

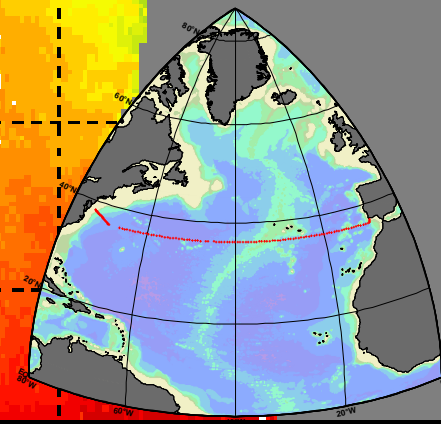
Четырнадцатая Всероссийская конференция  
"Современные проблемы дистанционного зондирования  
Земли из космоса"

Волновой подъём вод  
над Срединно-Атлантическим хребтом  
в районе Азорского фронта

Мельников В.А.

Лаборатория морских течений,  
Институт океанологии РАН,  
[vmelnikov@ocean.ru](mailto:vmelnikov@ocean.ru)

15 ноября 2016 г.  
г. Москва, ИКИ РАН



# Волновой подъём вод над Срединно-Атлантическим хребтом в районе Азорского фронта

Мельников В.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия*

*E-mail: [vmelnikov@ocean.ru](mailto:vmelnikov@ocean.ru)*

## **Аннотация**

На основе гидрофизических измерений *in-situ*, полученных в апреле-июле 1980 г., в квадрате 27-37° с.ш., 27-40° з.д., в экспедиции Института океанологии РАН (31 рейс нис "Академик Курчатов"), с использованием современных спутниковых данных измерений температуры поверхности океана (Pathfinder, v.5, 1981-2007 гг.), аномалий уровня моря (Aviso, 1993-2015 гг.) и модели глубин океана ETOPO-1, рассматривается мезомасштабная изменчивость в области Азорского фронта, над Срединно-Атлантическим хребтом (САХ), к юго-западу от Азорских островов. Три (за двухмесячный период) последовательные гидрологические съёмки, инструментальные измерения течений и температуры на 13-ти автономных буйковых станциях, общей продолжительностью около 1,5 мес., оперативные разрезы верхнего 500-метрового слоя по ходу судна при помощи теряемых термозондов, а также моделирование процессов, позволили интерпретировать наблюдаемые над САХ пространственно-временные особенности поля температуры как полусуточные внутренние волны первой моды с горизонтальным масштабом длины волны ~120 км, распространяющиеся от оси хребта к юго-востоку. В поле температуры по спутниковым данным, на поверхности океана постоянно наблюдаются параллельные оси САХ полосы холодных вод, шириной порядка 100 км, протяжённостью до 500 км, которые вытянуты вдоль изолиний фаз полусуточной внутренней волны. Совместный анализ контактных и спутниковых данных показывает, что полосы возникают при подъемах глубинных вод, вызванных внутренней волной. Волновые апвеллинги оказывают существенное влияние на процессы смешения водных масс умеренных широт и субтропических вод в районе Азорского фронта.

**Ключевые слова:** полевые измерения, Срединно-Атлантический хребет, субтропический круговорот, водные массы, Азорский фронт, Азорское течение, мезомасштабная изменчивость, внутренние приливные волны, режимы обтекания рельефа дна, волновой апвеллинг, диапикническое перемешивание, спутниковые данные, температура поверхности океана, аномалии уровня моря, модель рельефа дна ETOPO1.

# Wave induced upwelling over Mid-Atlantic ridge near Azores front

Melnikov V.A.

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow 117997, Russia*

*E-mail: [vmelnikov@ocean.ru](mailto:vmelnikov@ocean.ru)*

## *Abstract*

On the basis of hydrophysical *in-situ* measurements, acquired in April-July 1980 in the square 27-37°N, 27-40°W, during Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences expedition (31 cruise of r/v "Akademik Kurchatov") with the use of modern satellite data of ocean surface temperature (Pathfinder, v5, 1981-2007), sea level anomalies (Aviso, 1993-2015) and ETOPO-1 model of ocean depths, mesoscale variability in the Azores front domain over the Mid-Atlantic ridge, south-west of the Azores, is considered. Three (for two months period) consecutive hydrological arrays, instrumental measurements of currents and temperatures acquired from 13 buoy stations, for a total period of about 1.5 months, upper 500-meter layer temperature sections along the vessel route by means of expendable bathythermographs, as well as the modeling of processes, allowed to explain the spatio-temporal characteristics of the temperature field observed over the Mid-Atlantic ridge as semidiurnal first mode internal waves with a wavelength horizontal scale ~ 120 km, propagating from the ridge axis to the south-east. In the satellite data of ocean surface temperature field, the cold water strips (100 km wide and 500 km long), were permanently observed, being stretched along the semidiurnal internal wave phase contours parallel to the ridge axis. Joint analysis of the contact and remote sensing data shows that these cold bands arise due to the upwellings caused by the internal wave. Wave upwellings have a significant impact on the process of mixing of water masses of temperate latitudes and subtropical waters in the Azores front area.

**Keywords:** field measurements, Mid-Atlantic Ridge, subtropical gyre, water masses, Azores front, Azores Current, mesoscale variability, internal tidal waves, bottom topography flow regimes, wave upwelling, diapycnal mixing, satellite data, sea surface temperature, sea level anomalies, bottom topography ETOPO1 model.

## **Цель работы**

Предметом работы является процесс развития волновых апвеллингов, наблюдающихся в поле температуры поверхности океана над Срединно-Атлантическим хребтом, в результате действия интенсивных полусуточных внутренних волн.

## **Данные**

Количественные оценки гидрофизических параметров получены на основе контактных измерений в области Азорского фронта (АФ), в 300-х милях к юго-западу от Азорских островов (временные ряды температуры и скорости течений на автономных буйковых станциях, гидрологические съёмки и разрезы, выполненные при помощи различных буксируемых и теряемых зондов в экспедиции 31 рейс нис «Академик Курчатов», летом 1980 г.), а также с использованием спутниковых данных измерений ТПО Pathfinder, v.5, аномалий уровня моря Aviso и модели глубин океана ETOPO-1.

## **Методы обработки**

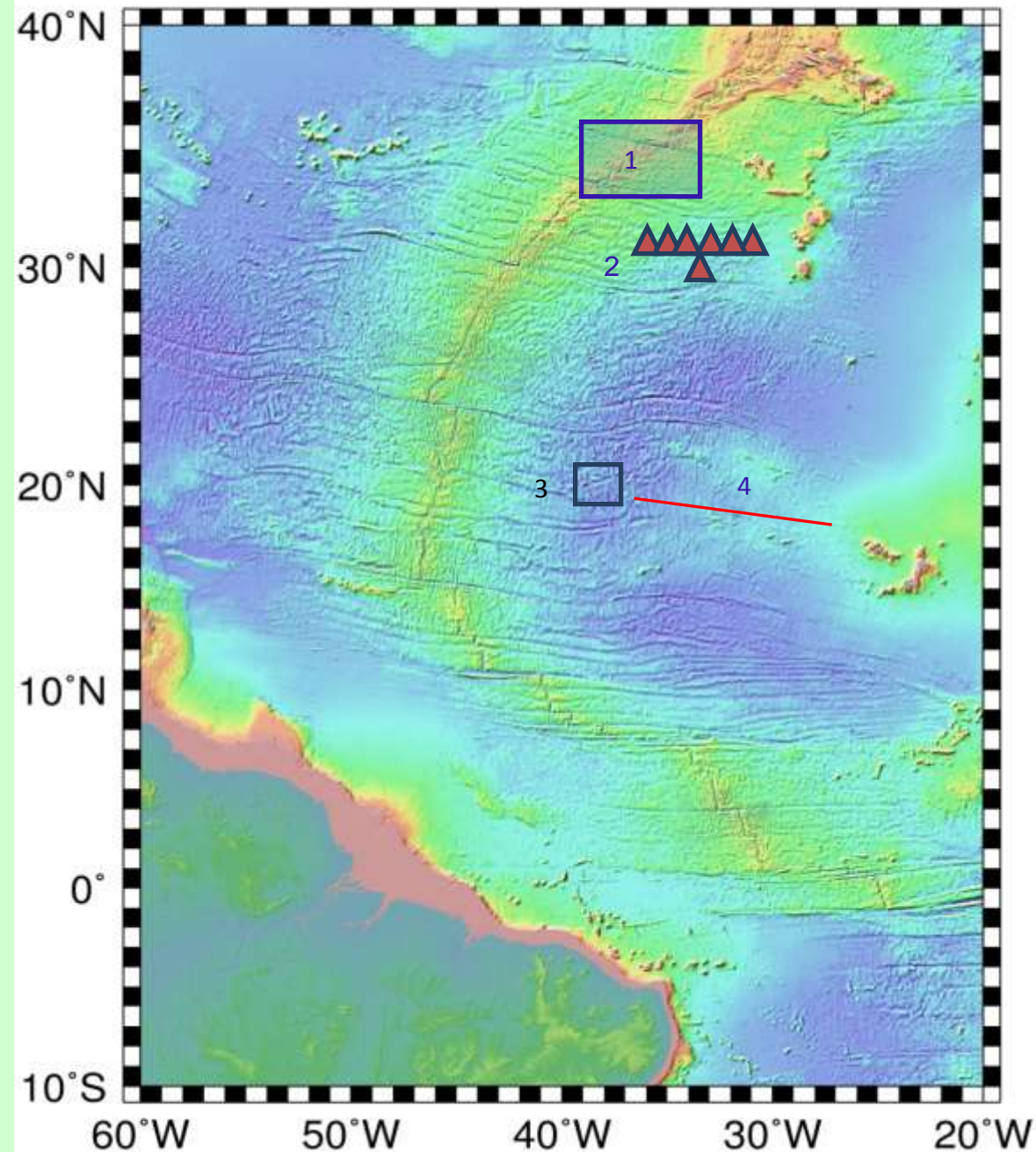
Построены поля гидрологических характеристик. Проведено исследование мезомасштабных гидрофизических процессов в диапазоне пространственных масштабов 1-1000 км и временных масштабов 1 час-1 месяц, включая вихри, инерционные колебания, внутренние волны и фоновые (средние) распределения гидрологических характеристик. Оценивались пространственно-временные спектры. Рассчитаны различные сечения четырёхмерного спектра колебаний гидрофизических параметров.



Научно-исследовательское судно  
Витязь



Традиции ИО РАН в исследовании мезомасштабных гидрофизических процессов.  
1. Аравийский Полигон-67;  
2. Атлантический Полигон-70; 3. ПолиМод; 4. Мезополигон; 5. Мегаполигон.



Измерительные полигоны:  
1. Разрезы ТЗО,  
2. Полигон АБС, 31 р. нис  
«Академик Курчатов»;  
3. Полигон АБС, Мезополигон;  
4. Буксировки термотрала.

# Азорский фронт в Северной Атлантике. Обзор.

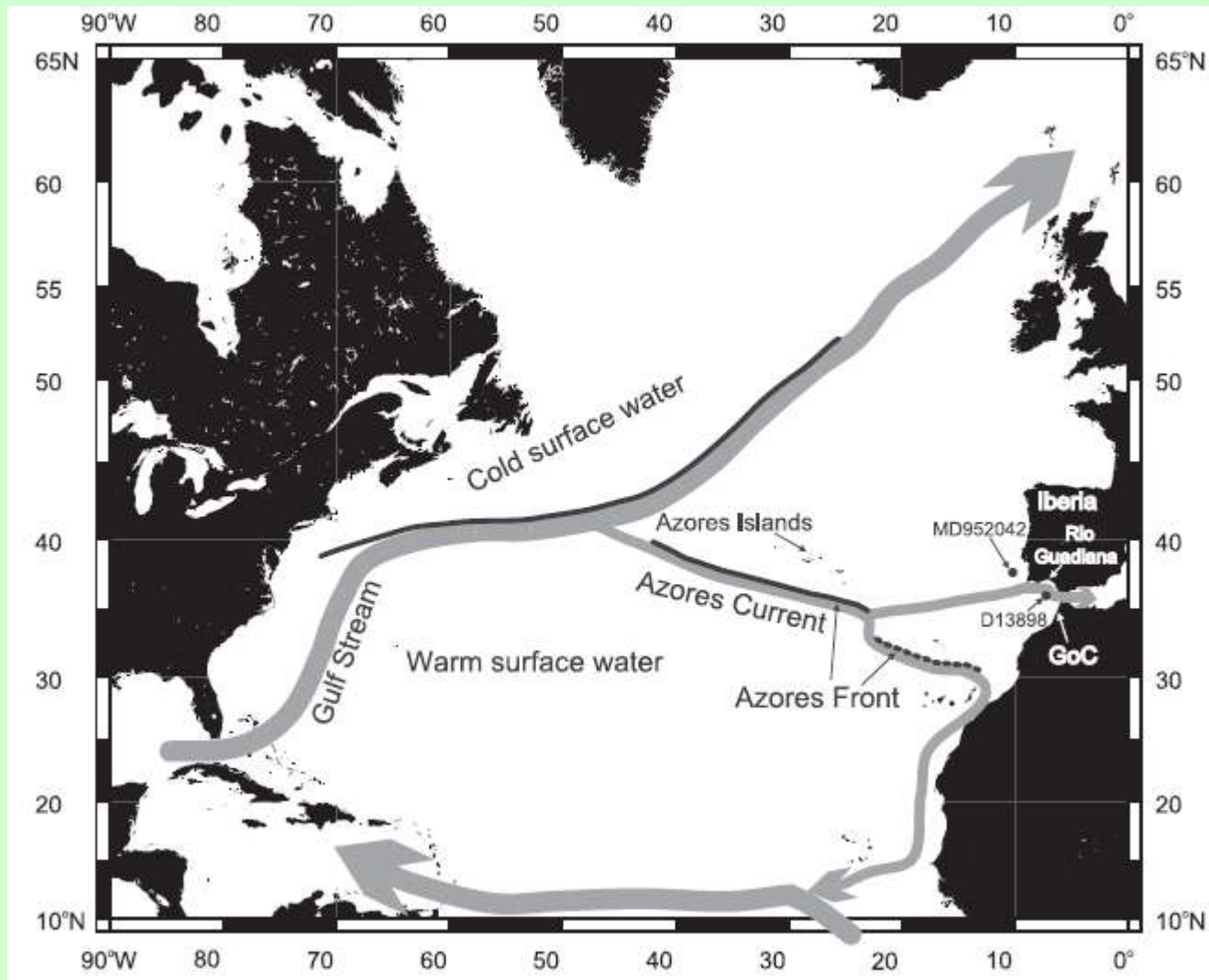
# Фундаментальное значение исследования гидрофизических процессов во фронтальных зонах:

Меридиональная циркуляция, перенос тепла от экватора к полюсам, приливное перемешивание и климатические следствия:

Munk, W. H. and C. Wunsch, Abyssal recipes II: Energetics of tidal and wind mixing, Deep Sea Res., J5, 1977-2010, 1998.

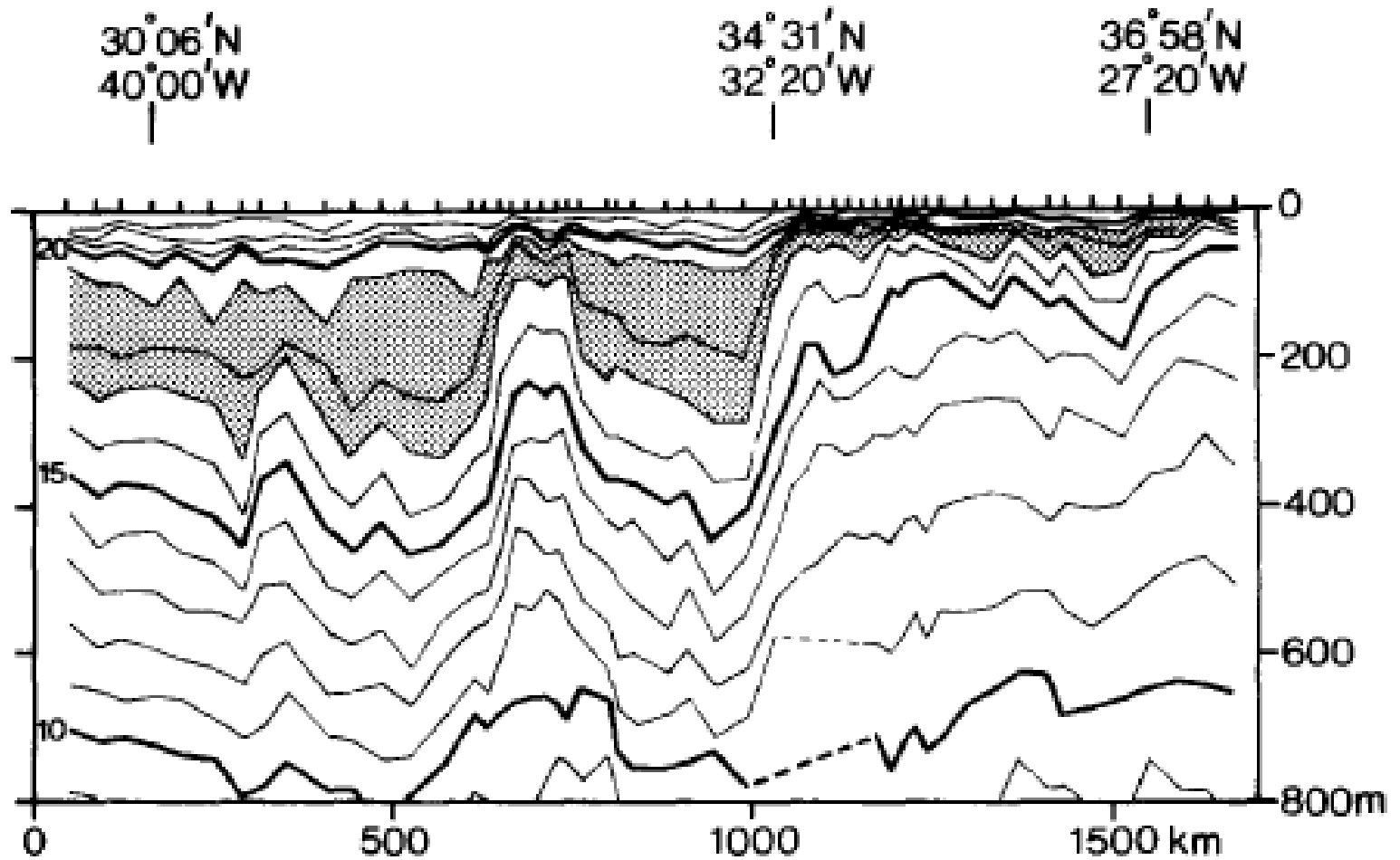
и обширная литература





General surface circulation in the North Atlantic

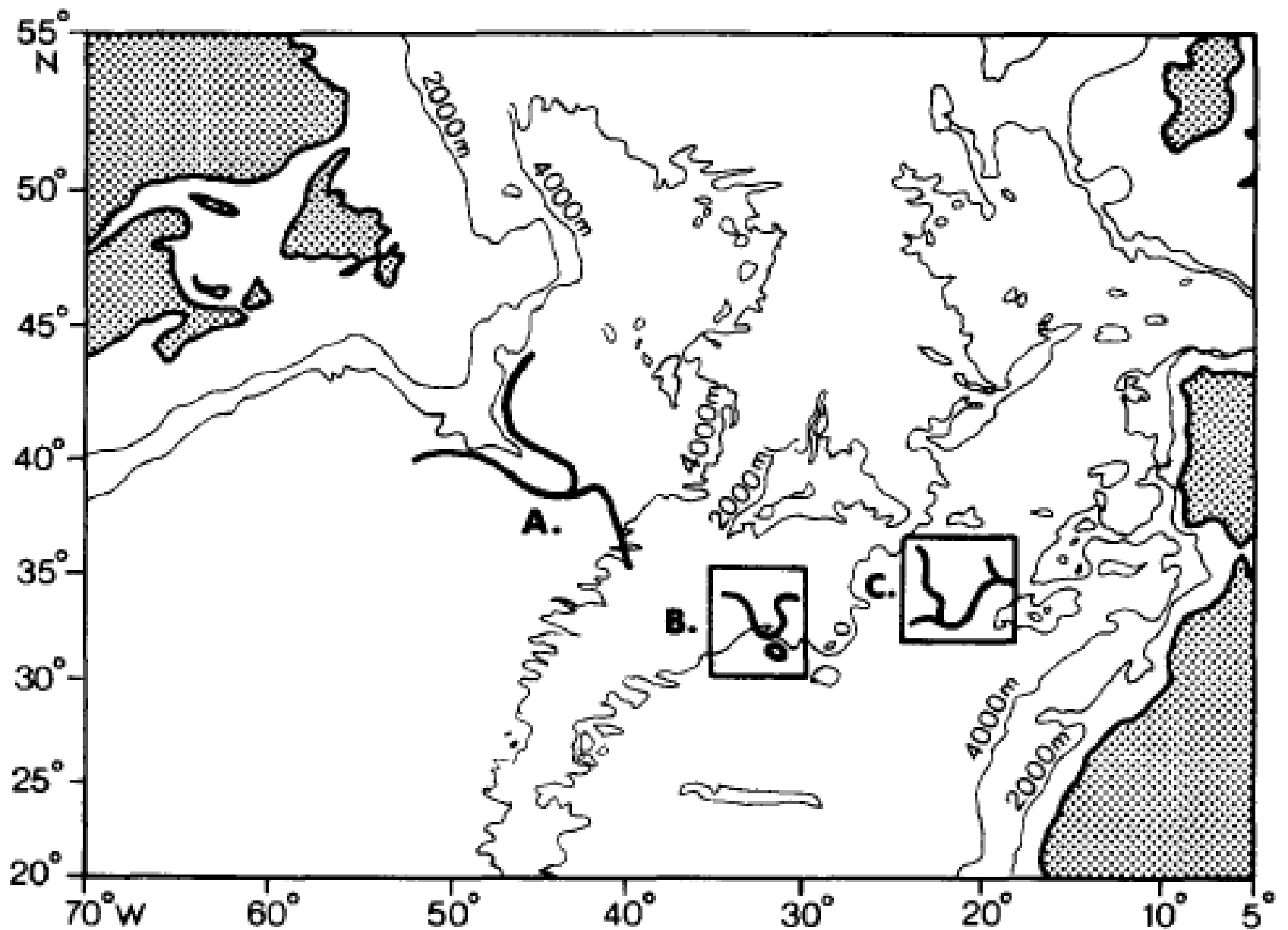
M. Rogerson, E.J. Rohling, P.P.E. Weaver, J.W. Murray. The Azores Front since the Last Glacial Maximum. *Earth and Planetary Science Letters*, 222, (2004), pp. 779– 789.



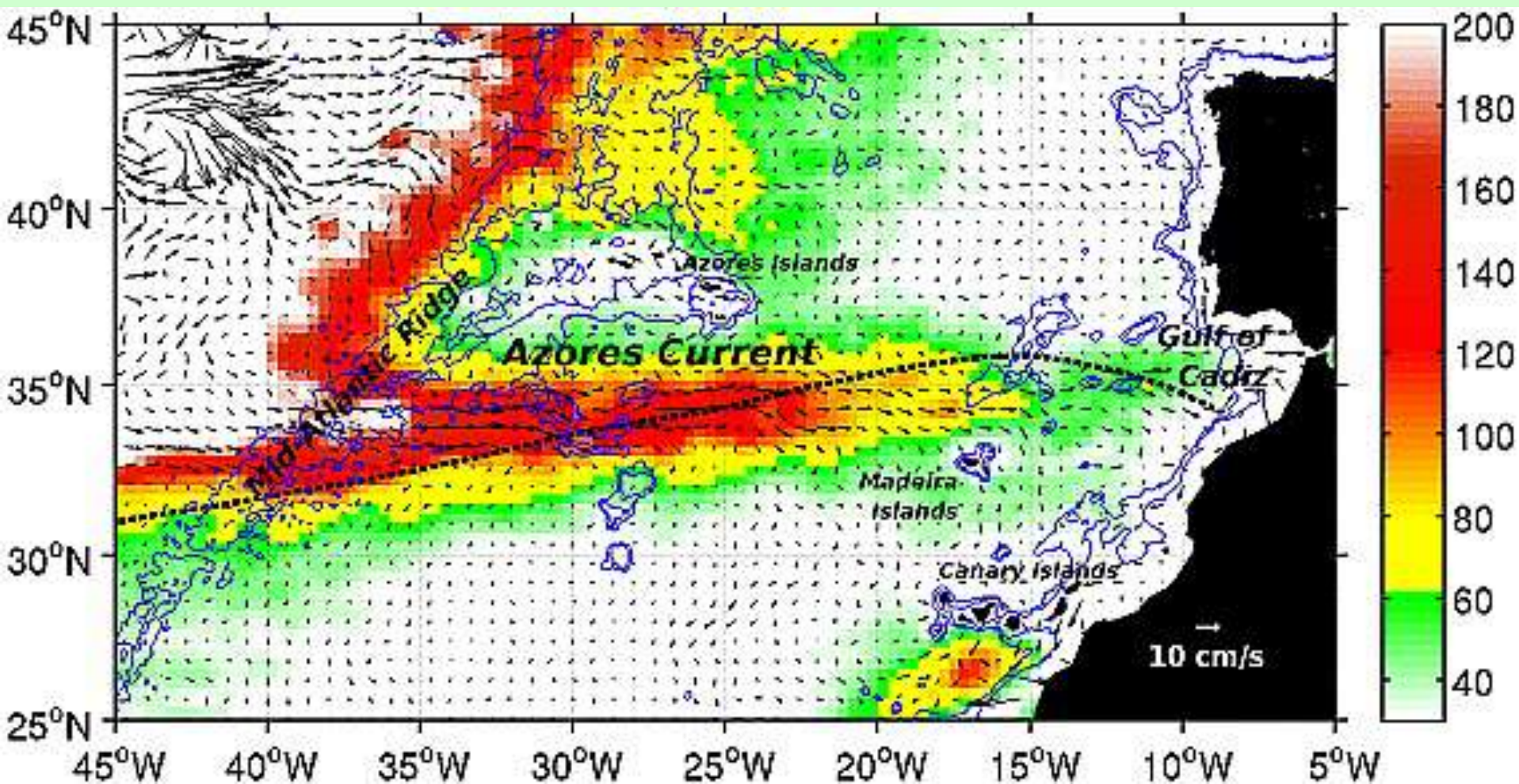
Part of XBT section from GOULD (1976). The 18 C water mass temperatures between 17 and 19 C is marked with stippling. THE 1981 SURVEY OF THE AZORES FRONT During the summer of 1981 an extensive multi-disciplinary survey of the front marking the boundary of the western (18 C) water with the northern water mass was carried out.

### **Physical Oceanography of the Azores Front**

W. J. GOULD *Prog. Oceanog.* Vol. 14, pp. 167-190, 1985. pp/167-190



Generalised topography of the N Atlantic basin and features of the Gulf Stream extension: (A) Current system southeast of the Grand Banks (MANN, 1967); (B) Frontal survey (this paper); (C) Front southeast of Azores (KASE and SIEDLER, 1982).



The December 1992 to December 2010 average surface EKE (cm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, color) and geostrophic circulation (cm/s, arrows). Black dashed line indicates the time-mean location of the zero meridional Ekman transport. Bathymetry is shown at 2000, 3000 m.

From:  
 Volkov D. L., L.-L. Fu. Interannual variability of the Azores Current strength and eddy energy in relation to atmospheric forcing//J. Geophys. Res. 2011. Vol.116. № C11011.P.1-12.

# Измерения

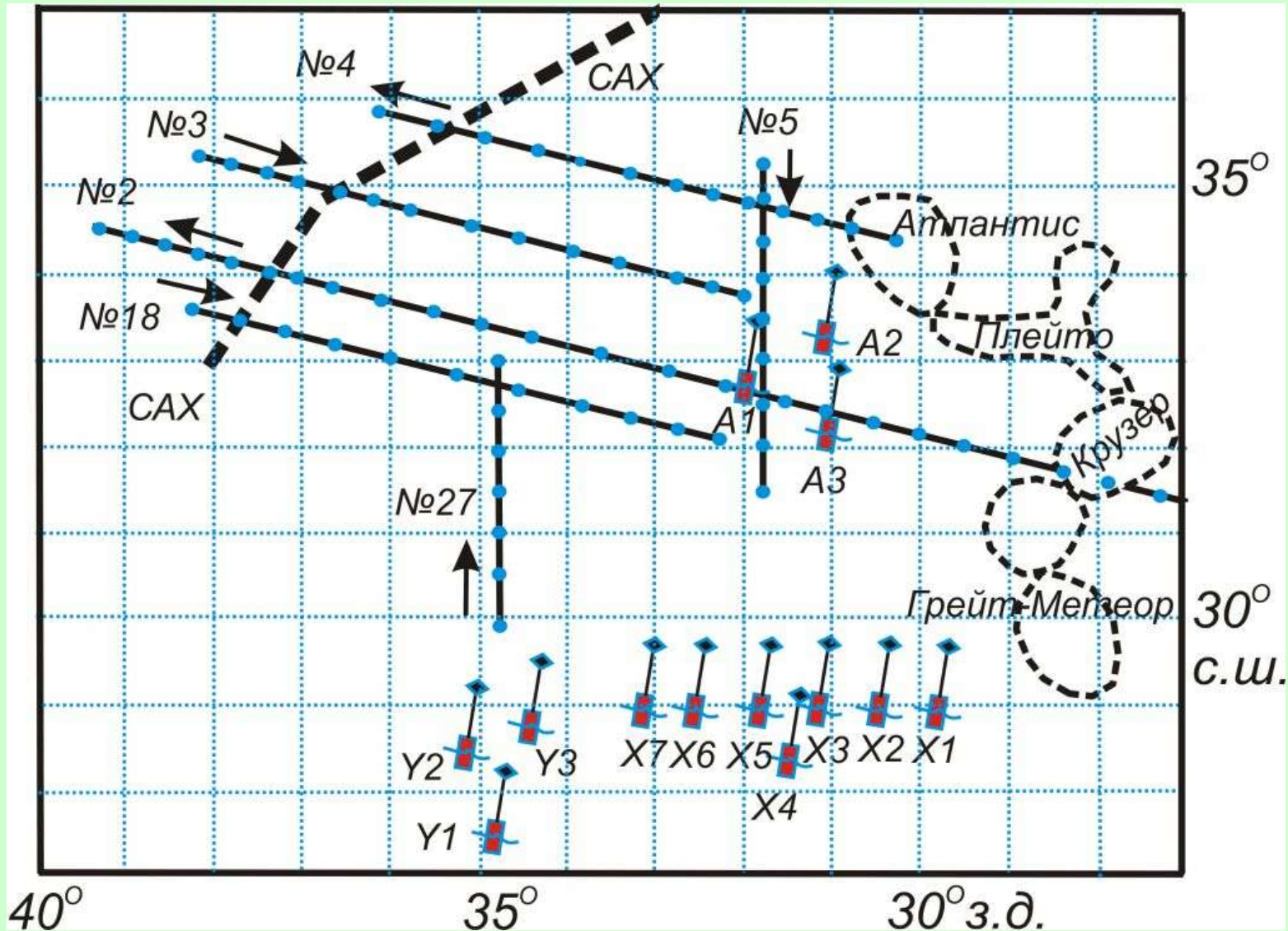
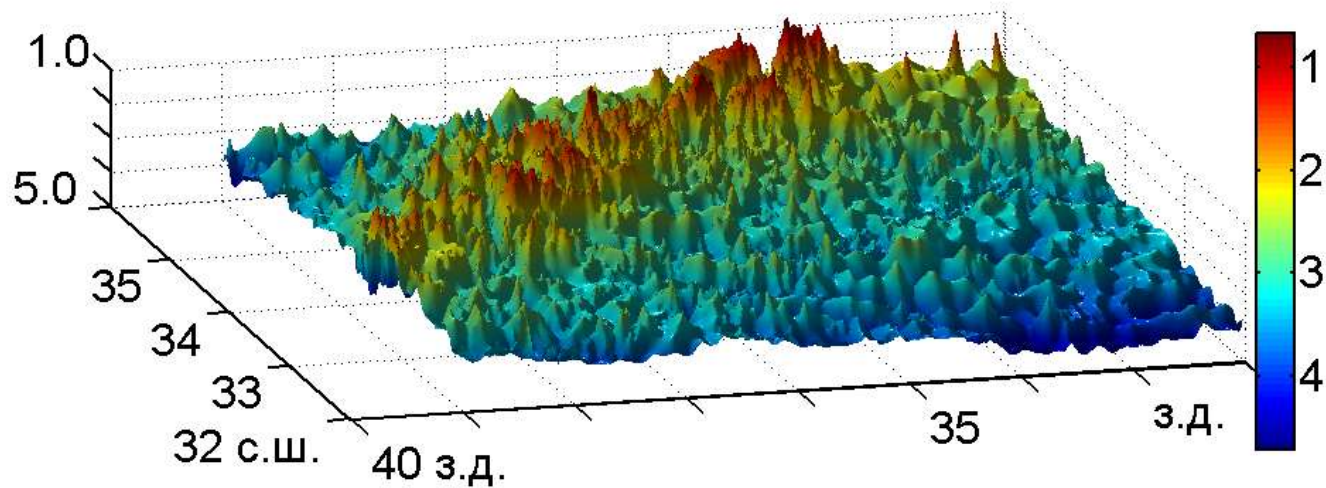
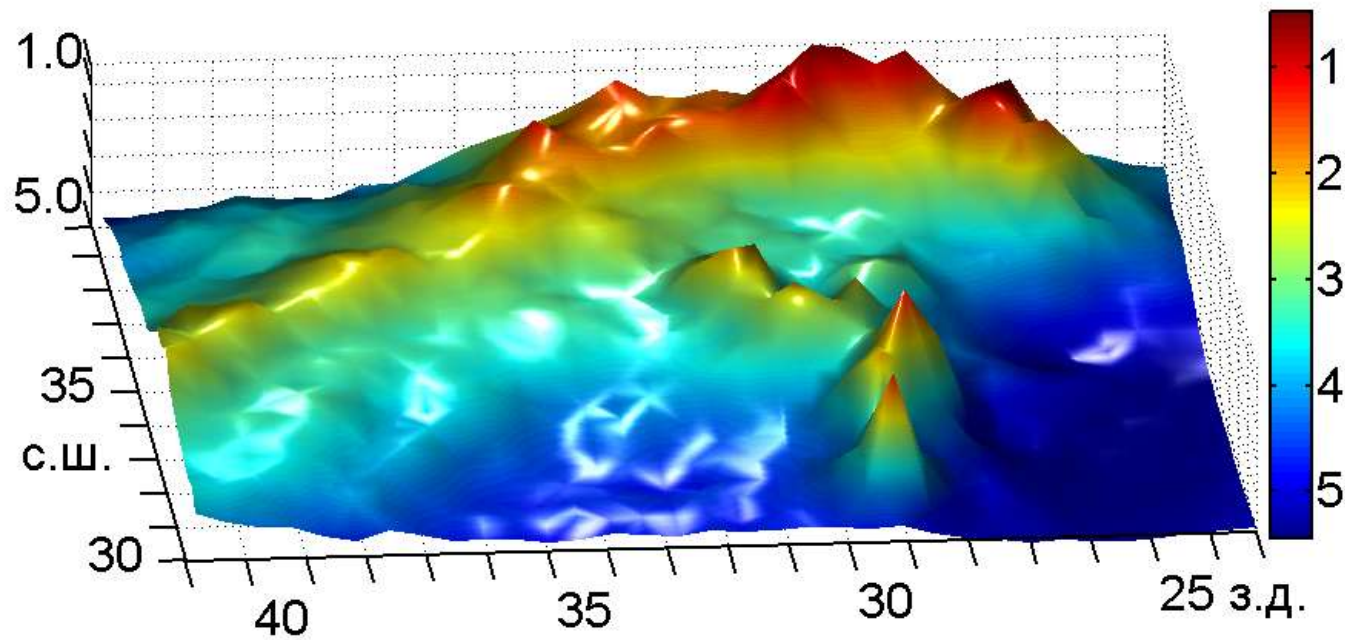


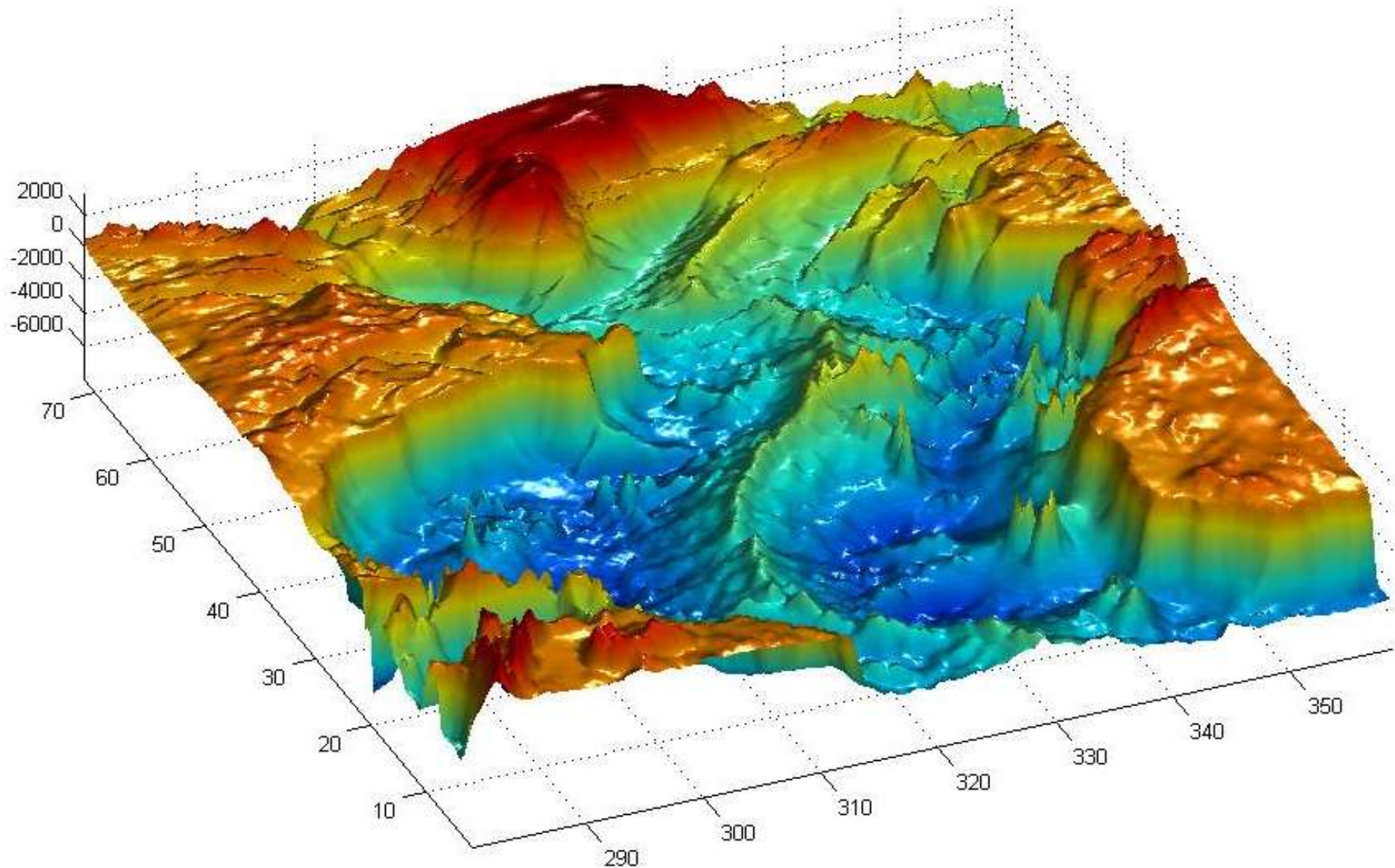
Схема измерительного Полигона в гидрофизической экспедиции Института океанологии РАН, летом 1980 г. Условные обозначения: отрезки прямых линий с точками - галсы с зондированиями верхнего 500-метрового слоя при помощи ТЗО (температурного зонда обрывного). Стрелки - направление движения судна. Значок в виде поплавка с мачтой отмечает положение автономной буйковой станции. Пунктирные линии - ось САХ и схематичное положение крупных подводных гор.



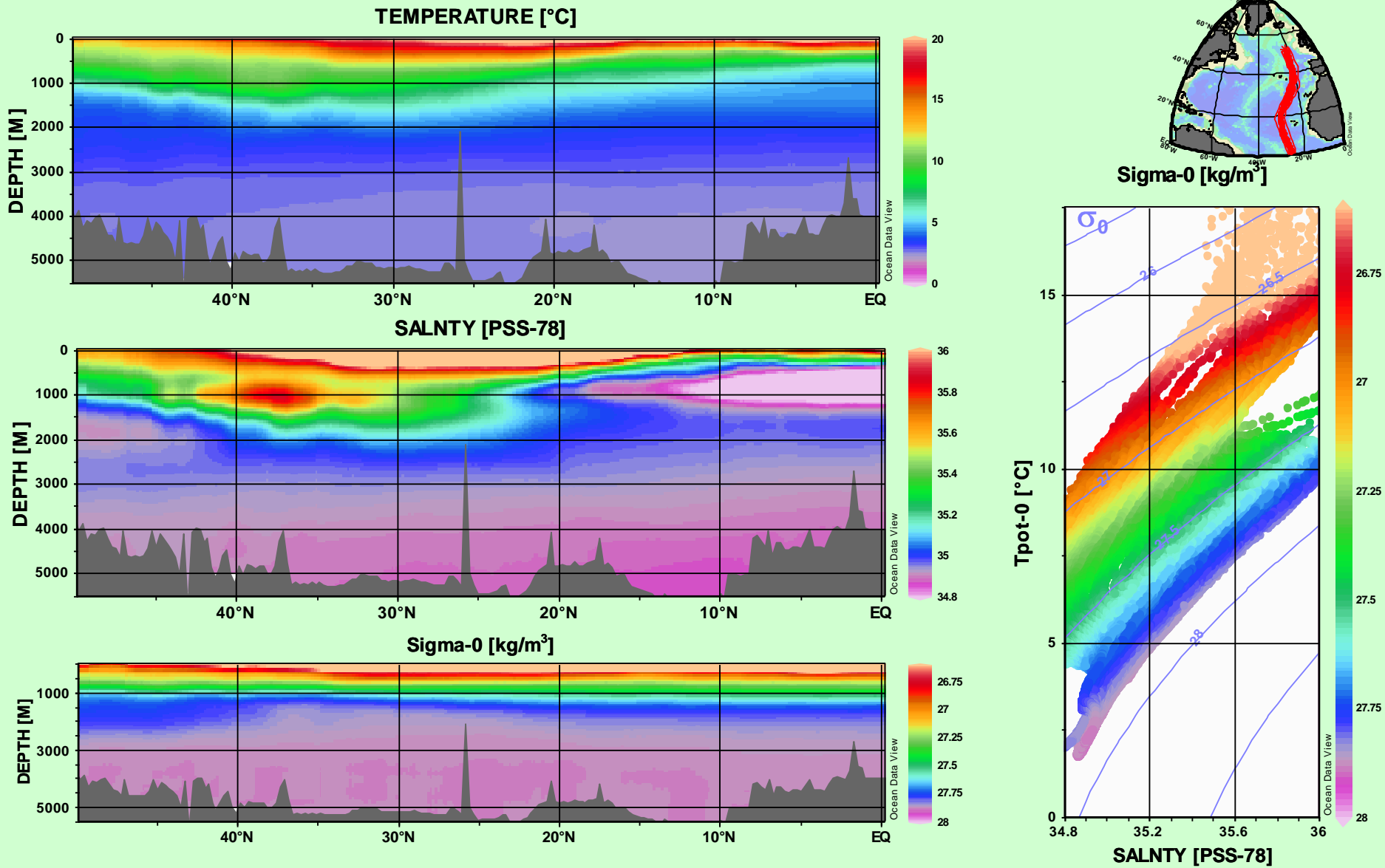
Рельеф дна в районе Полигона(модель ЕТОРО-1); сглаженный по квадратам с диагональю в  $\frac{3}{4}$  градуса(верхняя панель), подробный, на сетке квадратов со стороной 1 дуговая минута (нижняя панель); цветовая шкала глубин в км.

Фоновые условия (ТПО, гидрология и рельеф дна)  
в Северной Атлантике.

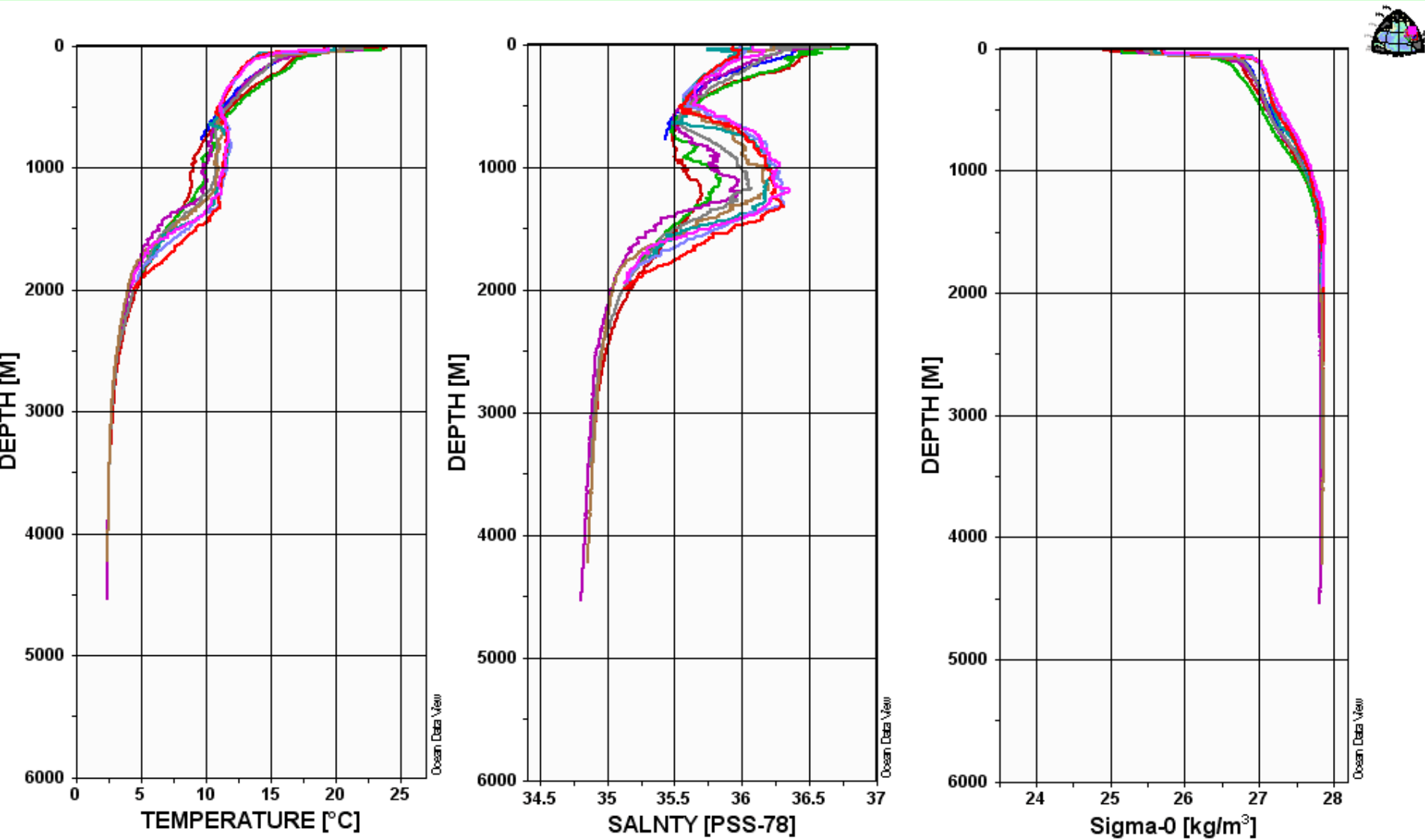




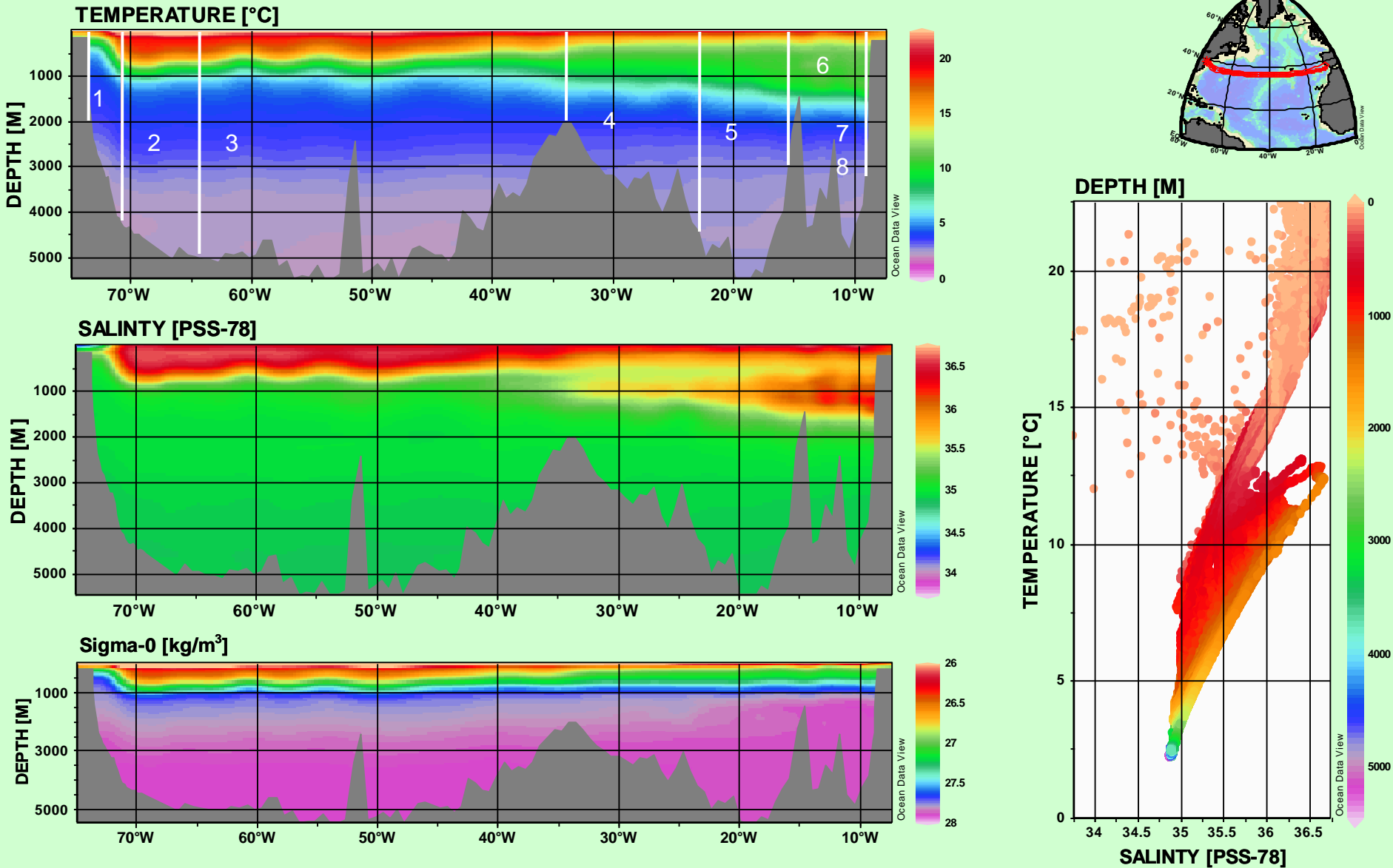
Рельеф дна Северной Атлантики. Данные ETOPO-1:  
Smith, W. H. F., and D.T. Sandwell, Global seafloor topography from satellite altimetry  
and ship depth soundings, Science, v. 277, 1997, pp.1957-1962.



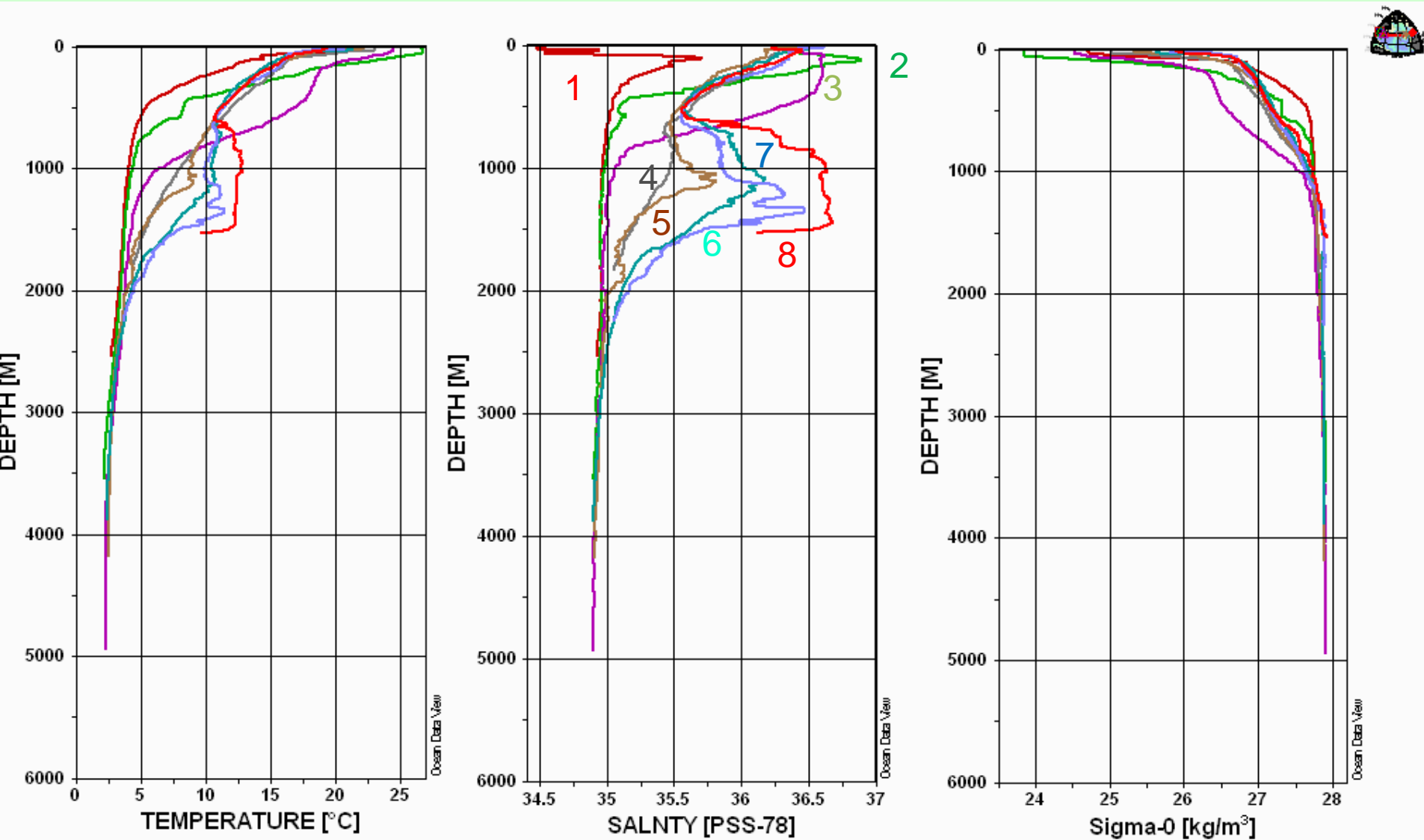
Меридиональный CTD разрез WOCE № A16N\_32OC202\_1(2), от Исландии к экватору вдоль  $\sim 20^\circ - 30^\circ W$ , июнь-август 2003 г. Справа Tpot.-S диаграмма.



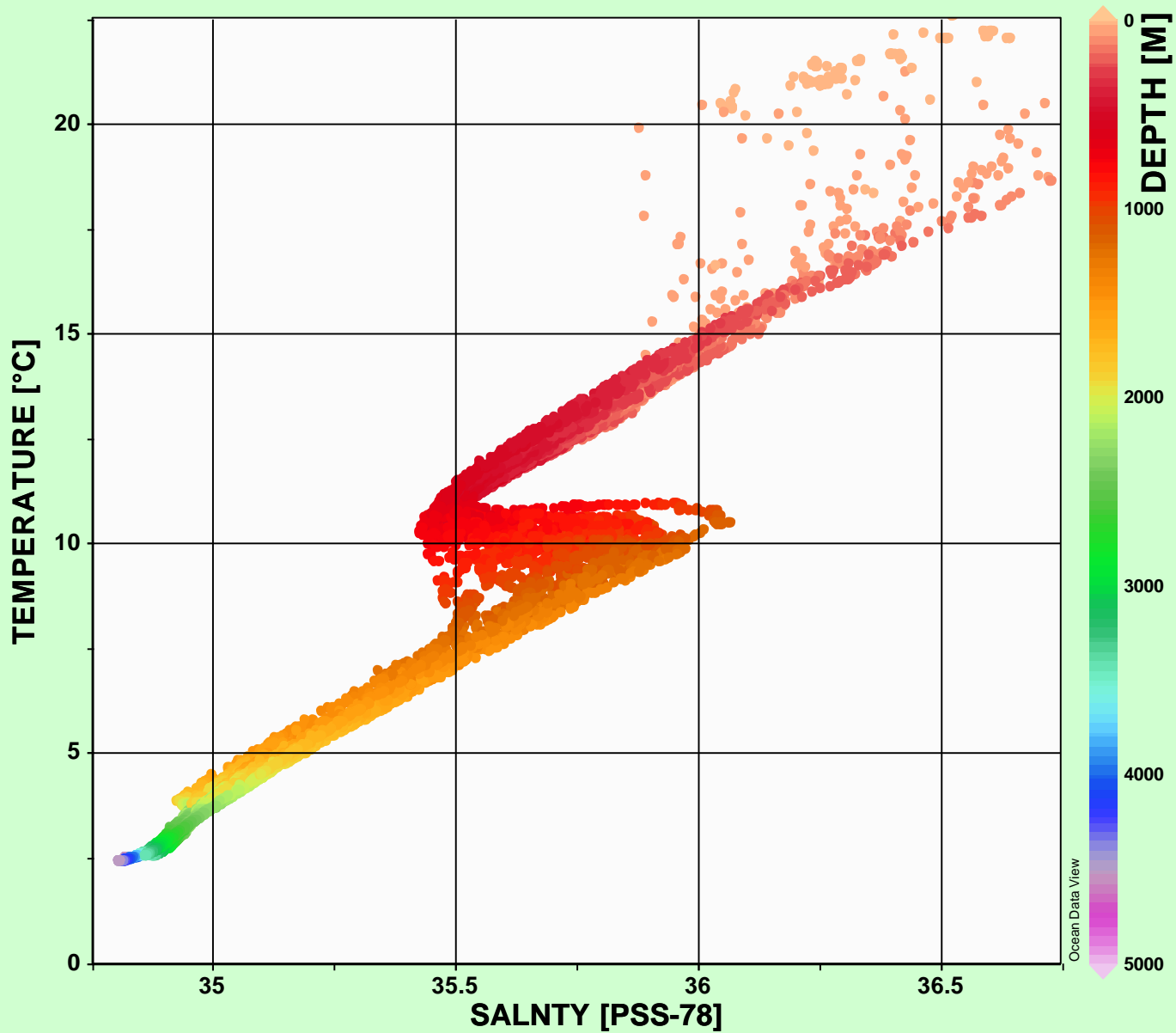
Характерные вертикальные профили температуры, солёности, усл. плотности на разрезе WOCE № A16N\_32OC202\_1, вдоль  $\sim 20^\circ - 21^\circ W$ , от  $42^\circ$  до  $33.3^\circ N$ , июнь- август 1988 г.



Широтный (вдоль 36.256°N) CTD разрез WOCE № A03\_90CT40\_1, сент.-окт. 1993 г.; дискретность расположения станций вдоль круга широты ~ 0,6°, по вертикали измерения через 1 м; вертикальными белыми отрезками с номерами показаны положения станций, с характерными профилями T,S,D на след. слайде. Справа T-S диаграмма.



Характерные вертикальные профили температуры, солёности, усл. плотности на разрезе № A03\_90СТ40\_1; разноцветными цифрами показаны номера типичных гидрологических станций.



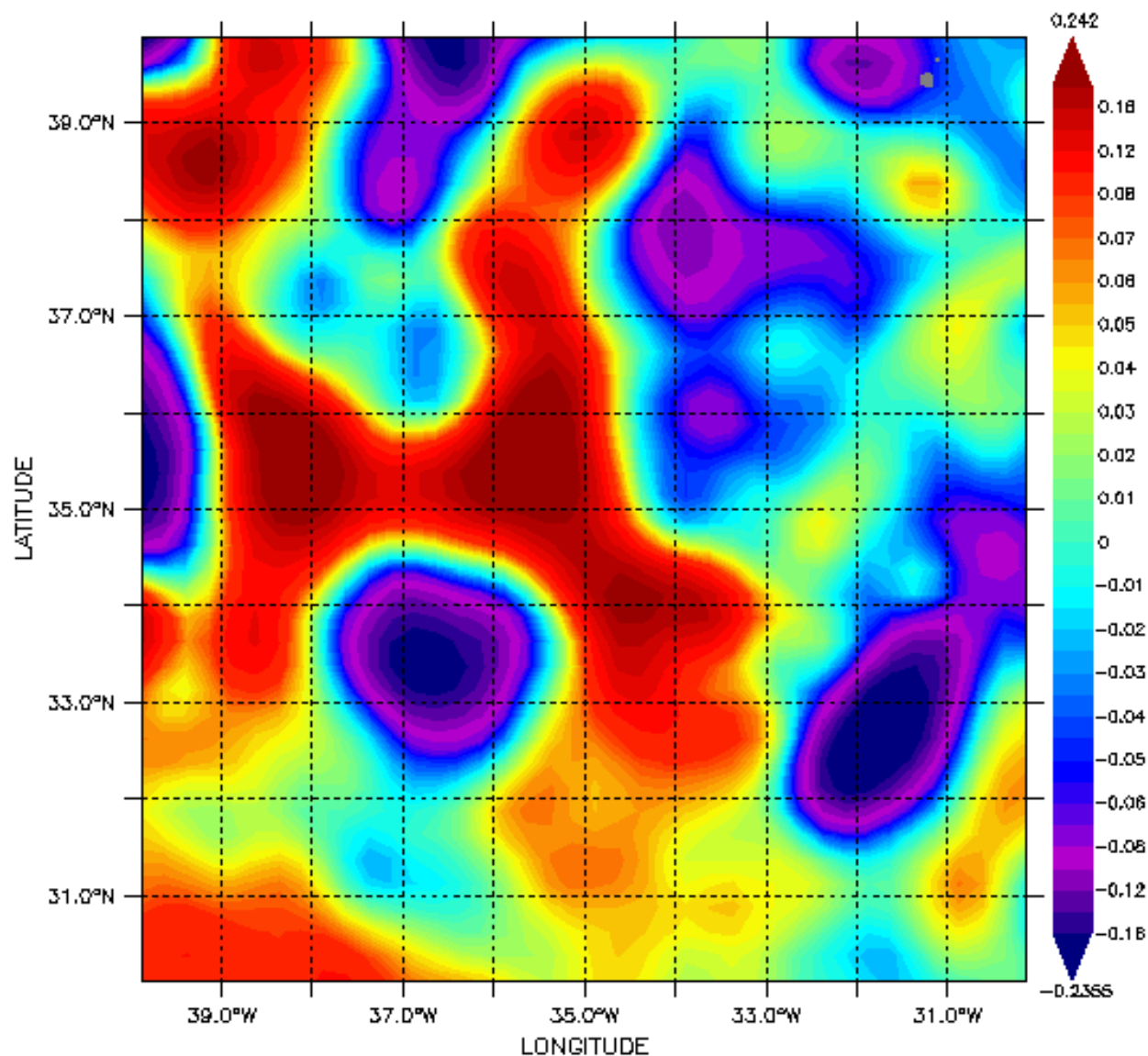
*T-S диаграмма в регионе.*

*(Schlitzer, R., Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2009)*

Вихревое поле над Срединно-Атлантическим хребтом в  
районе Азорского фронта.

TIME : 01-MAY-2014 00:00

DATA SET: global dt mala h merged



Maps of Sea Level Anomalies Allsat (m)

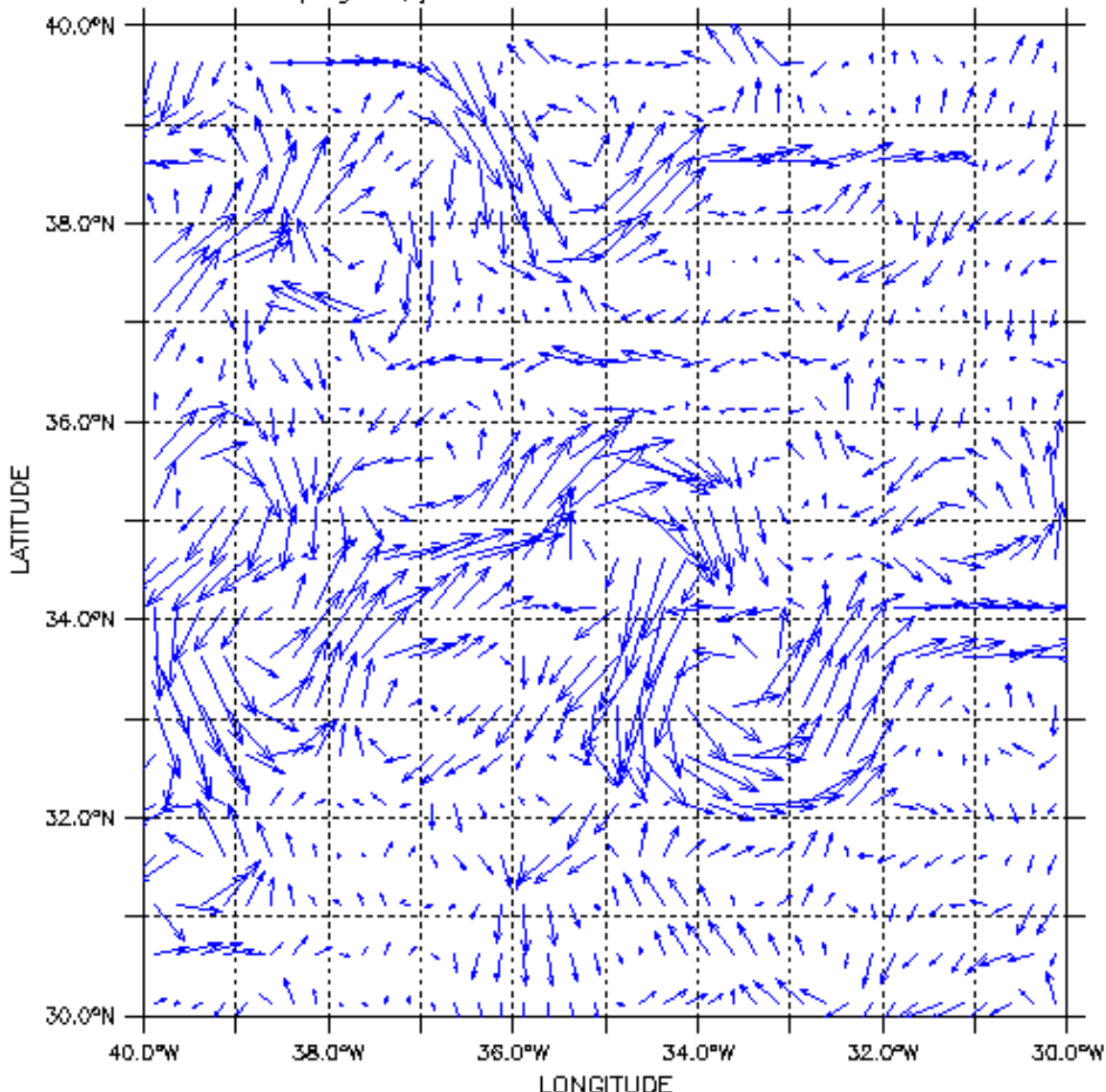
Поле аномалий уровня моря на 01 мая 2014 г. Цветовая шкала в метрах, справа.



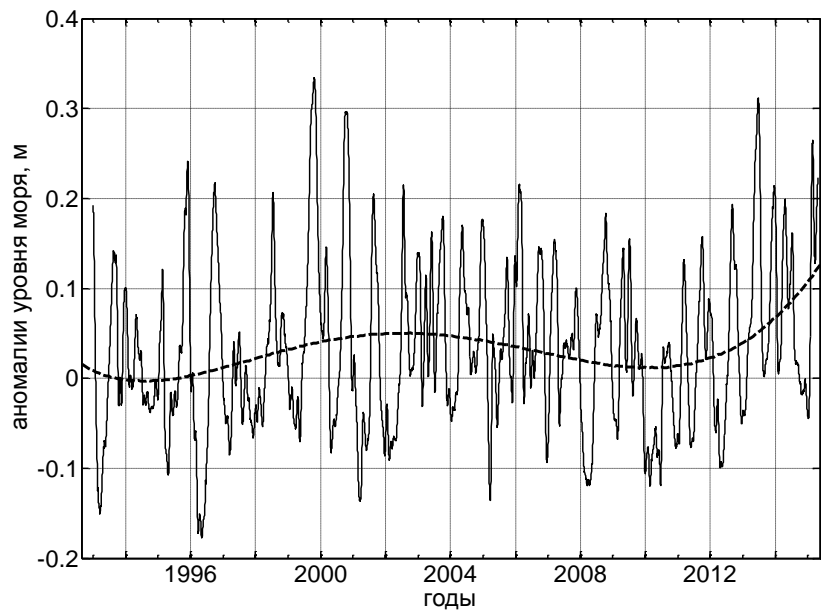
TIME : 01-JUL-2013 00:00

DATA SET: global dt modt uv allsat

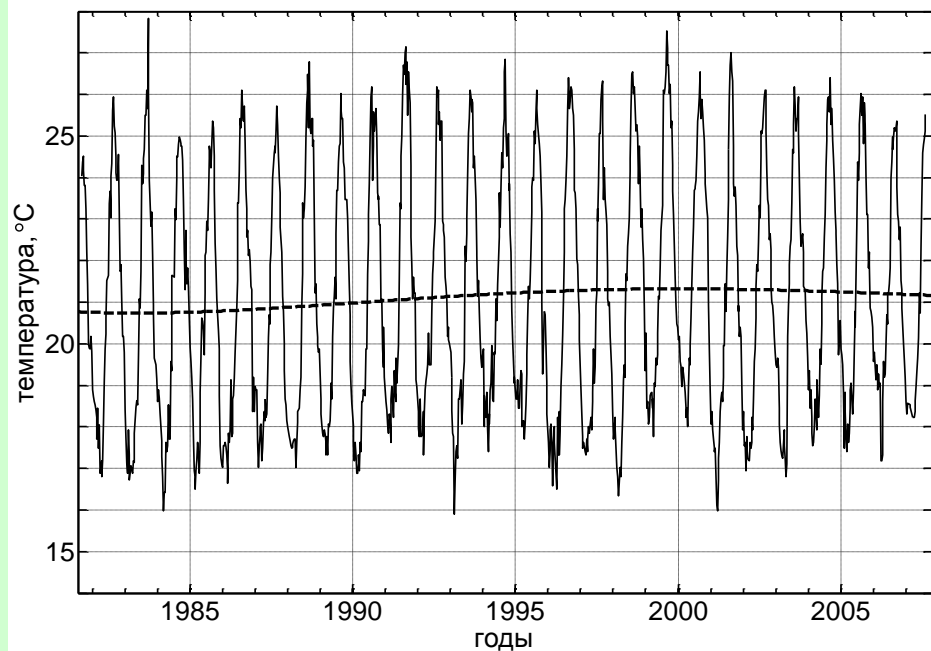
Vector subsampling x=1, y=2



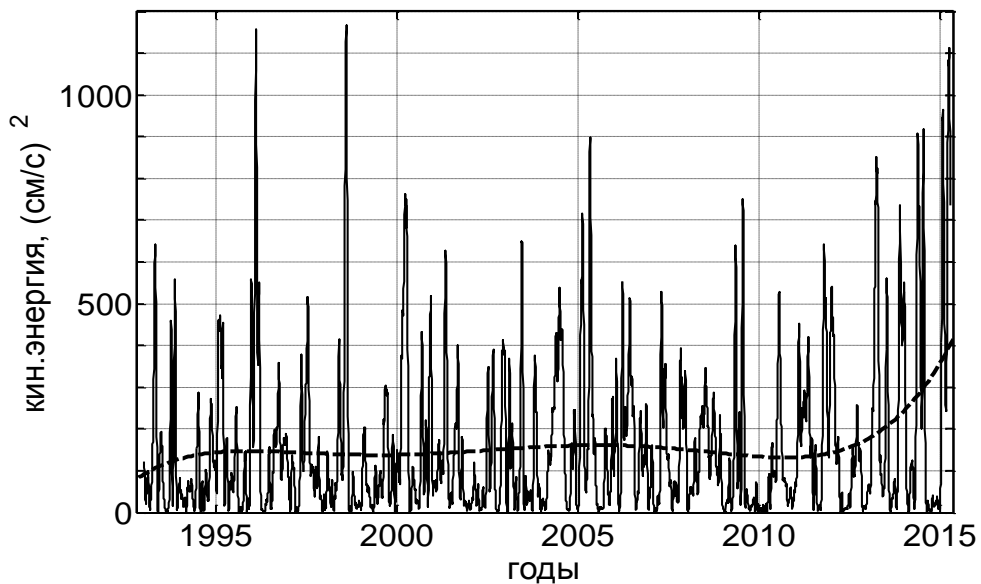
Поле геострофической скорости на поверхности океана на 01 июля 2013 г. Масштаб вектора скорости показан внизу рисунка.



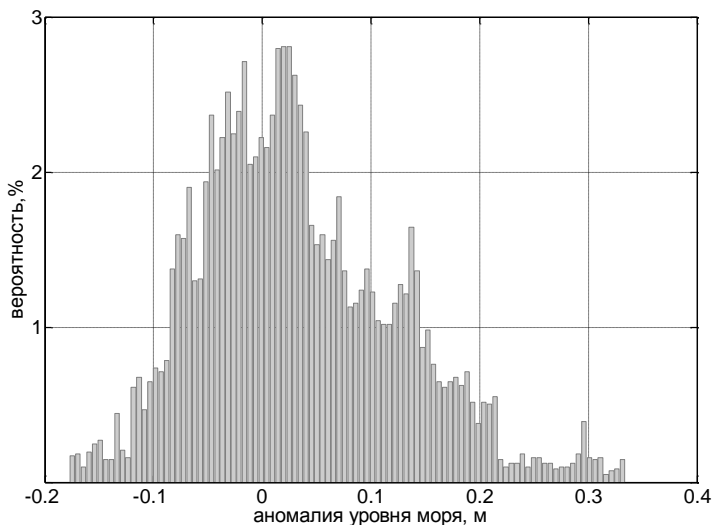
Временной ход аномалий уровня моря в точке 35.1W, 34.9N.



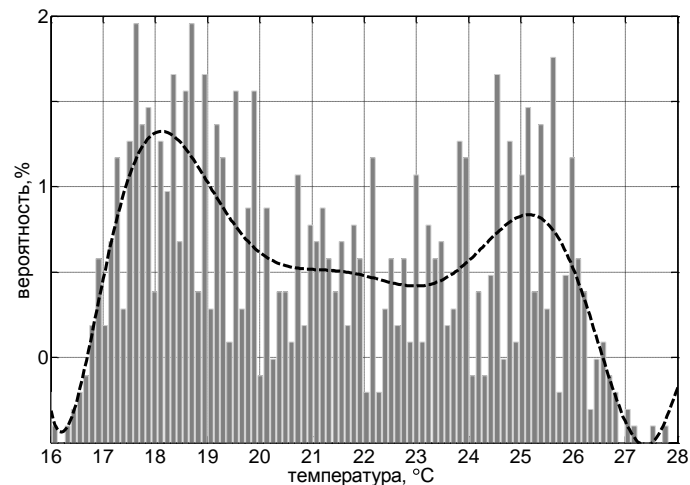
Временной ход ТПО в точке 35.2W, 35.0N.



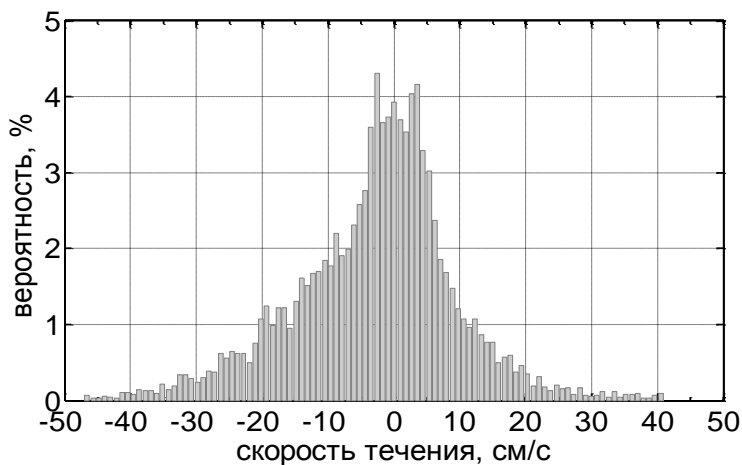
Временной ход плотности кинетической энергии геострофических движений на поверхности океана в точке 35.1W, 34.9N.



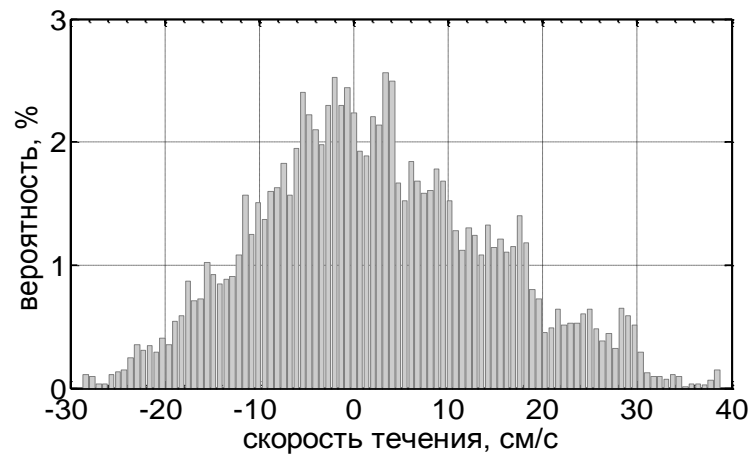
Гистограмма аномалий уровня моря в точке 35.1W, 34.9N.



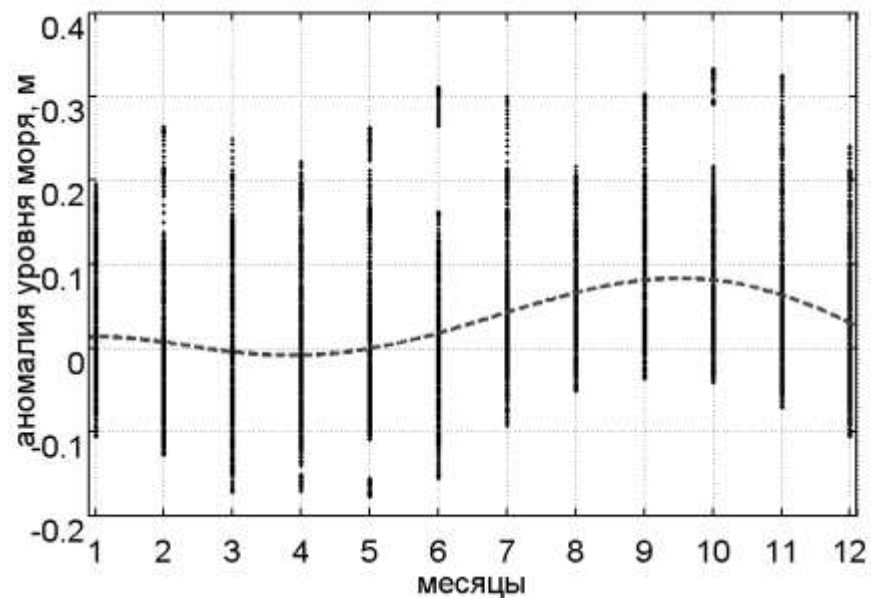
Гистограмма ТПО в точке 35.2W, 35.0N.



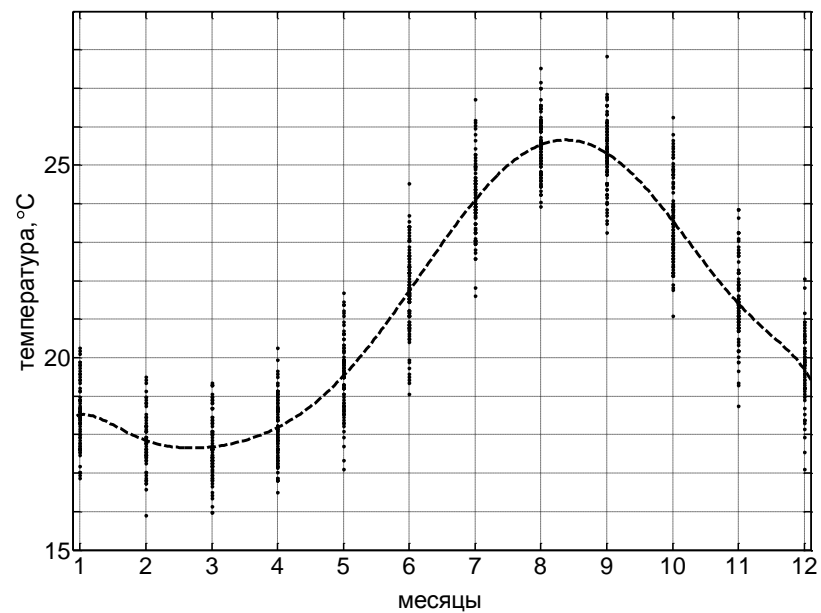
Гистограмма меридиональной скорости течений на пов. моря в точке 35.1W, 34.9N



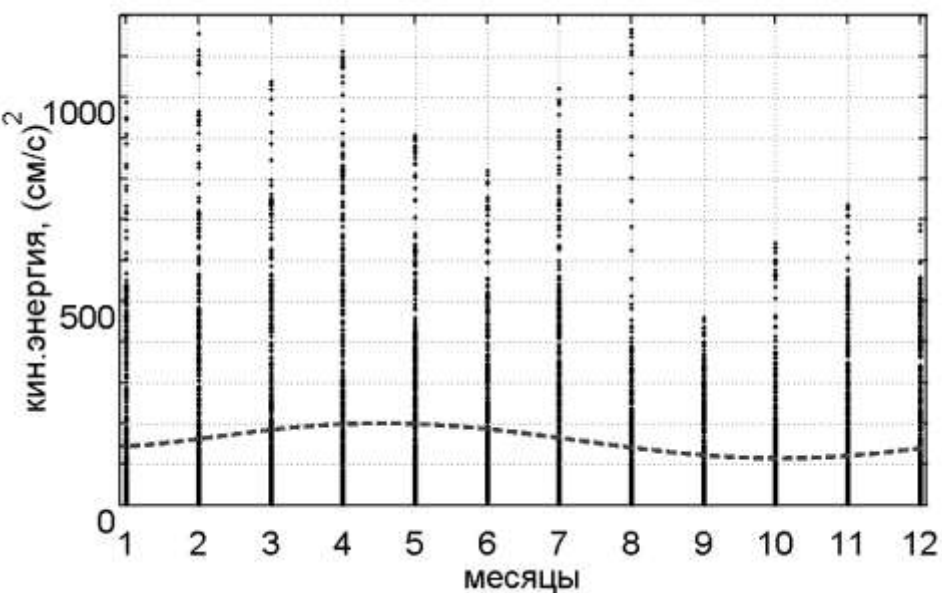
Гистограмма зональной скорости течений на пов. моря в точке 35.1W, 34.9N



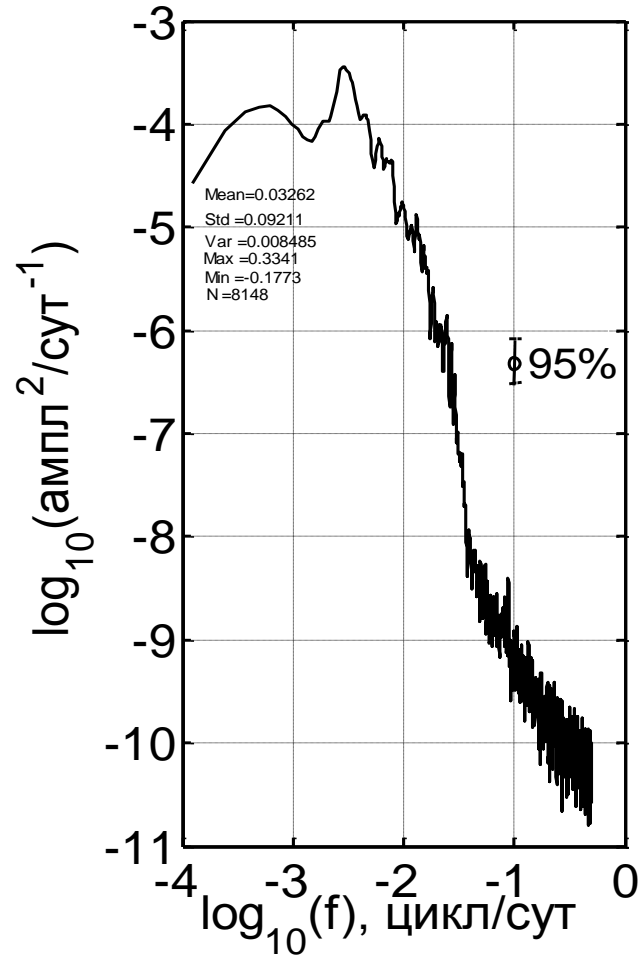
Вариации по месяцам аномалий уровня моря в точке 35.1W, 34.9N.



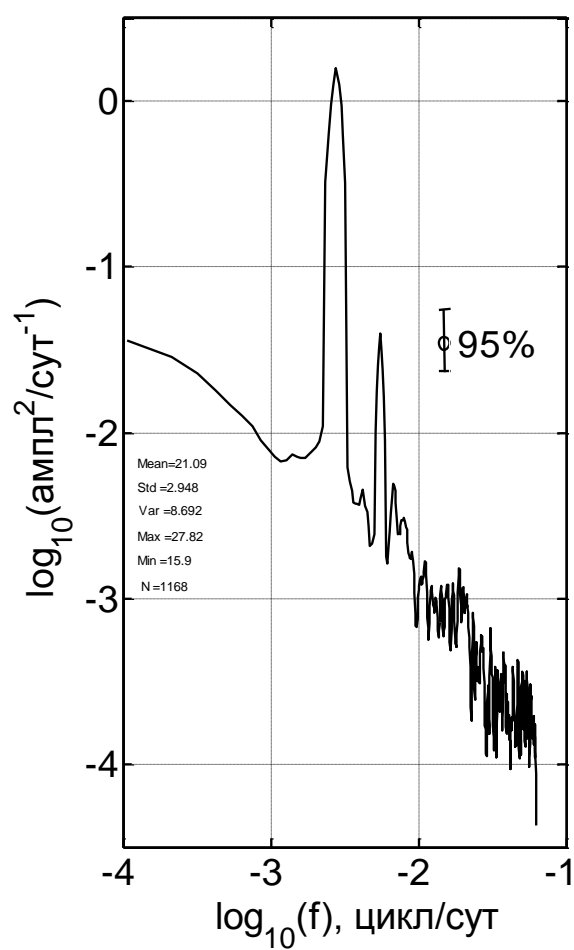
Вариации по месяцам ТПО в точке 35.2W, 35.0N.



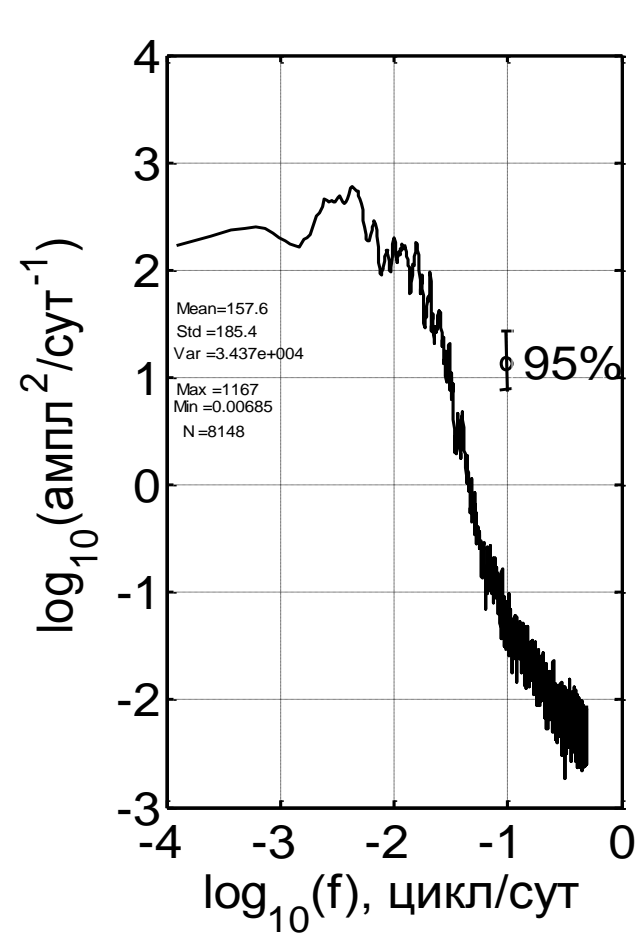
Вариации по месяцам плотности кинетической энергии геострофических движений на поверхности океана в точке 35.1W, 34.9N.



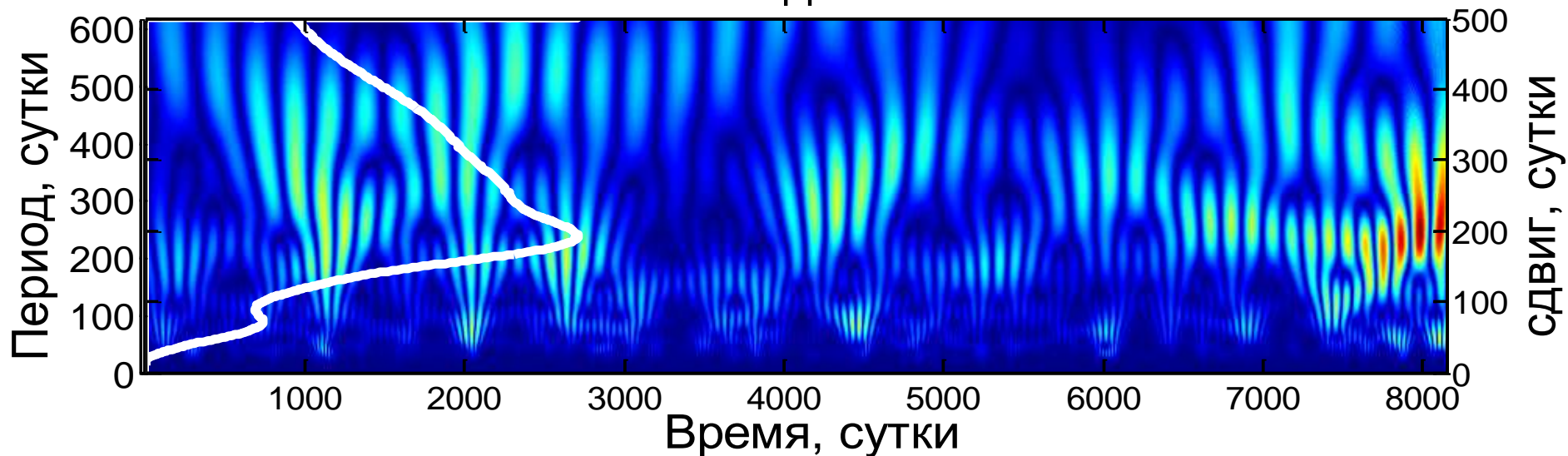
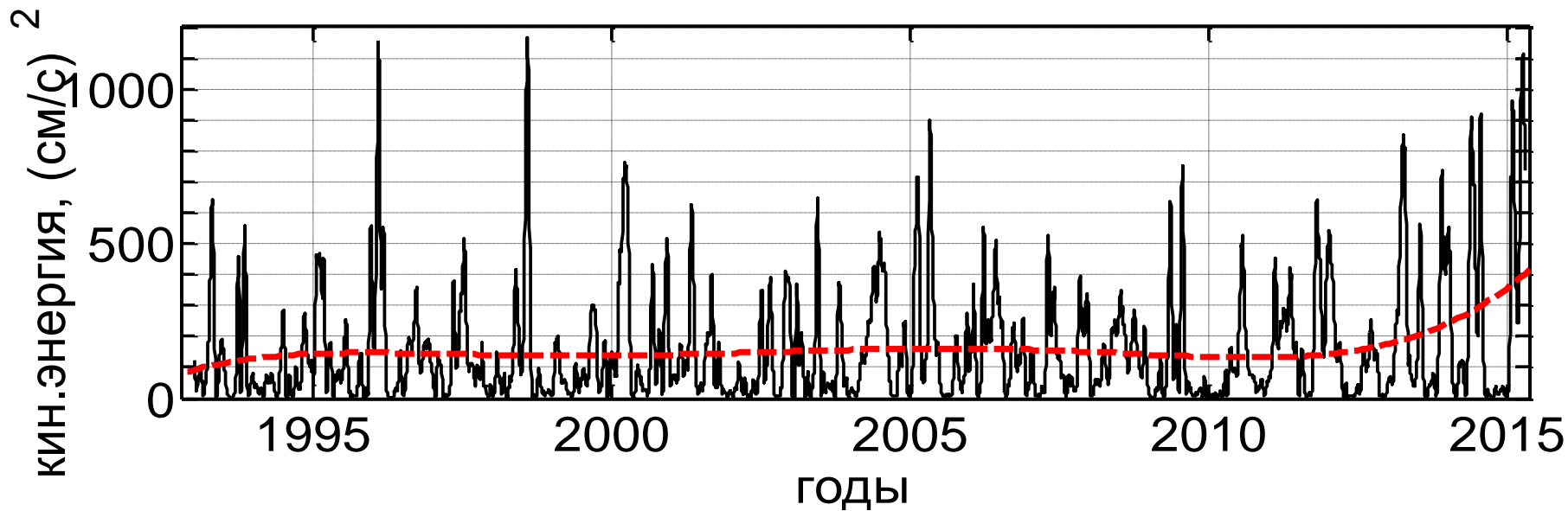
Спектральная плотность аномалий уровня моря в точке 35.1W, 34.9N.



Спектральная плотность ТПО в точке 35.2W, 35.0N.

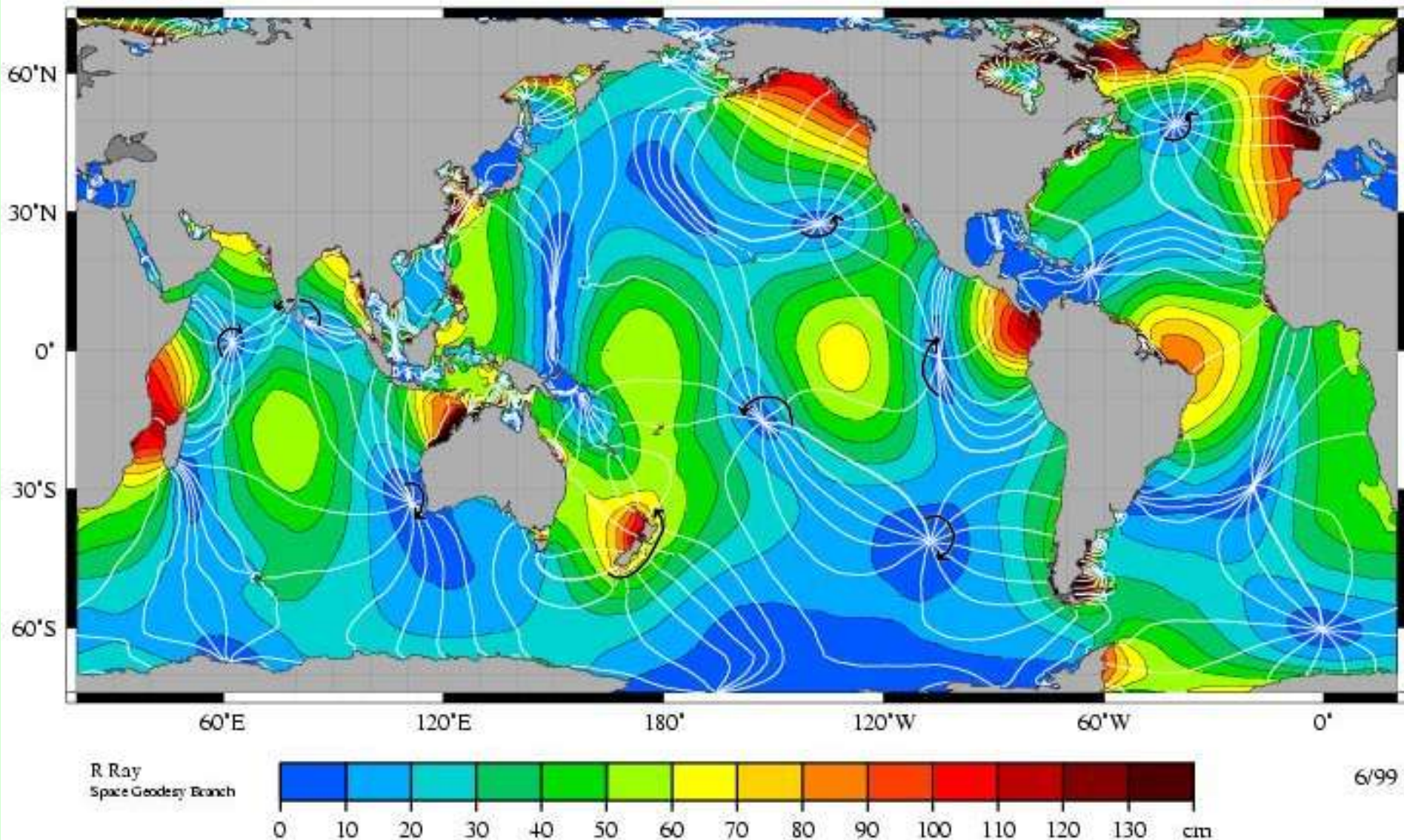


Спектральная плотность кинетической энергии геострофических движений на поверхности океана в точке 35.1W, 34.9N.



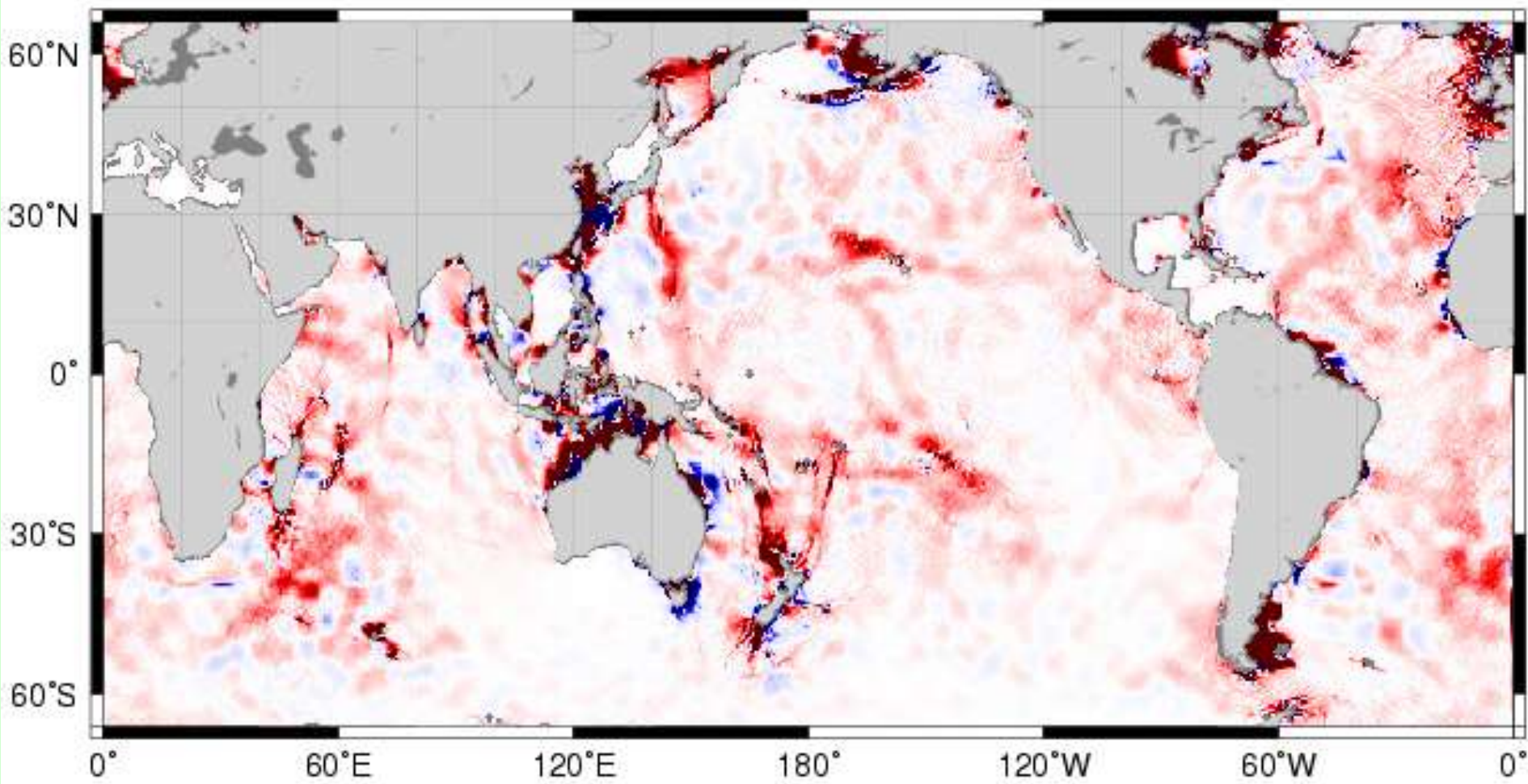
Вэйвлет-диаграмма (ядро-функция Морле) плотности кинетической энергии геострофических движений на поверхности океана в точке 35.1W, 34.9N.

Фоновые условия:  
Приливы баротропные и бароклинные  
в Северной Атлантике.



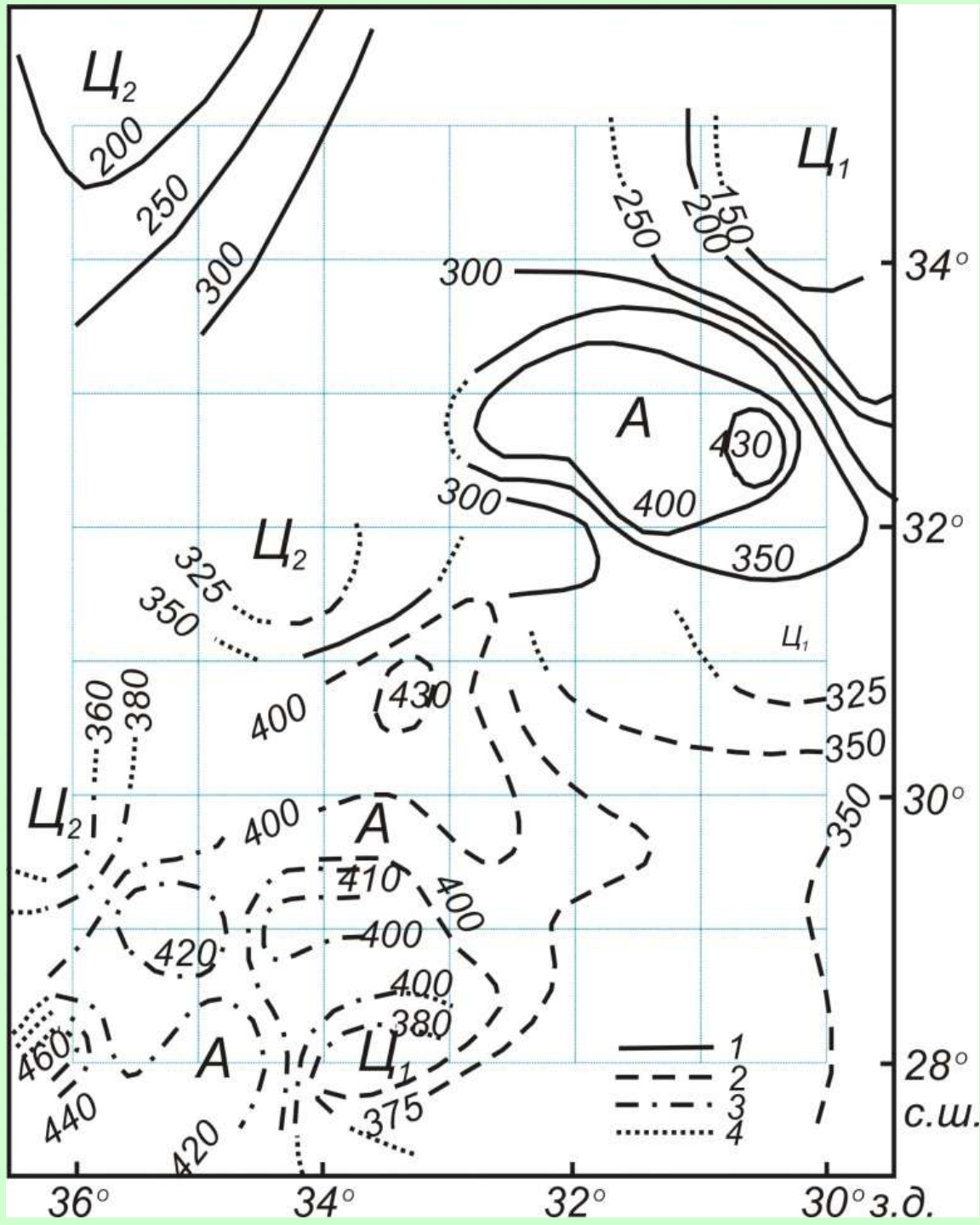
Gary D. Egbert, Richard D. Ray(2001). Estimates of tidal energy dissipation from TOPEX/Poseidon altimeter data. *J. Geophys. Res.*, 106, C10, pp. 22,475-22,502.





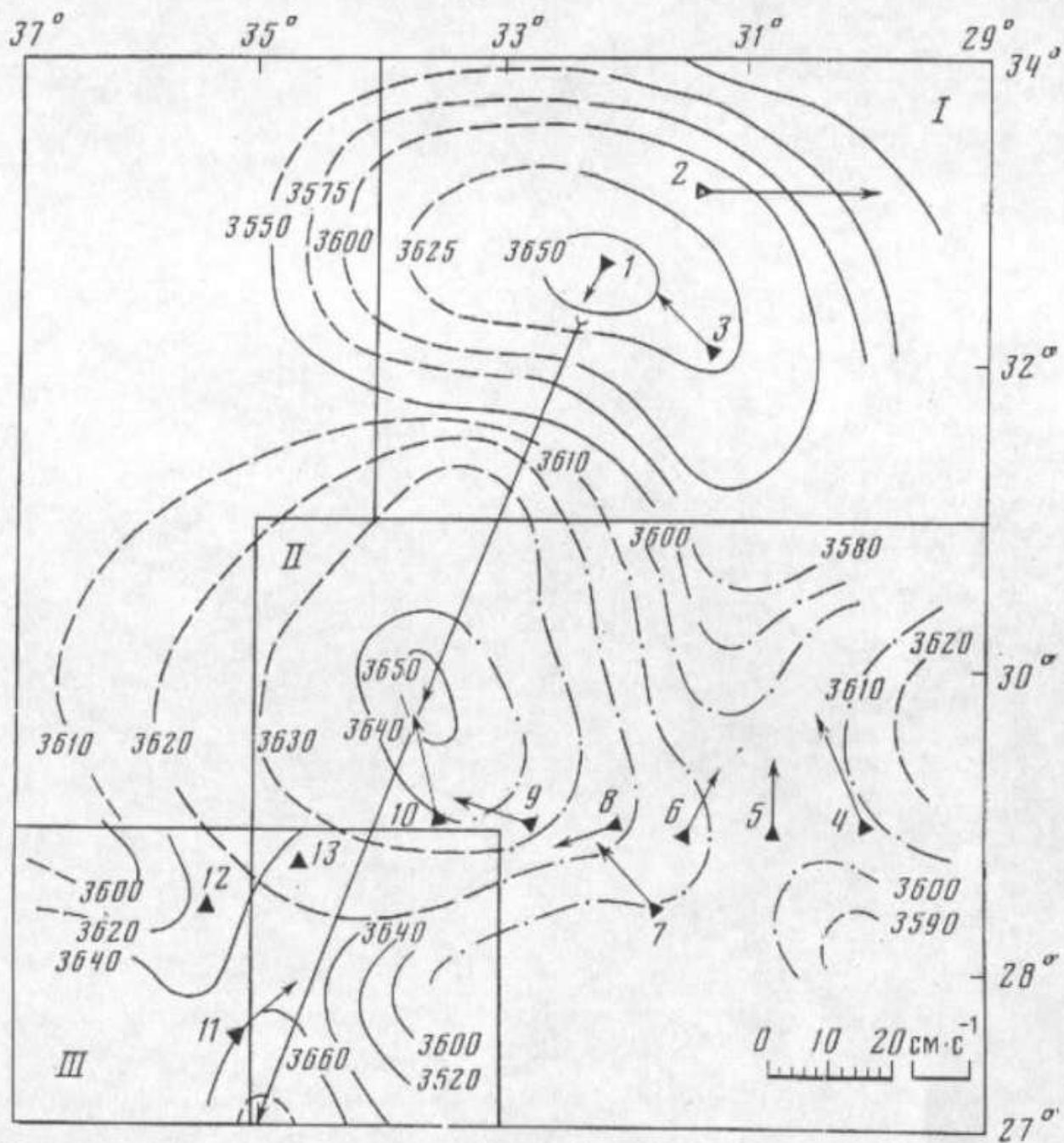
R Ray, GSFC

Наблюдения

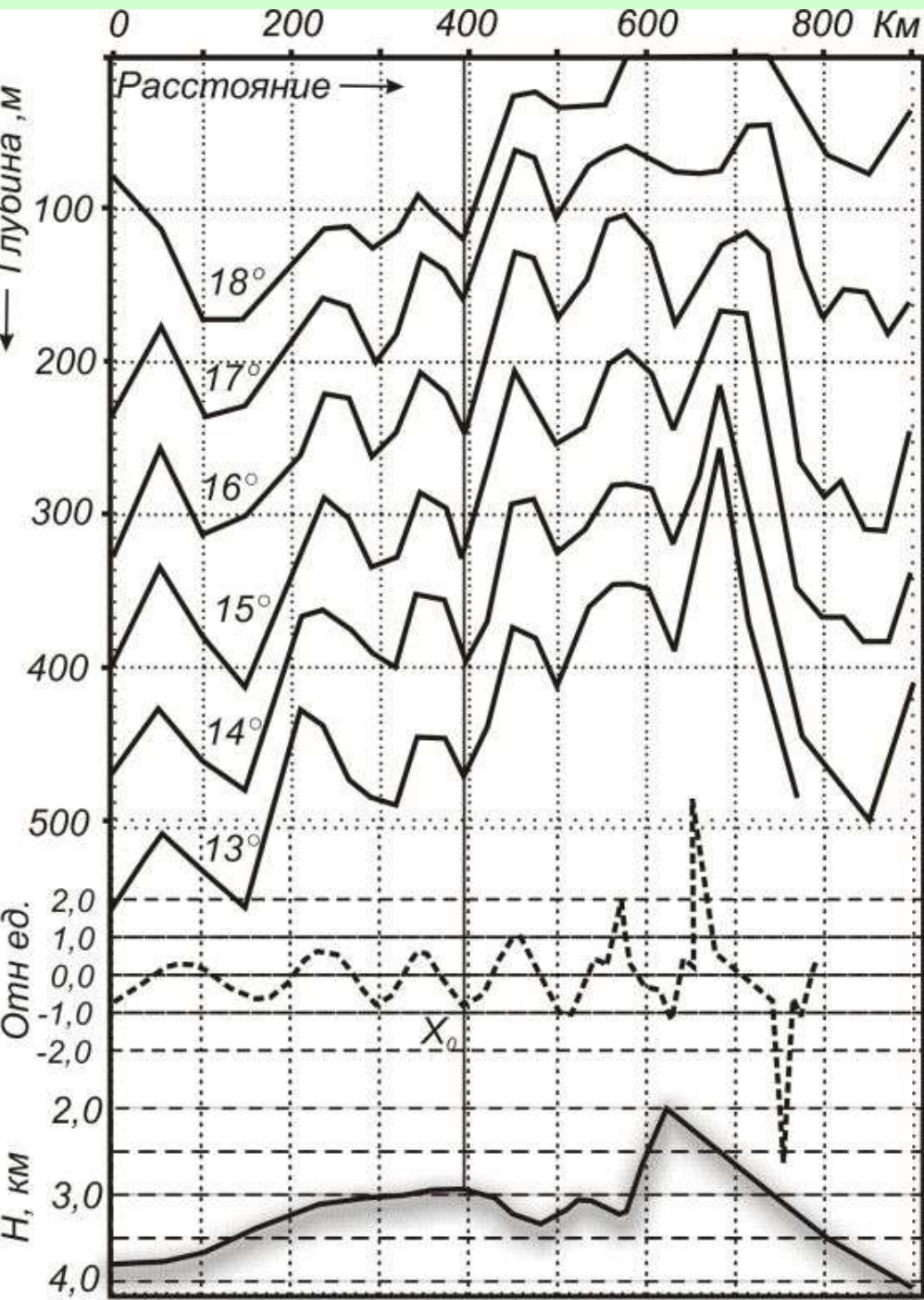


Сводная карта глубины залегания изотермы 15°С по гидрологической съёмке №1 (1), съёмке №2 (2), съёмке №3 (3), и экстраполированные положения изотерм (4).

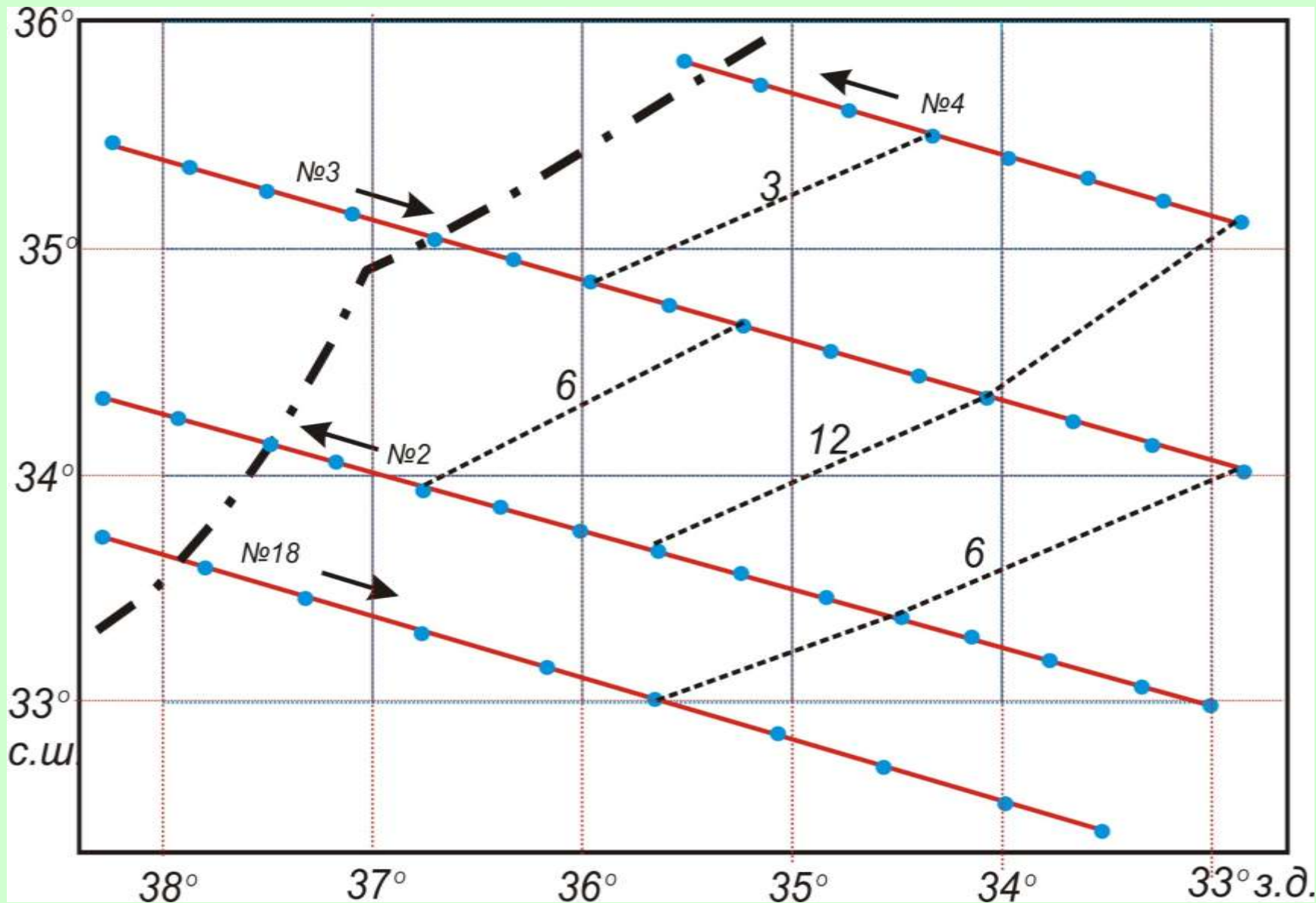
Из статьи: Корт В.Г. Краснопевцев А.Ю., Шадрин И.Ф. Эволюция мезомасштабных океанских вихрей к юго-западу от Азорских островов. Океанология, т. 23, вып. 1, 1983, с. 5-12.



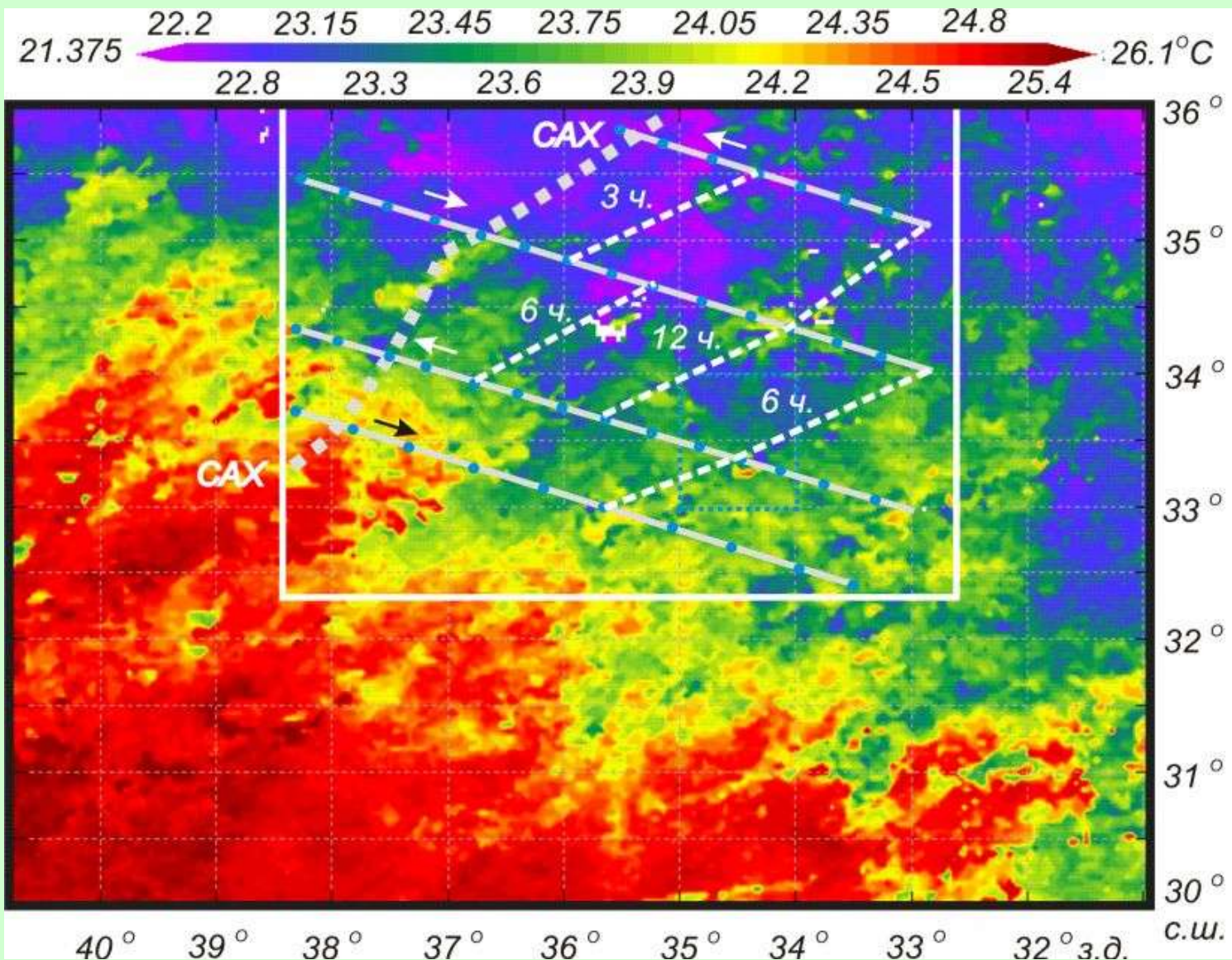
Динамическая топография вихревого поля на горизонте 400 м (относительно 1500 м) по данным трёх гидрологических съёмок и векторы орбитальных скоростей (жирные стрелки). Длинная стрелка показывает генеральное направление движения вихря; треугольниками обозначены места постановки АБС, 1-13 номера АБС, римскими цифрами I-II-III обозначены акватории гидрологических съёмок.



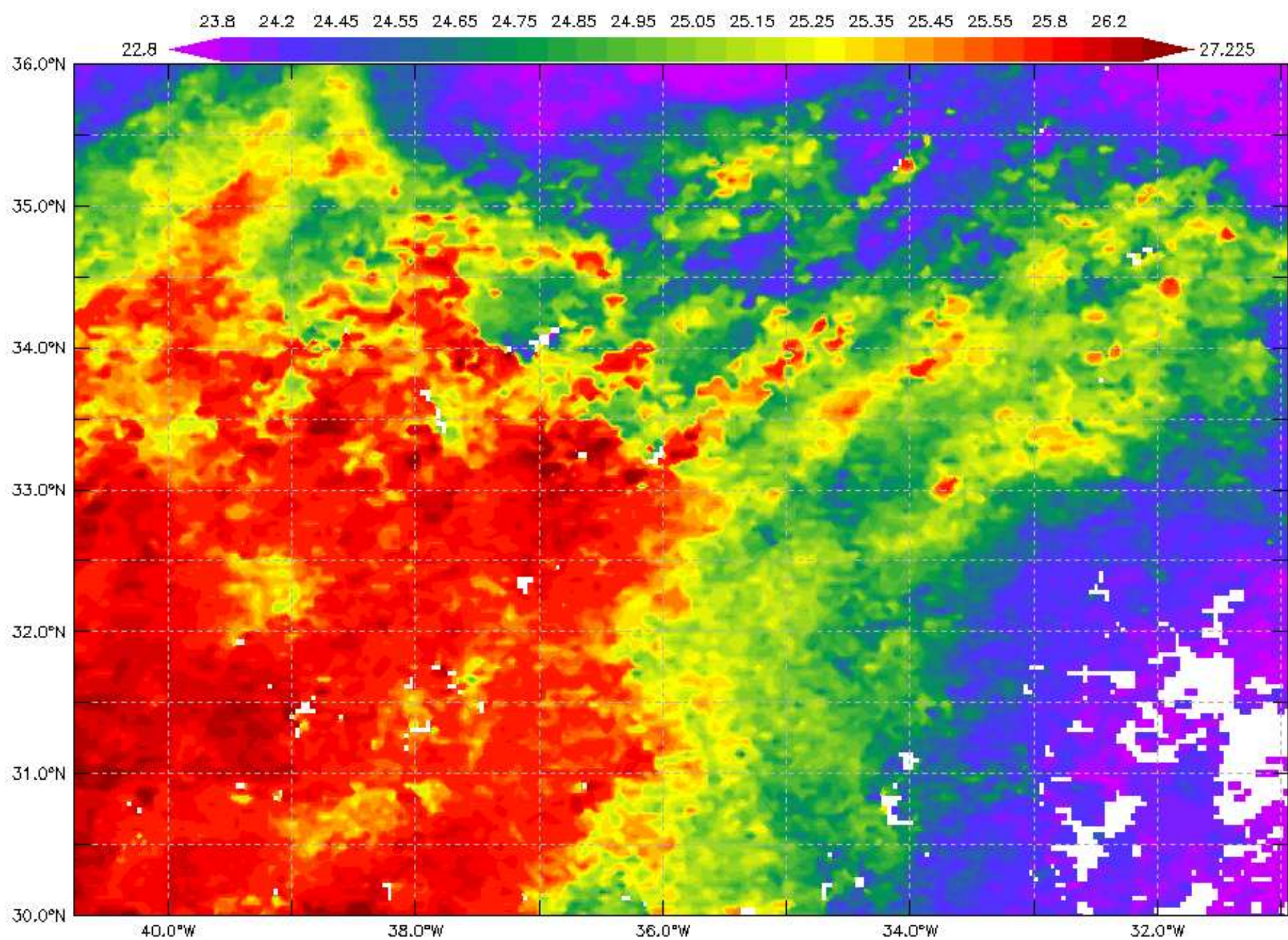
Изотермы в градусах Цельсия на разрезе № 2, поперек изобат САХ(верхняя панель). Расчёт положения обобщённой изотермы для полусуточных внутренних волн по модели (Мельников, 1982) с учётом эффекта Доплера - штриховая линия в середине рисунка; начальные условия заданы на вертикальной линии в точке  $x_0$ ; Нижняя панель - сглаженный рельеф дна САХ.



Изолинии фазы M2 внутренней волны в часах, после кульминации Луны. Ось САХ изображена штрих-пунктирной линией Поперечные к оси хребта параллельные линии - галсы судна. Стрелки - направление движения судна. Точки – зондирования при помощи теряемых термозондов (ТЗО).

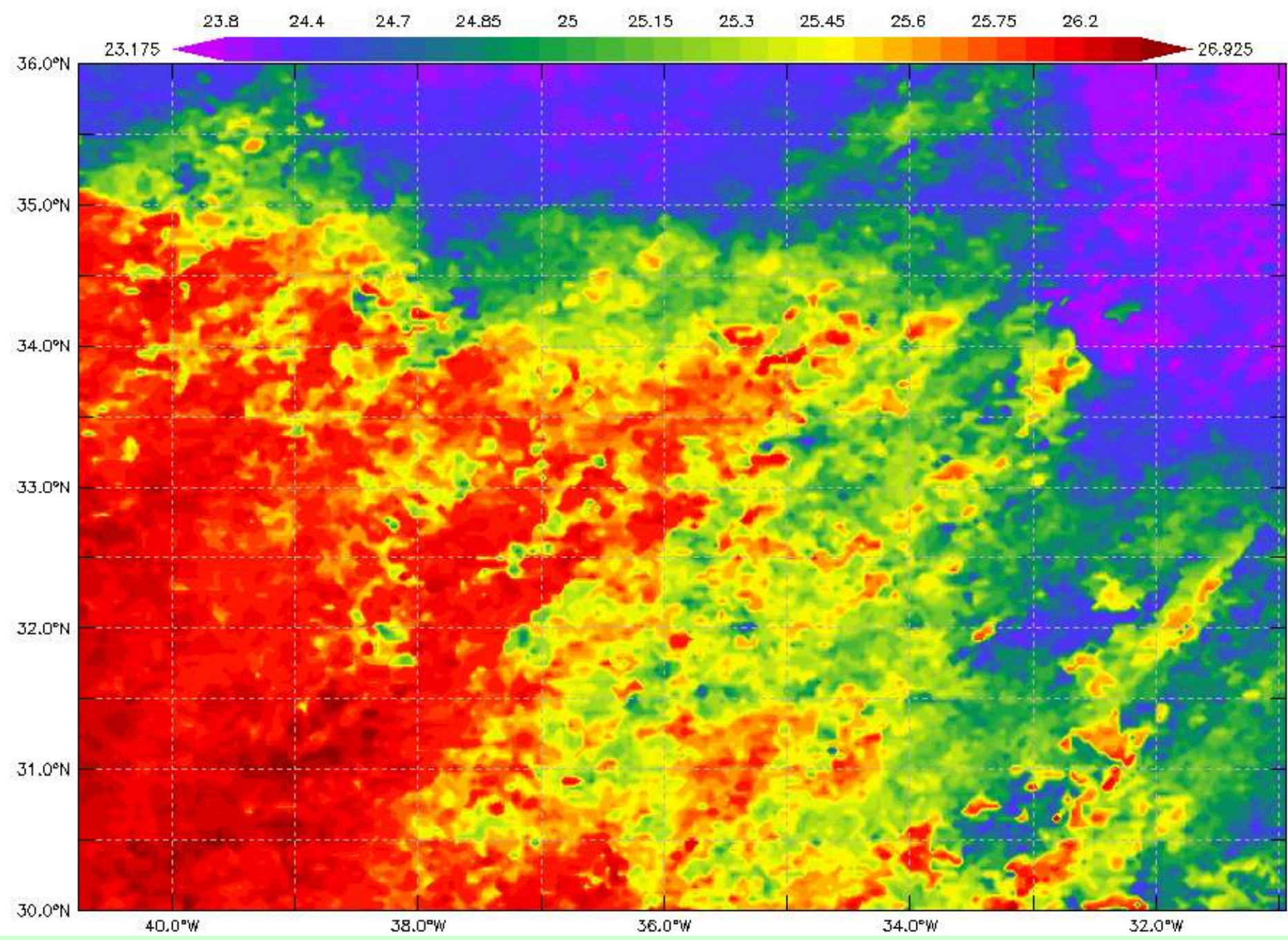


Поле ТПО на 30.06.1999. Цветовая шкала в градусах Цельсия. В белом прямоугольнике показаны изолинии фаз (в часах, после кульминации Луны) внутренней приливной  $M_2$  волны первой моды; Средняя ось CAX изображена утолщённой штриховой линией. Поперечные к оси хребта параллельные линии - галсы судна. Стрелки указывают направление движения судна. Точки – зондирования термозондами .

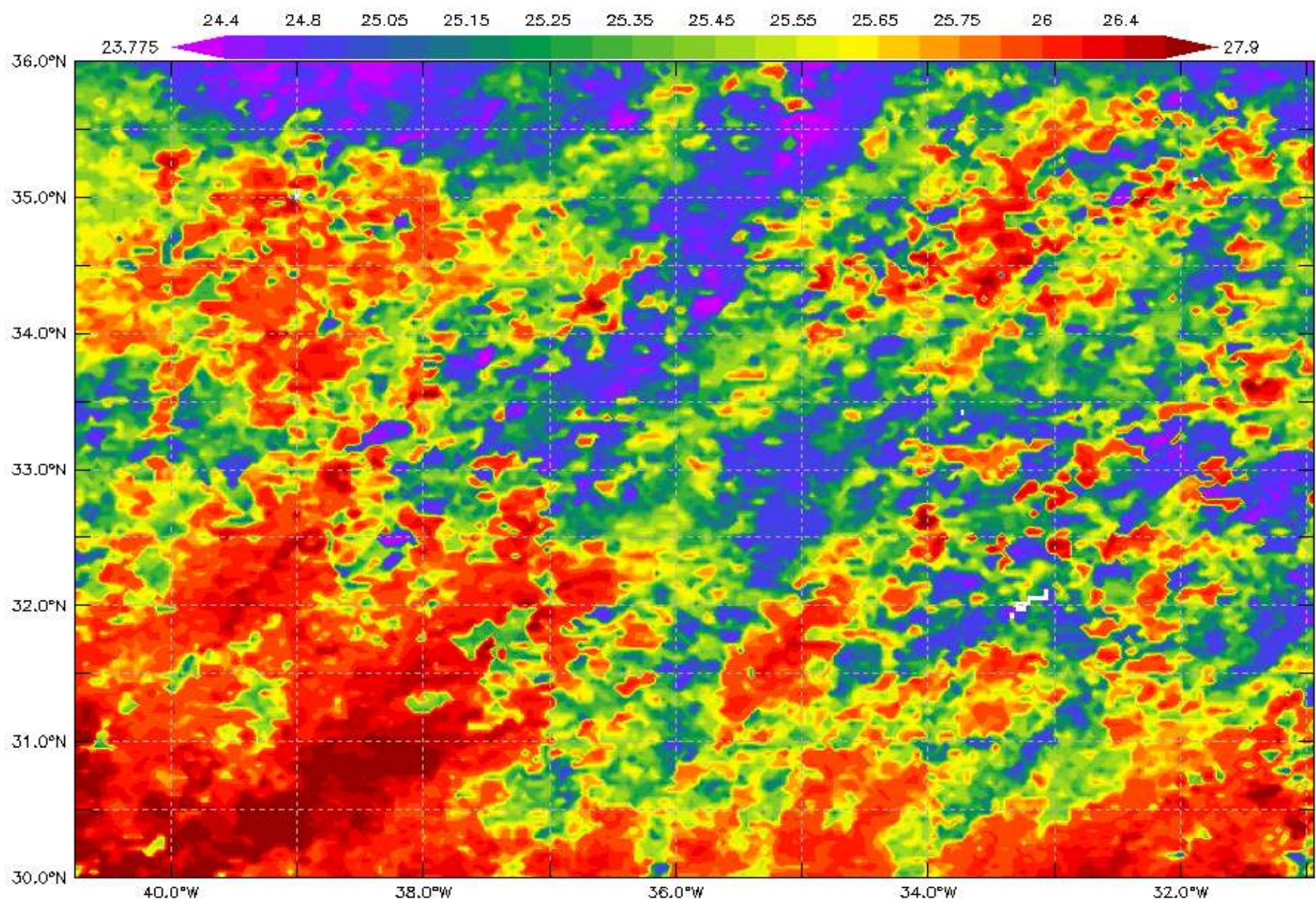


Поле ТПО на 08 июля 2007 г. Цветовая шкала в градусах Цельсия.





Поле ТПО на 31 июля 2000 г. Цветовая шкала в градусах Цельсия.

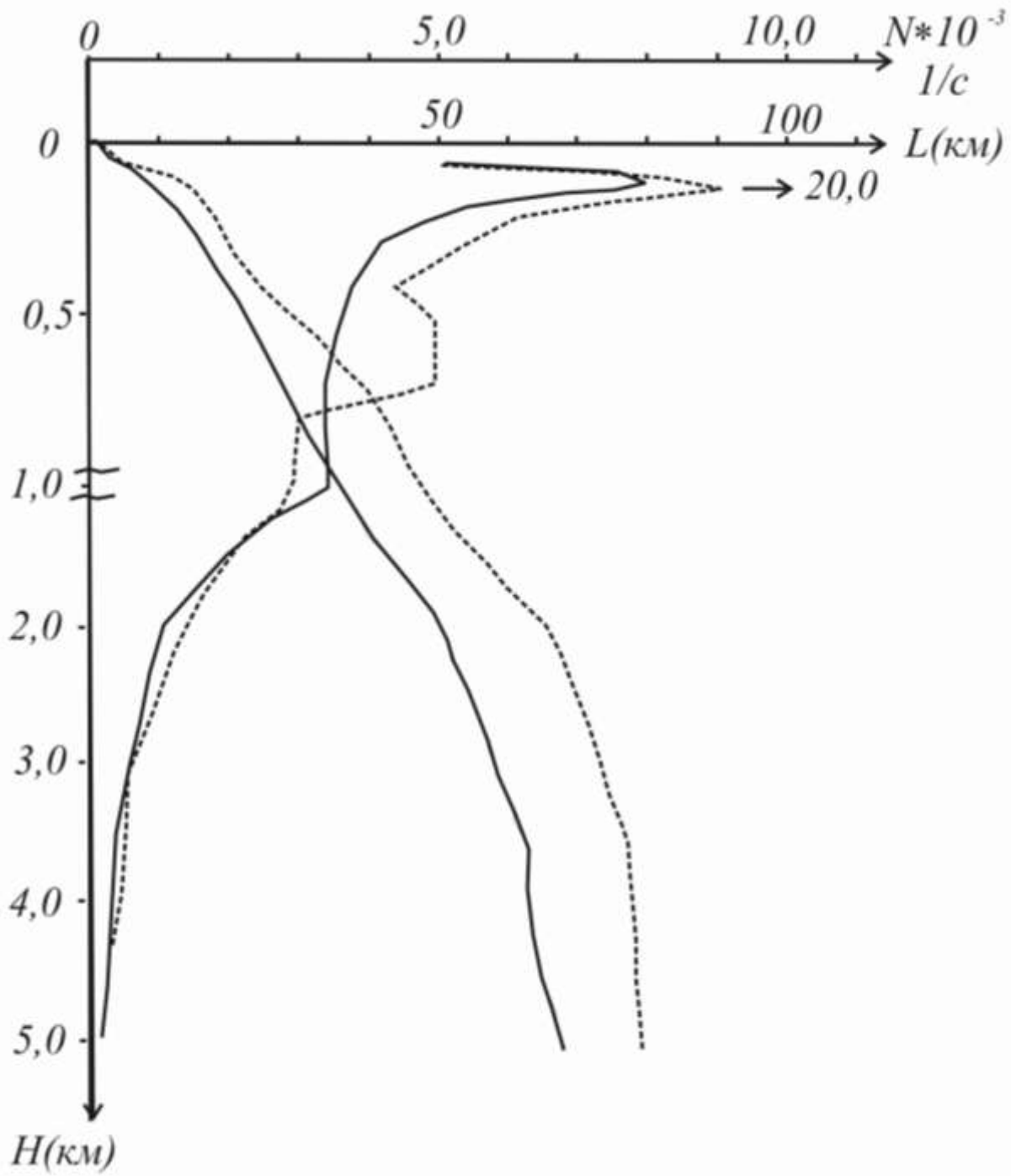


Поле ТПО на 01 августа 1995 г. Цветовая шкала в градусах Цельсия.

Интерпретация

№ разреза ТЗО	Направление разреза по азимуту, град.	Скорость судна, км/час	Средняя глубина океана, км	Высота возмущений, м	Горизонтальный масштаб возмущений, км
2	287	29	3	60-80	120-140
3	107	22	1-2,5	50-100	80-100
4	287	26	2	50-100	120-160
5	180	26	3	60-80	60-300
18	107	25	3	50-60	100-160
27	0	28	3,5	30-80	100

Параметры наблюдаемых над Срединно-Атлантическим хребтом возмущений изотерм.



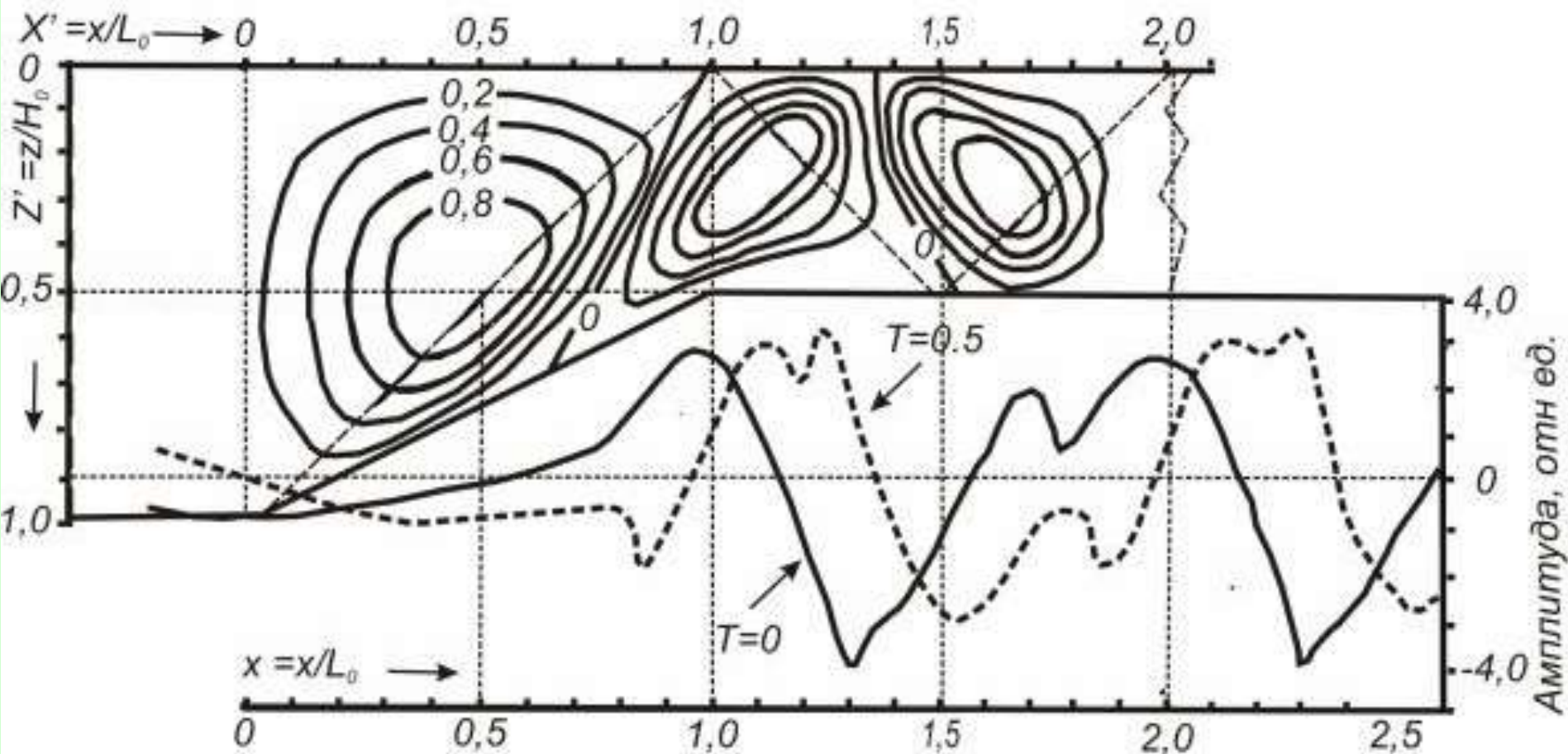
Основной горизонтальный масштаб полусуточных внутренних волн, вычисленный по стратификации, для Атлантического (сплошная) и Тихого океанов (пунктир).

Временной интервал интегрирования спектральной плотности	Горизонт измерений, метры						
	100	200	300	400	700	1000	1500
Суммарное отклонение по всему спектру	200	110-150	150	140-250	120-200	62-116	79
Синоптические вихри, 240-35 час.	-	-	-	20-167	41-64	-	-
Инерционные и суточные колебания, 35-24-15 час.	140	20	60	44-82	38-55	37-86	46
Полусуточные приливы 15-12 - 9,0 час.	66	84-103	-	73-114	64-170	39-54	50
Обертон полусуточного прилива 6,7-6.2-5,6 час.	-	53	-	37-52	24-30	41	24

Среднеквадратические отклонения температуры ( $T \times 10^{-3} (^{\circ}\text{C})$ ) в избранных частотных интервалах по данным полигона АБС, к юго-востоку от Азорских островов.

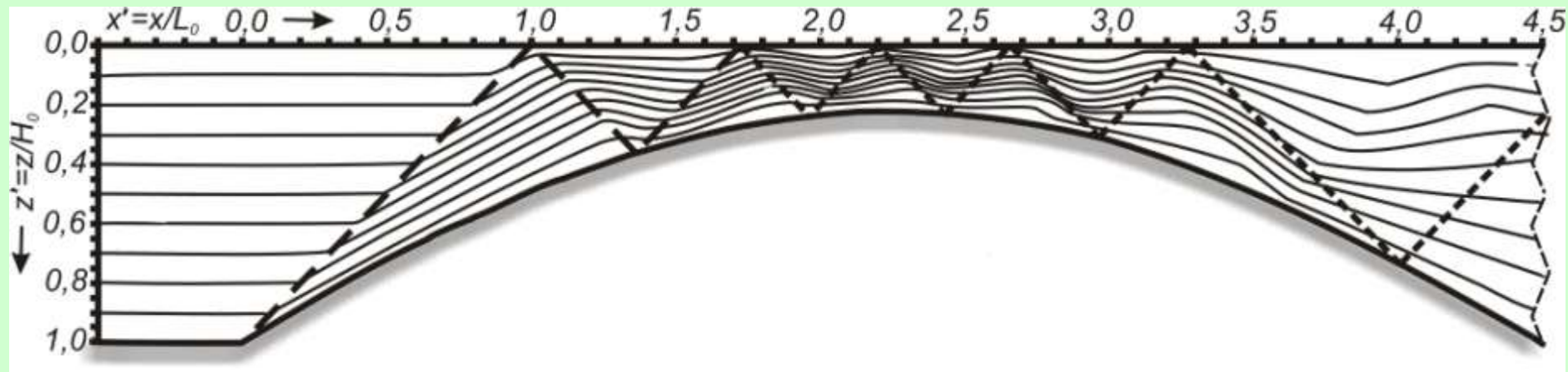
Временной интервал интегрирования спектральной плотности	Горизонт измерений, метры									
	100		200		400		1000		1500	
	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>v</i>
Суммарное отклонение по всему спектру	9,3	13	15	16	12	16	11	13	12	14
Синоптические вихри, T > 40 час.	4,4	4,5	6,6	5,2	3,8	10	3,0	6,3	2,4	4,8
Инерционные и суточные колебания, 40-24-16 час.	5,8	5,6	12,2	11,8	8,5	8,6	8,3	9,8	10,5	11,3
Полусуточные приливы 16-12 - 9,7 час.	3,9	8,9	4,9	8,3	5,1	7,3	3,3	3,3	2,8	3,4
Обертон полусуточного прилива 6.9-6.1-5.3 час.	1,5	2,3	1,5	2,1	1,7	1,6	1,9	2,2	1,8	2,2

Среднеквадратические отклонения горизонтальной(*u*) и меридиональной (*v*) компонент скорости течений (см/с) на станции АБС в точке 29 с.ш., 30 э.д.

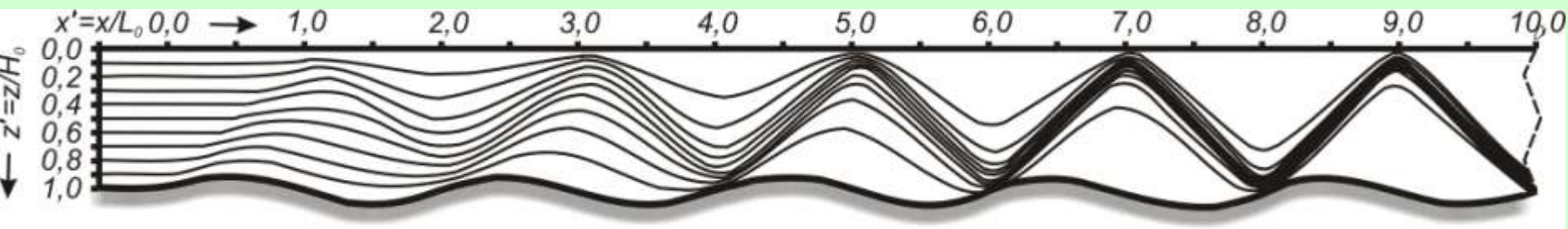


Изолинии функции тока прогрессивной внутренней волны первой моды над линейным склоном дна шириной  $x_L = 1$ , при изменении глубины от  $H_1 = 1$  до  $H_2 = 0,5$ , в безразмерных координатах, в момент времени равному четверти периода. Штриховая линия - характеристики (верхняя панель). Амплитуды волны на уровне  $Z = 0.05$  в начальный момент времени (сплошная) и через четверть периода (пунктир) - нижняя панель.

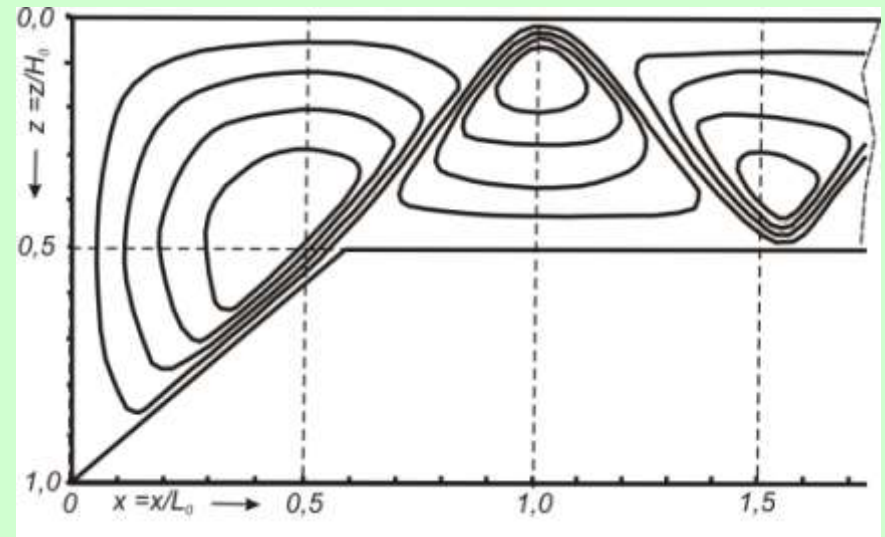
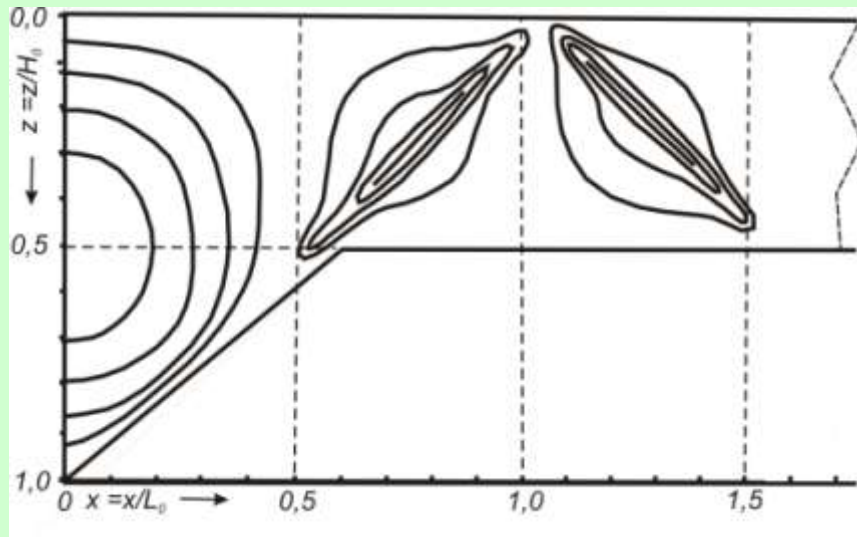




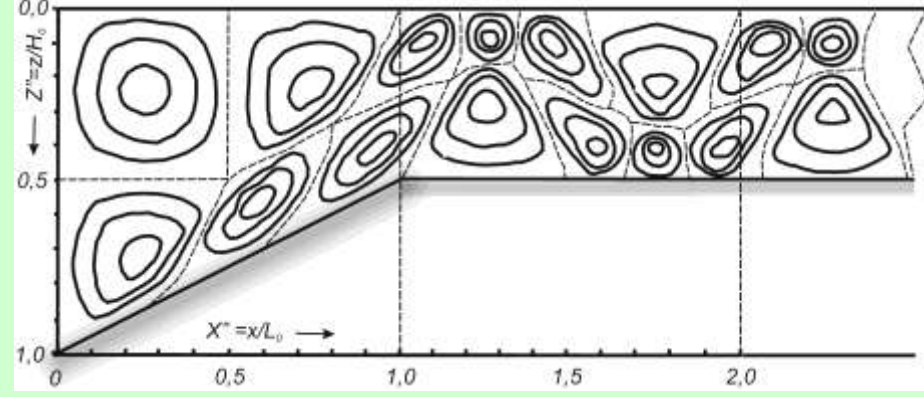
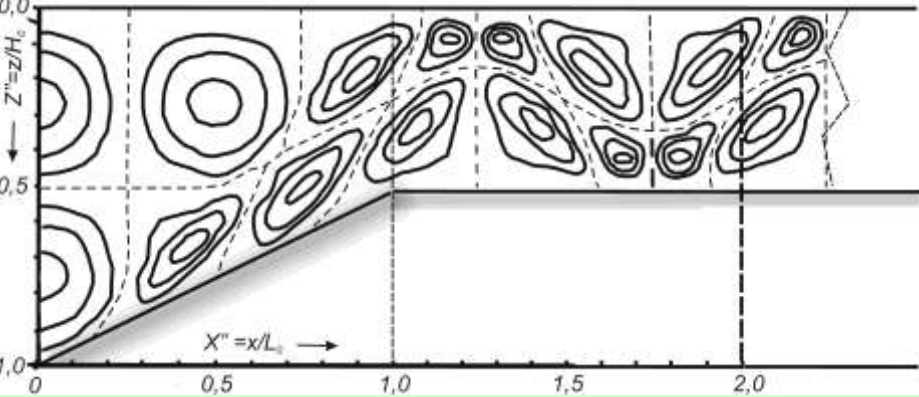
Изолинии функции тока баротропной приливной волны ;для модели подводного хребта при  $x_L = 10 H_1$  в безразмерных координатах . Горизонтальный масштаб изменения рельефа дна  $L_{bottom}$  много больше масштаба длины  $L_{IW}$  внутренней волны ( $L_{bottom} \gg L_{IW}$ ). Штриховой линией показаны характеристики.



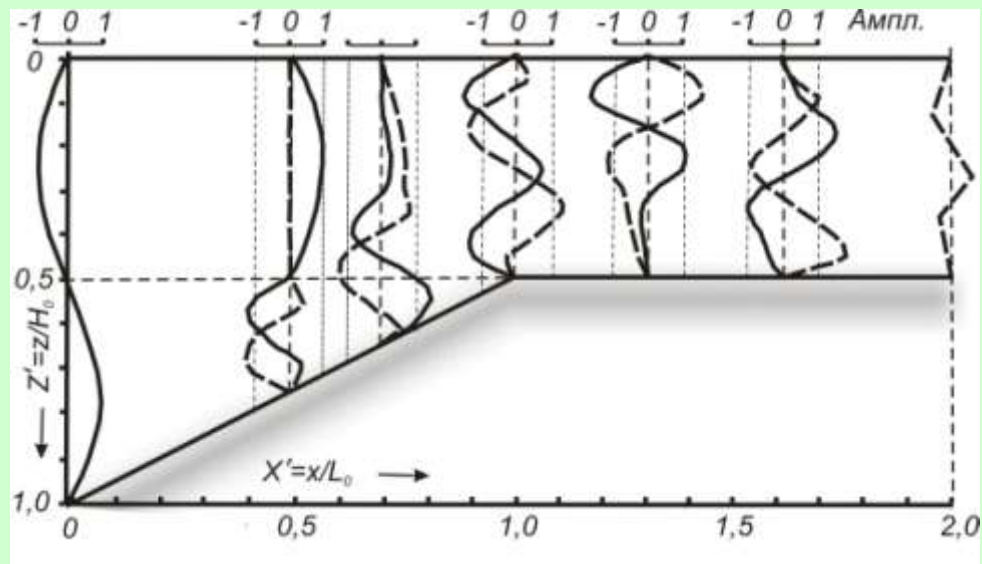
Изолинии функции тока баротропной приливной волны над дном в виде синусоиды при  $x_L = 2 H_1$  в безразмерных координатах . Горизонтальный масштаб изменения рельефа дна порядка масштаба .длины внутренней волны ( $L_{bottom} \sim L_{IW}$ ).



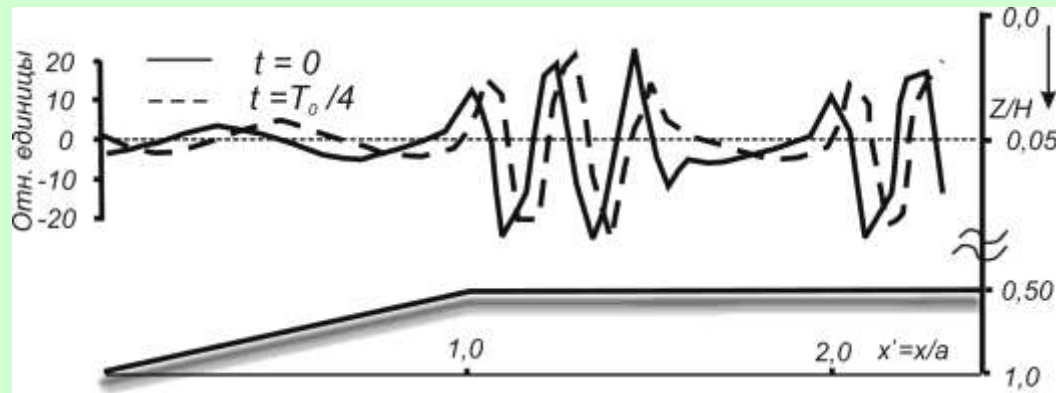
Изолинии функции тока ( $\Psi_0 = 0.2; 0.4; 0.6; 0.8$ ) прогрессивной приливной волны первой моды над близким к критическому линейным склоном дна при изменении глубины от  $H_1 = 1$  до  $H_2 = 0,5$ ,  $x_L = 0.6$  в безразмерных координатах, в начальный момент времени (слева) и через четверть периода (справа).



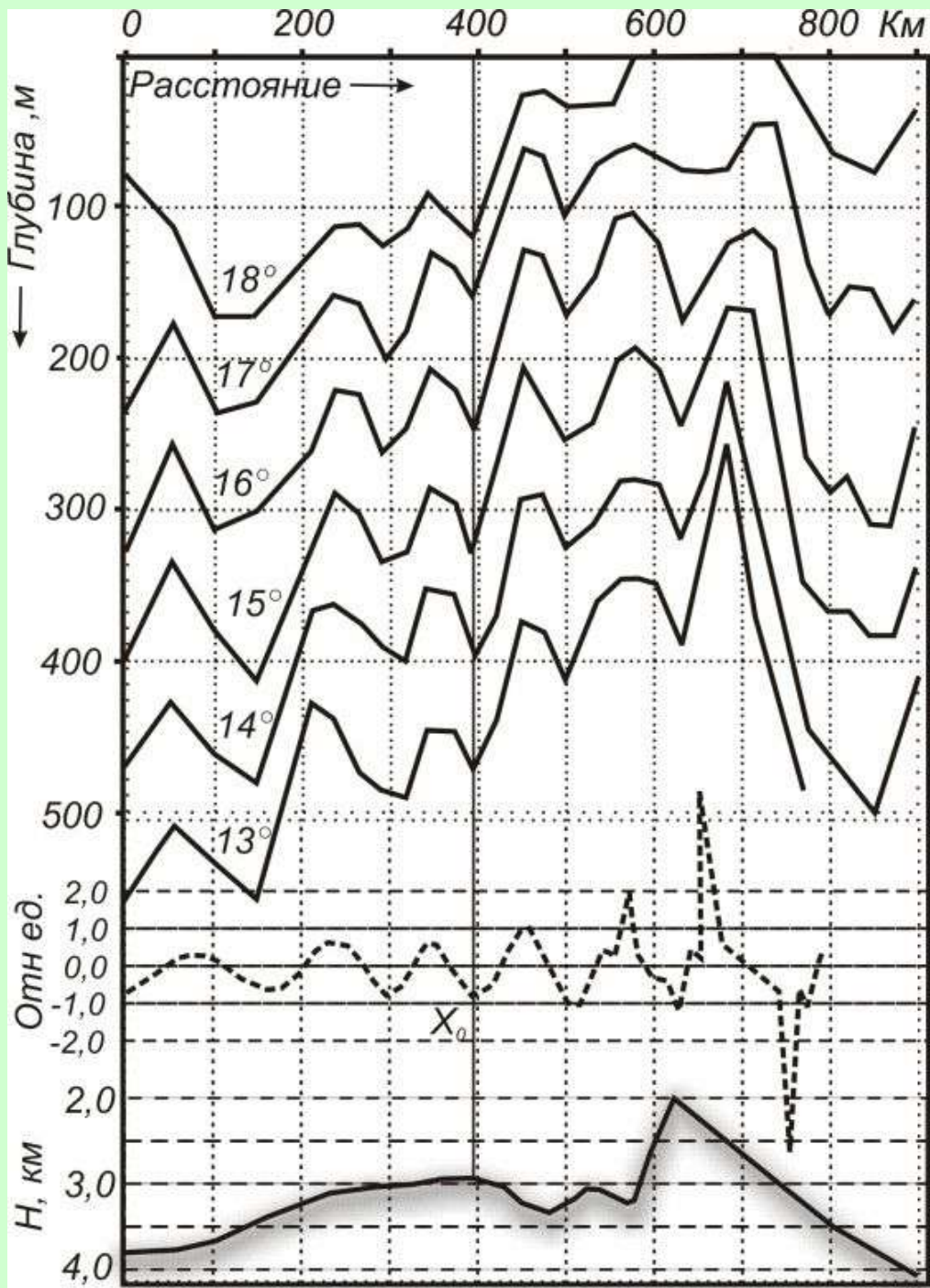
Изолинии функции тока ( $\Psi_0 = 0.3; 0.6; 0.9$ ) прогрессивной приливной волны второй моды при линейном изменении глубины от  $H_1 = 1$  до  $H_2 = 0,5$ ,  $x_L = 1$  в безразмерных координатах, в начальный момент времени (слева) и через четверть периода (справа).



Распределения по вертикали амплитуд прогрессивной волны второй моды на вертикальных сечениях вдоль склона при линейном изменении глубины от  $H_1 = 1$  до  $H_2 = 0,5$ ,  $x_L = 1$  в начальный моменты времени (сплошная) и через четверть периода (пунктир).



Процесс дробления масштаба длины внутренних волн. Амплитуды волны второй моды на уровне  $Z' = 0.05$  при линейном уменьшении глубины от  $H_1 = 1$  до  $H_2 = 0,5$ ,  $x_L = 1$  в безразмерных координатах, в начальный момент времени (сплошная) и через четверть периода (пунктир).




Изотермы в градусах Цельсия на разрезе № 2, поперек изобат САХ(верхняя панель). Расчёт положения обобщённой изотермы для полусуточных внутренних волн по модели (Мельников, 1982) с учётом эффекта Доплера - штриховая линия в середине рисунка; начальные условия заданы на вертикальной линии в точке  $x_0$ ; нижняя панель - сглаженный рельеф дна САХ.

## **Выводы**

1. Дополнение измерений *in-situ* спутниковыми данными предоставляет существенно новые возможности для изучения разномасштабных гидрофизических процессов в океане.
2. По спутниковым данным на Полигоне выделяется крупномасштабная зона Азорского фронта, шириной порядка *400-500 км*. Фронту соответствует меандрирующее Азорское течение при средней плотности кинетической энергии геострофических течений на поверхности океана  $\sim 160 \text{ см}^2/\text{с}^2$ . На поверхности акватории наблюдаются вытянутые вдоль оси хребта полосы с пониженной температурой.
3. Обнаруженные на оперативных разрезах в верхнем *500*-метровом слое океана, над восточным склоном САХ, регулярные волновые структуры с масштабом длины  $\sim 120 \text{ км}$ , амплитудой  $\sim 30-40 \text{ м}$ , обусловлены крупномасштабной полусуточной внутренней волной первой моды, распространяющейся от оси хребта на юго-восток.
4. Фронты этой волны расположены параллельно оси САХ и имеют протяжённость около *500 км*. Вероятной областью генерации волны является гигантский уступ, с перепадом глубин *1.5 км* на расстоянии *50 км*, протяжённостью вдоль оси САХ порядка *500 км*.
5. Выбросы холодных вод на поверхность океана обусловлены большими вертикальными скоростями  $\sim 0.3 \text{ см/с}$ , создающимися при обтекании приливными течениями рельефа дна близкого к критическому, в области крупномасштабного уступа на склоне САХ.

## Литература

1. *Бышев В.И., Иванов Ю.А., Харламов А.И.* Инерционные и приливные движения на полигоне в восточной части Северной Атлантики // *Океанологические исследования*. 1984. № 36. С. 17-22.
2. *Корт В.Г.* 31-й рейс научно-исследовательского судна "Академик Курчатов" (основные научные результаты) // *Океанология*. 1981. Т 21. №1. С. 183-187.
3. *Корт В.Г., Краснопевцев А.Ю., Шадрин И.Ф.* Эволюция мезомасштабных океанских вихрей к юго-западу от Азорских островов // *Океанология*. 1983. Т. 21, №1. С. 5 -12.
4. *Корт В.Г., Веренчиков Н.Н.* Географическое распределение мезомасштабных вихрей в восточной части Северной Атлантики // *Океанологические исследования*. 1984. № 36. С.50-54.
5. *Мельников В.А.* Влияние рельефа дна на внутренние волны // *Изв. АН СССР. Физ. атм. и океана*. 1982. Т.18. № 7. С.775-778.
6. *Мельников В.А.* Низкомодовые полусуточные внутренние волны вблизи Срединно-Атлантического хребта // *Океанологические исследования*. 1988. № 41. С. 73-82.
7. *Мельников В.А.* Топографические внутренние волны в северо-восточной части Атлантического океана // *Девятая открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. Секция: Дистанционные исследования поверхности океана и ледяных покровов. Тезисы. Москва. ИКИ РАН. 2011. С. 276.
8. *Морозов Е.Г., Никитин С.В.* Распространение внутренних полусуточных волн в районе с меняющимся рельефом дна // *Океанологические исследования*. 1984. № 36. С. 44-49.
9. *Bashmachnikov I., Neves F., Nascimento Â., Medeiros J., Ambar I., Dias J., Carton X.* Temperature–salinity distribution in the northeastern Atlantic from ship and Argo vertical casts // *Ocean Sci*. 2015. Vol.11. P.215–236.
10. *Gould W. J.* Physical oceanography of the Azores front // *Progr. Oceanogr*. 1985. Vol.14. P.167– 190.
11. *Kase R. H., Siedler G.* Meandering of the subtropical front, south-east of Azores // *Nature*. 1982. Vol.300. P.245–246.
12. *Klein B., Siedler G.* On the origin of the Azores current // *J. Geophys. Res*. 1989. Vol. 94, P. 6159– 6168.
13. *Le Traon P.-Y., De Mey P.* The eddy field associated with the Azores Front east of the Mid-Atlantic Ridge as observed by the Geosat altimeter // *J. Geophys. Res*. 1994. Vol. 99, No. C5. P. 9907-9923.
14. *Munk W.H., Wunsch C.* Abyssal recipe II: Energetics of tidal and wind mixing // *Deep-Sea Research. Part I*. 1998. Vol.45. P. 1977–2010.
15. *Rudnick, D. L., Luyten J. R.* Intensive surveys of the Azores Front, I, Tracers and dynamics // *J. Geophys Res*. 1996. Vol.101. No. C1. P. 923-939.
16. *Siedler G., Onken R.* Eastern Recirculation. // In: W. Krauss (Ed.), *The Warmwatersphere of the North Atlantic Ocean*, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart. 1996. Ch. 1. P. 339-364.
17. *Smith W. H. F., Sandwell D.T.* Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings // *Science*. 1997. Vol. 277. P. 1957-1962.
18. *Tychensky A., Le Traon P. Y., Hernandez F., Jourdan D.* Large structures and temporal change in the Azores Front during the Semaphore experiment // *J. Geophys. Res*. 1998. Vol. 103. P.25009–25027.
19. *Volkov D. L., L.-L. Fu.* Interannual variability of the Azores Current strength and eddy energy in relation to atmospheric forcing // *J. Geophys. Res*. 2011. Vol.116. № C11011. P.1-12.



Благодарю  
за внимание

*Мельников Василий Андреевич,  
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН,  
Тел. 916 241 87 16  
[vmelnikov@ocean.ru](mailto:vmelnikov@ocean.ru)*