположение CTD-станций показано на разрезе среднего поля плотности (верхний фрагмент справа).

ФРОНТ ВЕРХНЕГО СЛОЯ

Гидрологические параметры, оцененные по ряду вертикальных профилей (ст. 37-39).



Z, m	R_{ρ_S}	N, s^{-1}	$\bar{S}_x \cdot 10^6, m^{-1}$	$\bar{T}_x \cdot 10^5, ^\circ C \cdot m^{-1}$	$\frac{\bar{\rho}_x}{\rho_0} \cdot 10^8, m^{-1}$	$\bar{S}_z, m^{-1}$	$\chi\delta = \frac{\bar{\rho}_x / \rho_0}{\alpha(1-\gamma)\bar{T}_x}$
110	2.04	0.0086	-2.9	-1.4	-0.14	-.018	1.6
150	1.95	0.0052	-1.4	-0.78	-0.043	-.0069	0.76
190	3.05	0.0034	-0.93	-0.68	-0.013	-.0022	0.25
230	2.78	0.0031	-0.89	-0.70	-0.0062	-.0019	0.11
270	6.95	0.0029	-0.4	-0.32	-0.0016	-.0013	0.06
310	-0.91	0.0030	-0.12	-0.12	-0.0012	-.0005	-0.13



T, S -диаграммы, представленные линиями (а) и точками (б), и σ_θ, S -диаграммы (в) для станций 35-39 (PS-96)

модель: (Kuzmina et al., 2005)

$$T_x = 10^{-5}$$

K_T	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-4}$
Pr = 1	$\lambda^* = 2.5 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.2$ $h^* \approx 15$	$\lambda^* = 2.25 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.12$ $h^* \approx 27$	$\lambda^* = 2.25 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.09$ $h^* \approx 35$	$\lambda^* = 2.25 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.08$ $h^* \approx 41$	$\lambda^* = 2.25 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.06$ $h^* \approx 49$	$\lambda^* = 2.2 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.05$ $h^* \approx 70$
Pr = 2	$\lambda^* = 1.8 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.16$ $h^* \approx 20$	$\lambda^* = 1.8 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.09$ $h^* \approx 33.6$	$\lambda^* = 1.8 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.07$ $h^* \approx 43.4$	$\lambda^* = 1.8 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.06$ $h^* \approx 52$	$\lambda^* = 1.8 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.05$ $h^* \approx 62$	$\lambda^* = 1.75 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.036$ $h^* \approx 87$

$$T_x = 2.5 \cdot 10^{-5}$$

K_T	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-4}$
Pr = 1	$\lambda^* = 5.6 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.3$ $h^* \approx 10$	$\lambda^* = 5.6 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.18$ $h^* \approx 17$	$\lambda^* = 5.6 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.14$ $h^* \approx 23$	$\lambda^* = 5.6 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.12$ $h^* \approx 26$	$\lambda^* = 5.6 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.1$ $h^* \approx 31$	$\lambda^* = 5.6 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.07$ $h^* \approx 43$
Pr = 2	$\lambda^* = 4.4 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.26$ $h^* \approx 12.2$	$\lambda^* = 4.4 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.15$ $h^* \approx 21.3$	$\lambda^* = 4.4 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.11$ $h^* \approx 27.6$	$\lambda^* = 4.4 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.095$ $h^* \approx 33$	$\lambda^* = 4.4 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.08$ $h^* \approx 39.3$	$\lambda^* = 4.4 \cdot 10^{-7}$ $m^* = 0.06$ $h^* \approx 55$

Максимальная скорость роста, соответствующее волновое число и вертикальный масштаб максимально неустойчивой моды, рассчитанные для средних градиентов, различных коэффициентов вертикальной диффузии тепла и чисел Прандтля. Все величины даны в системе СИ.

Диапазон изменения коэффициента диффузии тепла:
 $K_T = 3 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

Средняя оценка: $K_T \approx 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

Коэффициент боковой диффузии оценивался по формуле

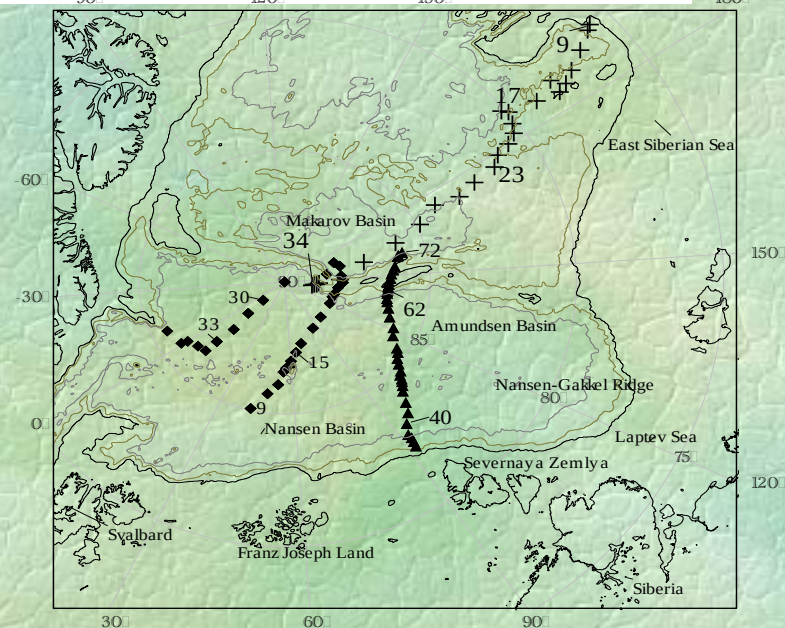
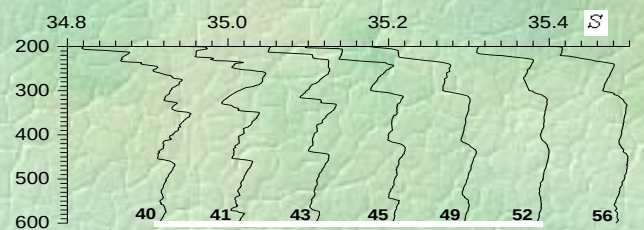
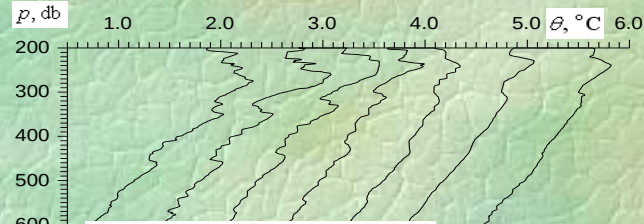
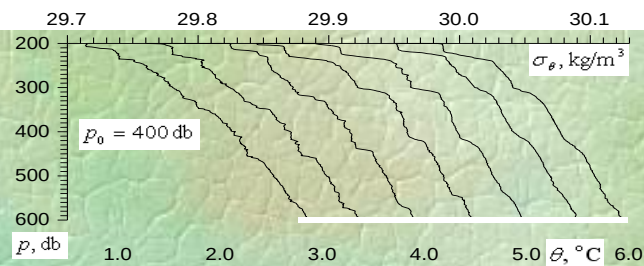
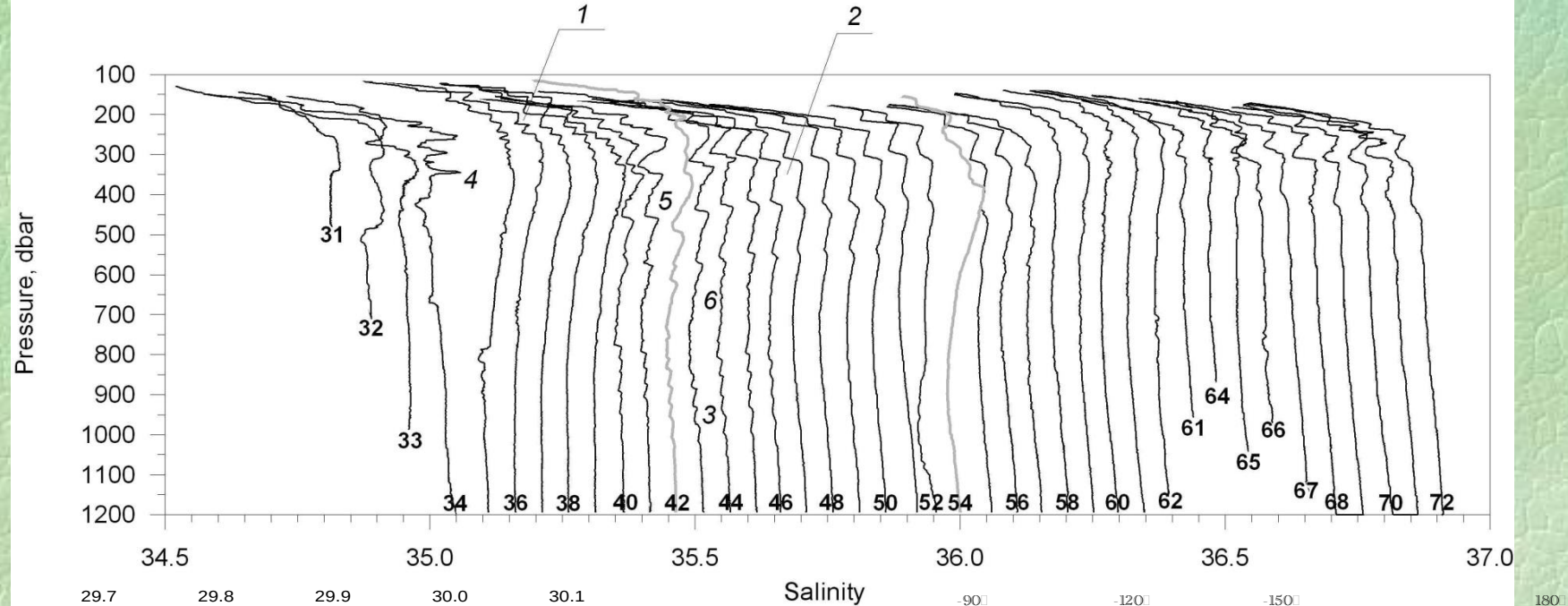
$$K_l = \lambda (d / 2)^2,$$

где λ скорость роста (например, *Edwards and Richards* [2003]).

Учитывая, что $\bar{\lambda}^* \approx 3 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$, получено: $K_l \approx 1.2 \cdot 10^2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

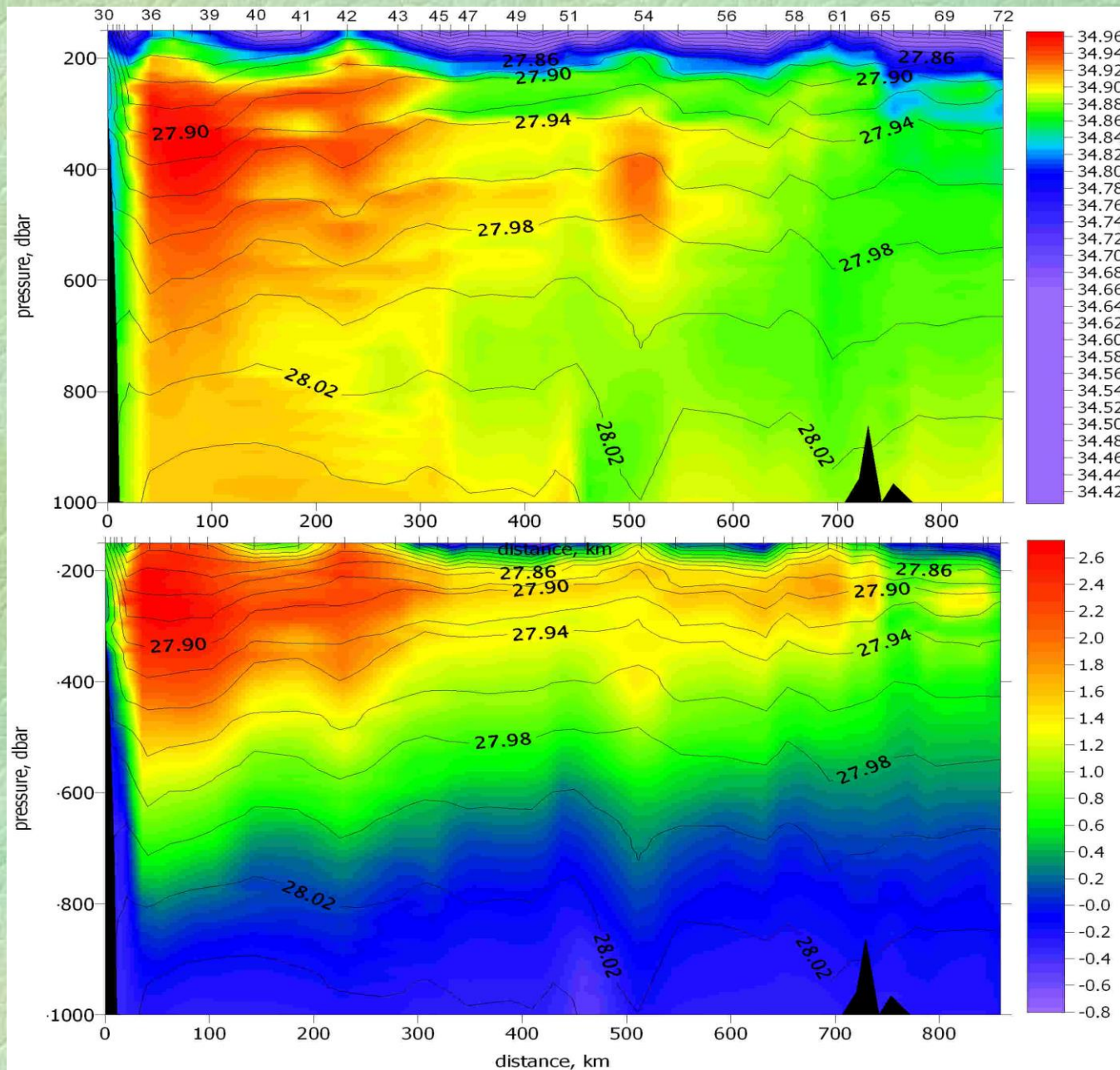
Вторая оценка коэффициента бокового обмена была получена по формуле Джойса (*Joyce* [1977]): $K_l = k_z \overline{T_z'^2} / \bar{T}_x^2$, где $\overline{T_z'^2}$ — средний квадрат амплитуды вертикального градиента температурных флуктуаций в тонкой термохалинной структуре.

Оценивая по эмпирическим данным $\overline{T_z'^2} \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^2 \text{ m}^{-2}$, $\bar{T}_x \approx 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C/m}$, и учитывая, что $k_z \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, было получено $K_l \approx 100 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

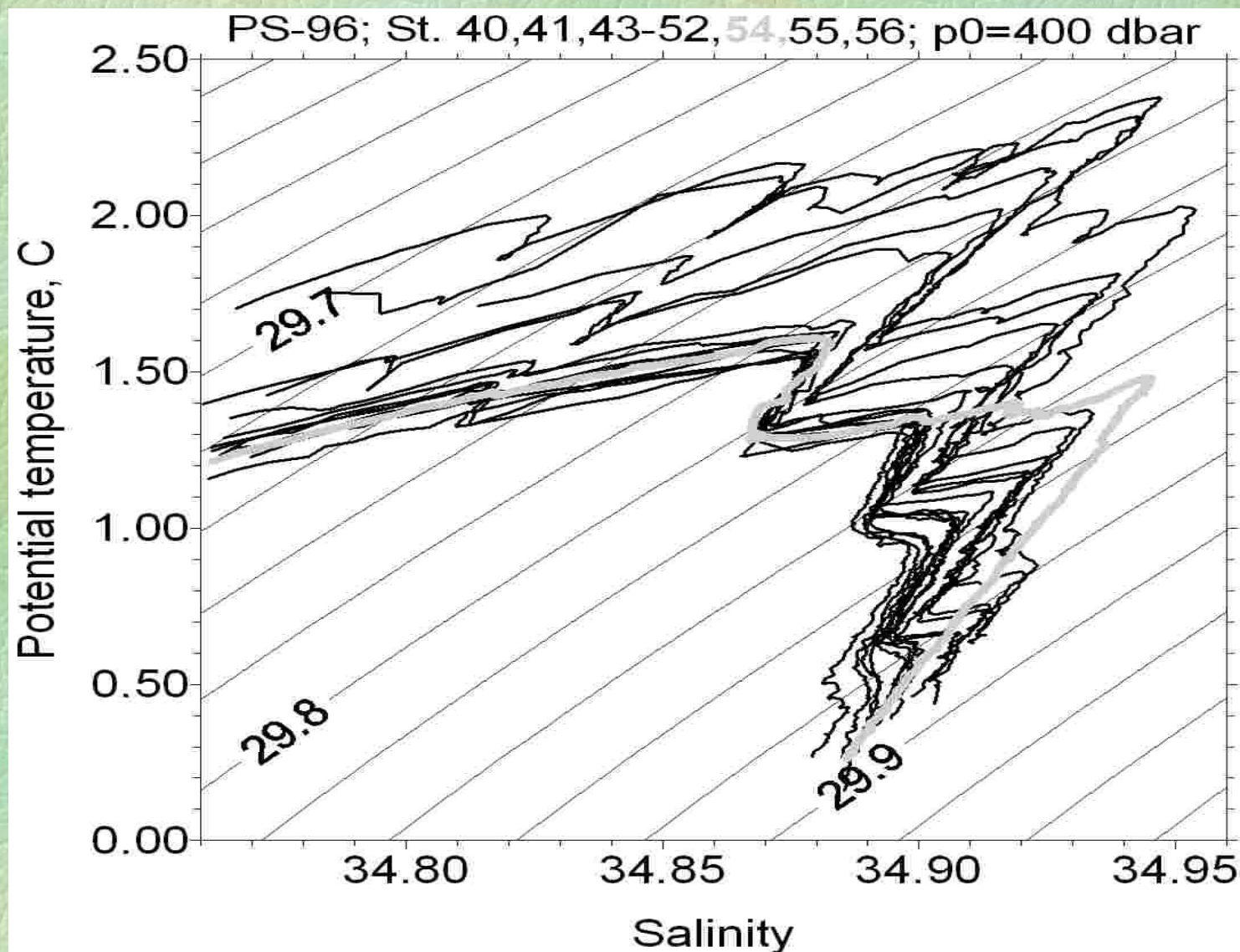


Scale: 1:8103530 at Latitude 90°

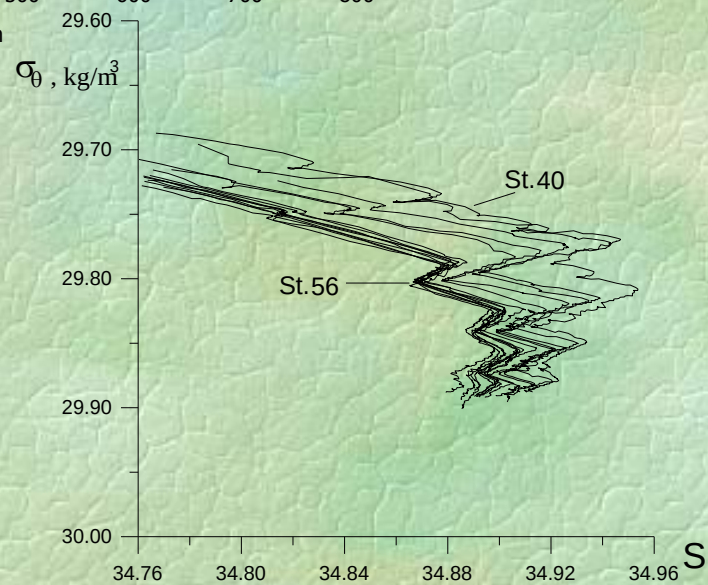
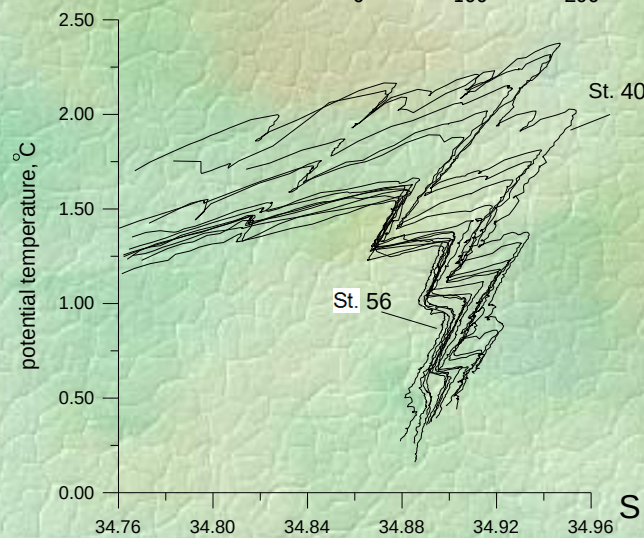
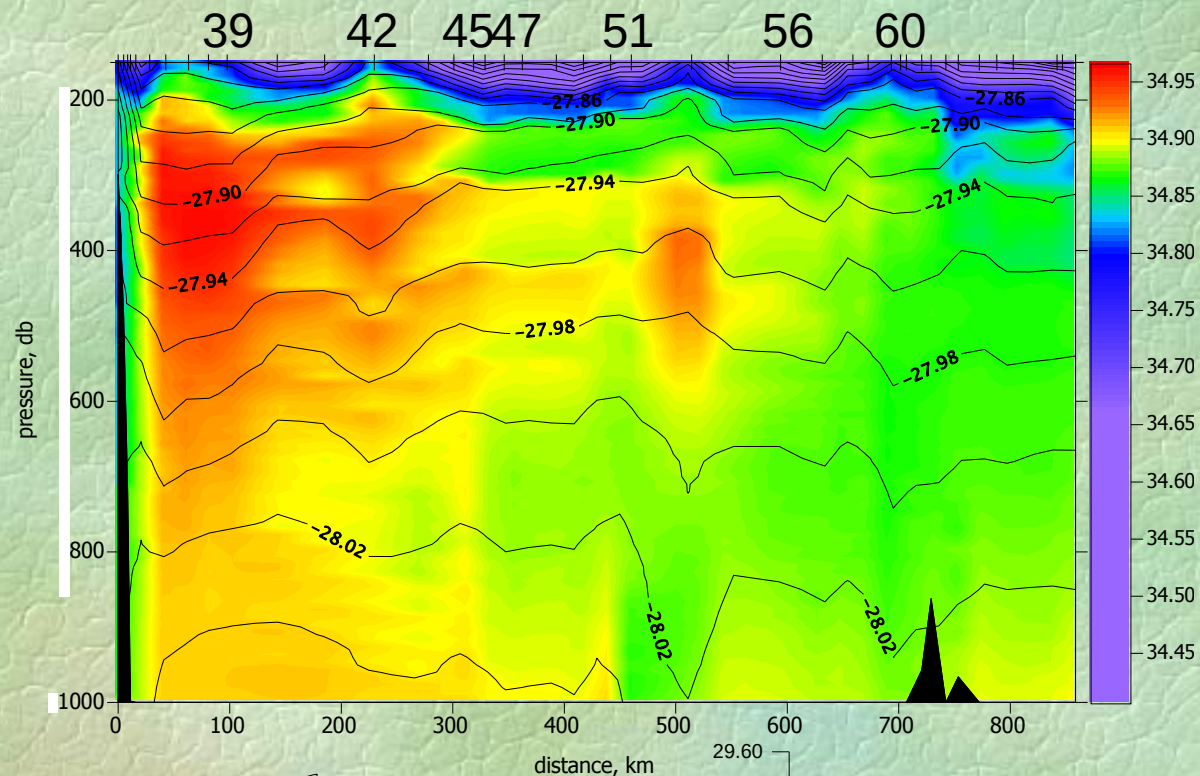
ИНТРУЗИИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ



Разрезы солёности (вверху) и температуры (внизу) и изолинии потенциальной плотности (ст.30-72)



ИНТРУЗИИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ



ТРИ ФРОНТАЛЬНЫЕ ЗОНЫ

(a)

Z, m	R_{ρ_T}	N, s^{-1}	$\bar{S}_x \cdot 10^6$ m^{-1}	$\bar{T}_x \cdot 10^5$ $^{\circ}C \cdot m^{-1}$	$\frac{\bar{\rho}_x}{\rho_0} \cdot 10^8$ m^{-1}	$\frac{\rho_x}{\alpha T_x}$	$\frac{\rho_x}{\beta S_x}$	$\gamma_{\rho} \cdot 10^4$	$\gamma_T \cdot 10^3$	$\gamma_S \cdot 10^4$
230	0.43	0.0044	-0.21	-0.30	6.4	-0.28	-0.38	0.26	-0.15	-0.47
270	0.30	0.0039	-0.21	-0.29	7.2	-0.31	-0.44	0.41	-0.36	-0.75
310	-0.10	0.0033	-0.18	-0.27	8.7	-0.38	-0.61	0.74	0.22	-1.4
350	-1.43	0.0029	-0.15	-0.25	8.9	-0.42	-0.73	1.3	0.42	-3.5
390	-7.52	0.0025	-0.13	-0.22	8.0	-0.43	-0.76	1.3	0.31	-13.0
430	111.74	0.0024	-0.11	-0.19	6.6	-0.42	-0.74	1.3	0.26	170
470	13.27	0.0023	-0.097	-0.16	5.2	-0.40	-0.67	1.2	0.22	17
510	7.98	0.0022	-0.087	-0.14	4.0	-0.36	-0.57	0.98	0.19	9.4
550	6.49	0.0022	-0.078	-0.12	2.9	-0.32	-0.47	0.78	0.16	7.0
590	5.60	0.0022	-0.072	-0.098	2.0	-0.26	-0.35	0.58	0.14	5.6
630	5.51	0.0021	-0.063	-0.080	1.2	-0.19	-0.23	0.37	0.12	5.1

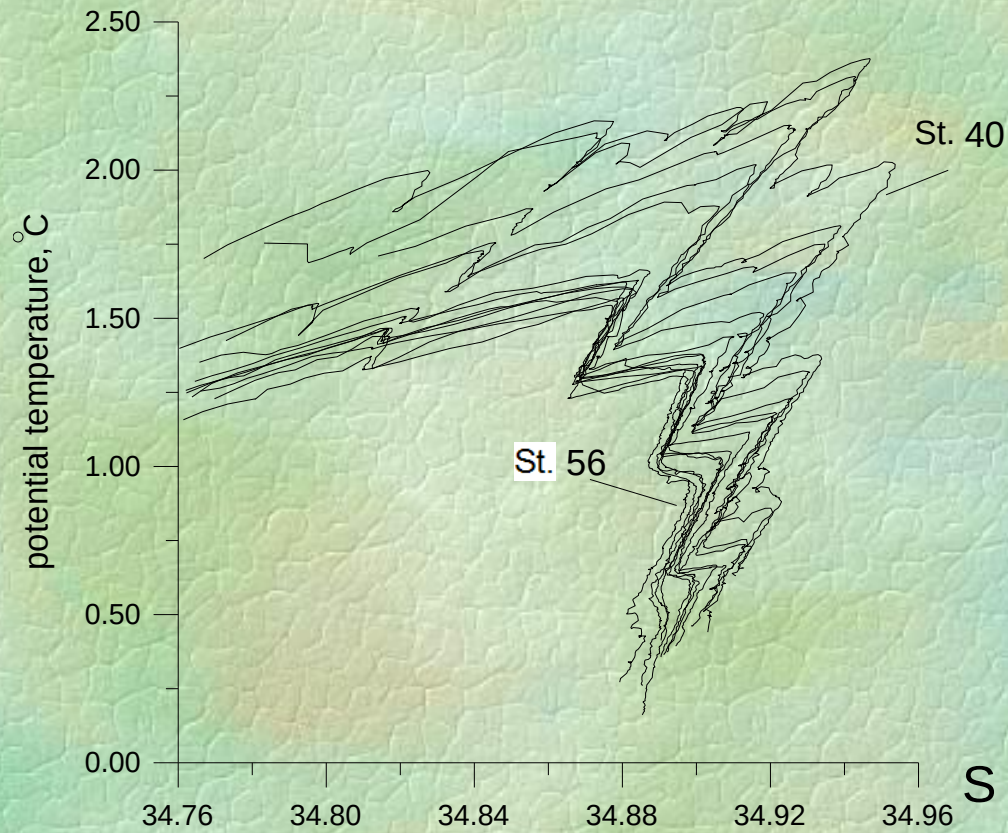
(б)

Z, m	R_{ρ_T}	N, s^{-1}	$\bar{S}_x \cdot 10^6$ m^{-1}	$\bar{T}_x \cdot 10^5$ $^{\circ}C \cdot m^{-1}$	$\frac{\bar{\rho}_x}{\rho_0} \cdot 10^8$ m^{-1}	$\frac{\rho_x}{\alpha T_x}$	$\frac{\rho_x}{\beta S_x}$	$\gamma_{\rho} \cdot 10^4$	$\gamma_T \cdot 10^3$	$\gamma_S \cdot 10^4$
230	0.4	0.0046	0.13	-0.028	13	-6.5	1.2	0.49	-0.014	0.30
270	0.31	0.0040	0.083	-0.05	11	-2.7	1.6	0.55	-0.051	0.28
310	0.06	0.0034	0.039	-0.07	8.6	-1.6	2.8	0.69	-0.68	0.25
350	-0.6	0.0028	0.008	-0.083	7.3	-1.1	11	0.94	0.22	0.13
390	-2.4	0.0025	-0.009	-0.091	6.5	-0.9	-9.4	1.2	0.17	-0.37
430	-7.9	0.0023	-0.02	-0.097	6.0	-0.8	-3.6	1.3	0.16	-2.7
470	38.9	0.0022	-0.03	-0.1	5.6	-0.7	-2.2	1.4	0.16	19
510	9.1	0.0022	-0.04	-0.11	5.3	-0.6	-1.7	1.4	0.16	5.3
550	6.35	0.0021	-0.04	-0.11	5.2	-0.6	-1.5	1.5	0.16	4
590	5.43	0.0020	-0.04	-0.11	5.1	-0.6	-1.6	1.7	0.16	3.4
630	5.78	0.0020	-0.03	-0.10	5.2	-0.7	-2.1	1.9	0.16	3.0

(а) - станции 40, 41, 43 -46

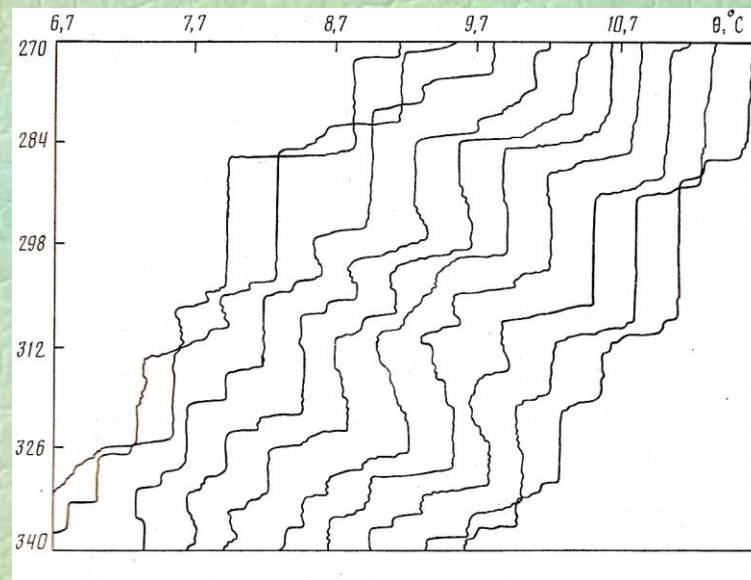
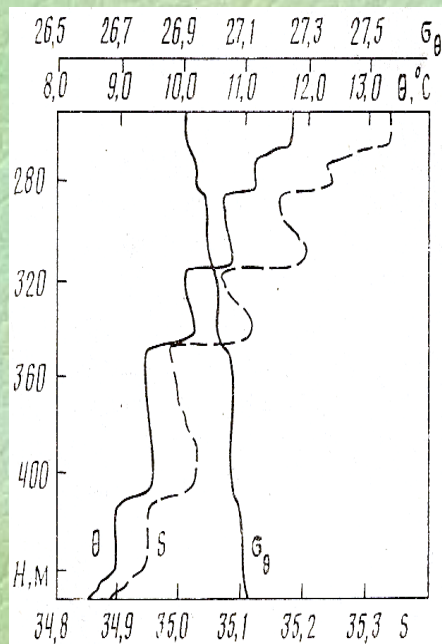
гидрологические параметры

(б) - станции 47-51



$$\frac{\alpha \bar{T}_l}{\beta \bar{S}_l} \approx \frac{\alpha \bar{T}_z}{\beta \bar{S}_z}$$

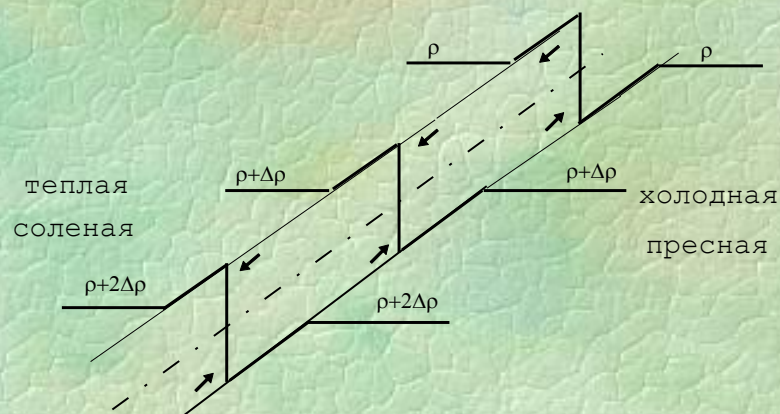
Почему возникают такие особенности на T,S -кривых?



Журбас, Озмидов, 1983

Северо-западная часть Тропической Атлантики

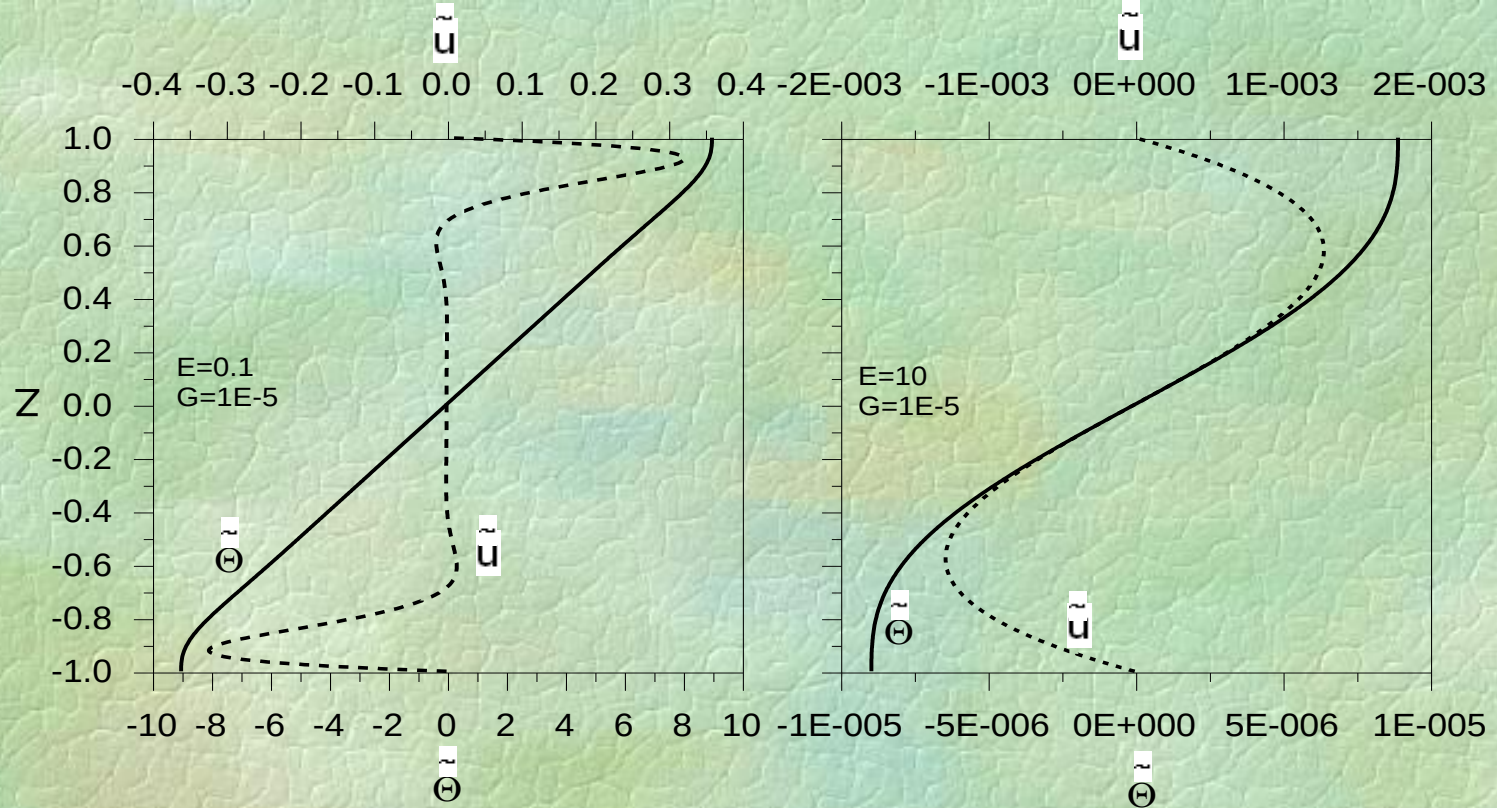
Журбас и др., 1990



Слой в Северо-западной части
Тропической Атлантики



Слой в Арктике



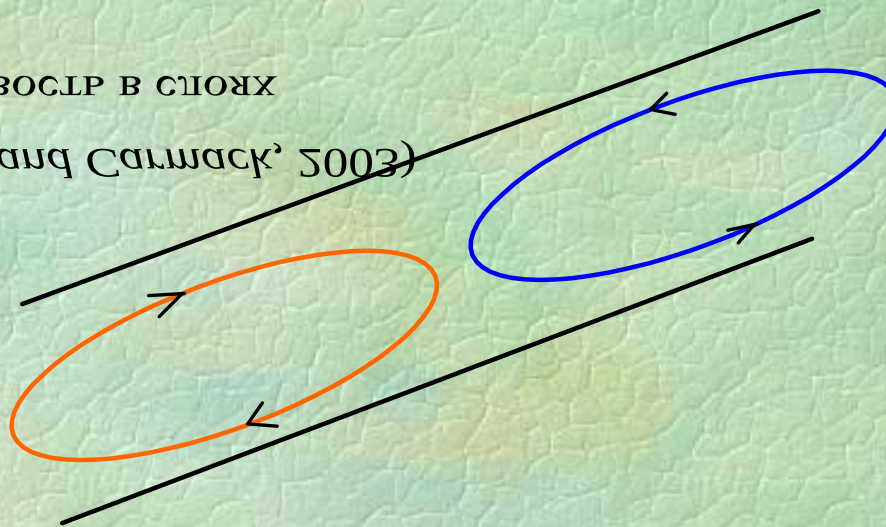
Для слоя в Арктике

$$E = 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ и } K = \frac{E^2 h^2 f}{4} \approx 4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$$

Для слоя в Атлантике

$$E = 0.56 \text{ и } K = 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$$

— вобранная неустойчивость в слоях
Волн и Кармьяк (Majda and Sammak, 2003)



Что же делать?
Лучше вернуться к прежней модели <?>



ТРЕХМЕРНЫЙ ПОДХОД: ОЦЕНКИ

$$K_T \approx 2.5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$$

$$K_{IT} \approx 60 \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$$