

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ВДОЛЬ МЕРИДИОНАЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ

Е.А. Агафонов, Ю.В. Артамонов,
А.С. Кукушкин, Ю.А. Прохоренко

Морской гидрофизический институт НАН
Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: ocean @ alpha.mhi.iuf.net

По данным гидрологических и гидро-оптических наблюдений в 50-м рейсе НИС «Михаил Ломоносов» проанализированы распределения динамических высот, температуры, солености, плотности и показателя ослабления света на 9-ти меридиональных разрезах в северо-восточной части Тропической Атлантики.

Введение. Сходство в распределении гидрооптической характеристики - показателя ослабления света (ПОС) морской водой, гидрологических характеристик и динамики вод было замечено давно [1-4]. Это объясняется тем, что распределение взвеси, определяющее структуру поля прозрачности, формируется в зависимости от гидрологических условий и особенностей циркуляции вод. Однако, это сходство выявлено обычно по данным эпизодических наблюдений на отдельных разрезах или в ограниченных районах океана без детального анализа совместных горизонтальных распределений ПОС и гидрологических характеристик. Обработка данных крупномасштабных оксанографических съемок, выполненных судами МГИ НАНУ в рамках программы «РАЗРЕЗЫ» позволяет заполнить этот пробел.

В данной работе представлены результаты анализа горизонтальных распределений ПОС и гидрологических характеристик, измеренных в поверхностном слое океана в 50-м рейсе НИС "Михаил Ломоносов" (20 июня - 30 июля 1988 г.).

Материалы и методика. Для анализа использованы данные 159 станций, расположенных на 9 меридиональных разрезах полигона, ограниченного $29^{\circ}30' - 5^{\circ}30'$ з.д. и 2° ю.ш. - 12° с.ш. Расстояние между станциями на разрезах - 30 миль, между разрезами - 180 миль.

Гидрологические измерения проводились СТД-зондом ИСТОК. Динамическая топография на поверхности рассчитывалась относительно отсчетной поверхности 500 дб. Гидрооптические наблюдения на станциях выполня-

лись с помощью буксируемого комплекса МГИ 2201, используемого в режиме зондирования и измеряющего ПОС на длине волны 425 нм и температуру [5].

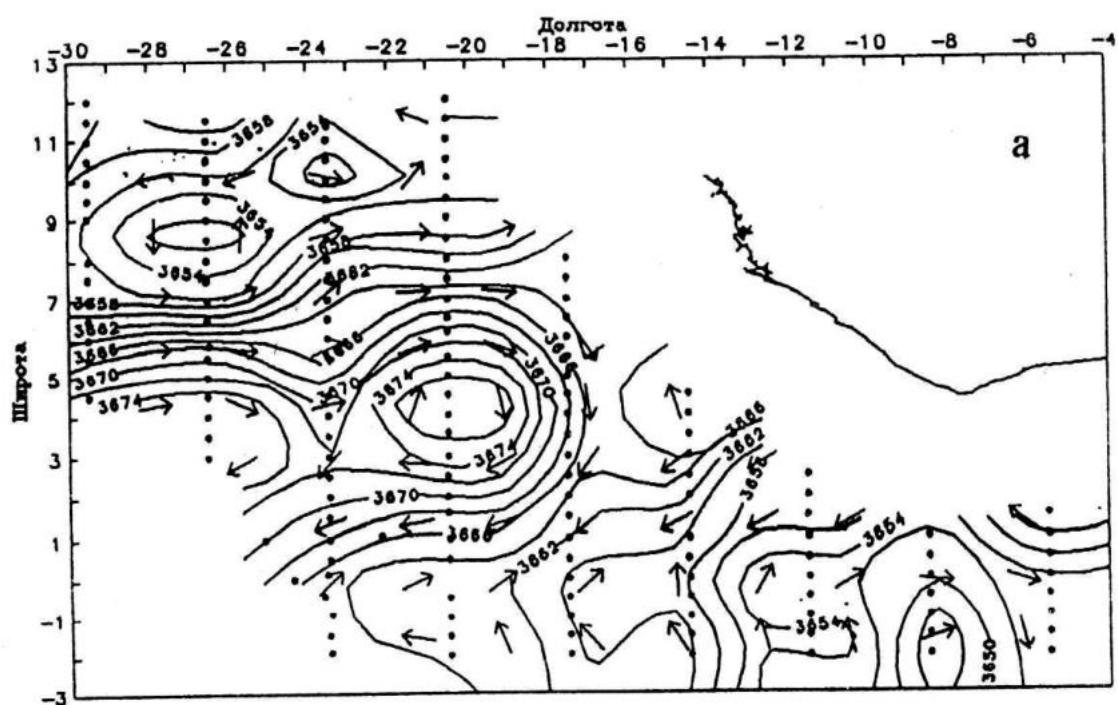
Анализ результатов. Распределение динамических высот (рис. 1а) показывает, что район исследований находился под влиянием нескольких известных крупномасштабных течений. На полигоне, севернее примерно 10° с.ш., отмечалось повышение динамического рельефа. Согласно существующим представлениям [6], здесь находится Северное Пассатное течение (СПТ). По данным настоящей съемки его воды в поверхностном слое характеризовались относительно низкой температурой (рис. 1б), повышенной соленостью и плотностью. Южнее, между 7° и 10° с.ш. (с некоторым смещением в северо-восточном направлении), наблюдалась область минимальных значений динамических высот, что свидетельствовало о преобладающей здесь циклонической циркуляции вод. Согласно [7] эта кинематическая структура является восточной частью крупномасштабного круговорота Тропической Атлантики - Северного тропического циклонического круговорота (СТЦК).

Резкое повышение динамического рельефа, на широтах $4^{\circ} - 7^{\circ}$ с.ш. на западной границе полигона и широтах $4^{\circ} - 9^{\circ}$ с.ш. в центральной части, характеризует поток на восток - Межпассатное противотечение (МП). К востоку от 26° з.д. наблюдалась тенденция к разделению МП на северную и южную ветви. В зоне МП отмечены высокие горизонтальные градиенты гидрологических характеристик на поверхности, однако, в силу непосредственного влияния атмосферы (дрейфовые течения, теплообмен) положение фронтов на поверхности не совсем совпадало со стрежнем геострофического течения.

Южнее Межпассатного противотечения, на широте примерно $3^{\circ} - 4^{\circ}$ с.ш., отмечены наибольшие значения динамического рельефа, характеризующие антициклоническое направление геострофического потока. Эта кинематическая структура, согласно [7], является проявлением восточной части Северного тропического антициклонического круговорота (СТАК). На широтах примерно $1^{\circ} - 3^{\circ}$ с.ш. наблюдалось геострофическое течение западного направления, которое известно под названием как Северная ветвь Южного пассатного течения (СВ ЮПТ) [7]. Южная граница СВ ЮПТ в поверхностном слое отмечалась хорошо выраженным фронтом в поле температуры, солености и плотности.

В районе экватора наблюдалась ложбина динамического рельефа с минимальной температурой и повышенные значения солености и

Дин. высота, дин.см 0-500 дб



Температура на глубине 5 м

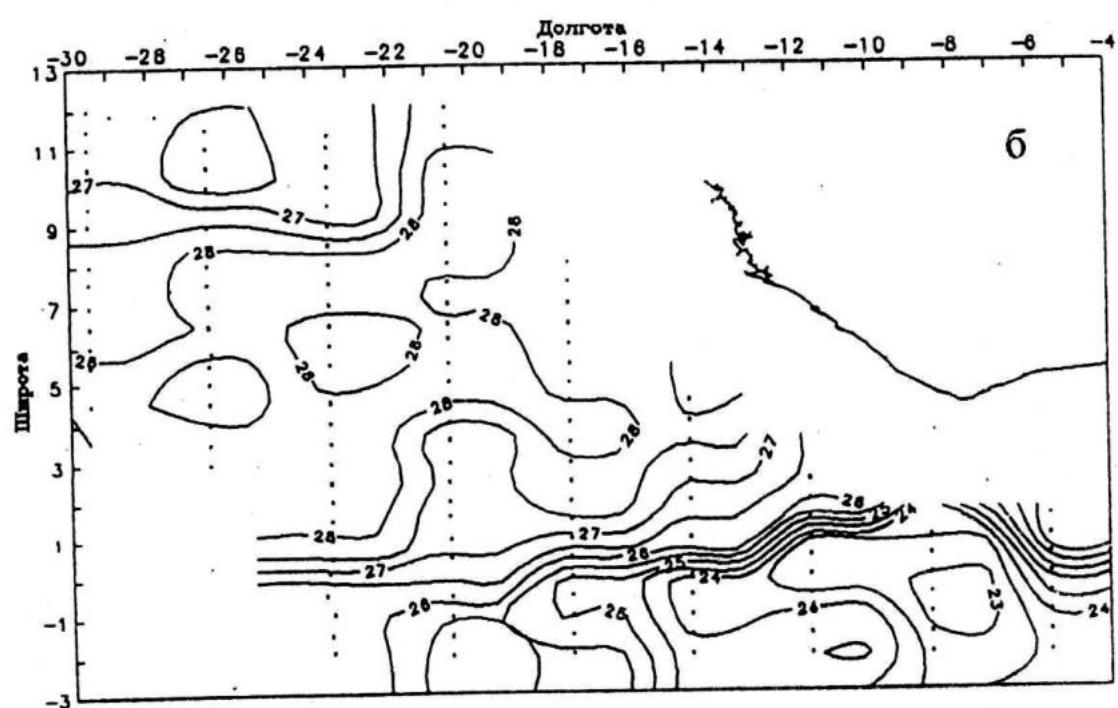


Рис. 1. Схемы динамической топографии поверхности океана относительно 500 дб (а) и распределения температуры на горизонте 5 м (б).

плотности. Такое распределение гидрофизических характеристик является четким признаком присутствия здесь подповерхностного потока восточного направления - Течения Ломоносова (ТЛ) [8].

В работе проведен детальный анализ распределений гидрофизических параметров и ПОС, полученных на станциях 9-ти меридиональных разрезов, (рис.2). Ниже приводится краткое описание результатов этого анализа для каждого из 9 разрезов.

Разрез по 29° 30' з.д. Межпассатное противотечение располагалось между 4° и 7° с.ш. В поле солености здесь регистрировались минимальные значения солености $S=35.2\text{‰}$, что характерно для поверхностного слоя этого течения (рис. 2). Понижение солености, особенно в летний период, связано как с выносом в Центральную Атлантику низкосоленных амазонских вод в системе: Гвианское течение - Межпассатное противотечение, так и с влиянием внутритропической зоны конвергенции, которое ведет к распределению вод вследствие большого количества осадков. Минимальная динамическая высота (ось СТЦК) наблюдалась на 8° с.ш. Далее в северном направлении отмечался рост динамических высот, сопровождавшийся увеличением солености и условной плотности при понижении температуры. Подобное распределение гидрологических элементов в северной части разреза свойственно южной пограничной области Северного субтропического антициклонического круговорота (ССАК), где действует СПГ.

Таким образом, структура ПОС на данном разрезе формировалась под влиянием двух кинематических структур - хорошо выраженного Межпассатного противотечения и Северного пассатного течения. Следует отметить, что минимум ПОС отмечался в зоне максимальных градиентов в распределениях солености и плотности на 9°-10° с.ш. К северу от этой зоны регистрировались наиболее соленые на разрезе воды центральной части ССАК, в которых наблюдался рост ПОС. Второй минимум ПОС на 6° с.ш. располагался непосредственно в зоне максимального передела динамических высот в зоне МП. Максимум ПОС (8° с.ш.) располагался на оси СТЦК и совпадал с зоной подъема глубинных вод. Увеличение ПОС отмечалось на юге разреза в зоне МП, где зарегистрирована максимальная температура и минимальная соленость, т.е. в зоне наибольшего влияния ВЗК.

В целом для разреза характерно совпадение минимальных значений ПОС с повышенными горизонтальными градиентами гидрологических характеристик (солености, плотности и динамических высот), тогда как максимальные

значения совпадали с зоной дивергенции между МП и СПГ и зоной ВЗК.

Разрез по 26° 30' з.д. На этом разрезе МП наиболее резко было выражено между 5° и 6° 30' с.ш. Севернее 9° с.ш. наблюдался поток западного направления, представлявший СПГ. Граница между СПГ и МП характеризовалась высокими горизонтальными градиентами всех гидрологических характеристик в поверхностном слое. Здесь же (9° с.ш.) регистрировалось резкое увеличение ПОС, которое, по-видимому, связано с влиянием дивергенции, существующей на границе двух течений, обуславливающей увеличение взвеси в результате подъема глубинных вод, богатых биогенными веществами.

Второй, менее выраженный, максимум ПОС зарегистрирован в районе 5°-6° с.ш. в зоне МП. Минимумы ПОС наблюдались в районах северной (7°-8° с.ш.) и южной (4°-5° с.ш.) границ МП и в зоне СПГ (11° с.ш.), где отмечались локальные минимумы температуры и максимум солености.

Разрез по 23° 30' з.д. Межпассатное противотечение располагалось на этом разрезе между 3° и 10° с.ш. К северу между 10° и 11° с.ш., как следует из распределения динамических высот, регистрировалась южная граница СПГ. Необходимо отметить, что зона максимальных горизонтальных градиентов гидрологических параметров в поверхностном слое вод смешена на 1-2° южнее относительно границы МП и СПГ. Аналогичное смещение наблюдалось в положении минимума ПОС, которое регистрировалось на 8° с.ш., т.е. близко к зоне максимальных градиентов температуры, солености и плотности. Соседний максимум ПОС, между 6° 30' и 7° с.ш., был ближе к локальным минимумам солености и плотности и максимуму температуры на поверхности.

К югу от 3° с.ш. и вплоть до экватора регистрировалось уменьшение динамической высоты, что свидетельствовало о движении вод на запад (СВ ЮПГ). В поверхностном слое эта взвесь несет воды относительно низкой солености (35.2-35.3‰) и высокой температуры (28°C). На 3°-4° с.ш., где располагалась граница между МП и СВ ЮПГ, регистрировался второй максимум ПОС. Локальный минимум ПОС на 2° с.ш. располагался на границе геострофических течений различного направления. Можно утверждать, что экстремальные значения ПОС располагались на этом разрезе в зонах смены знаков геострофических течений. В районе экватора вплоть до южной границы разреза (2° ю.ш.) отмечалось незначительное изменение динамической высоты. Однако, наряду с этим здесь же регистрировалось резкое изменение температуры, солености и плотности соответствующее минимальному

значению ПОС. Течение Ломоносова, определенное по положению ядра максимальной солености, а также расширению термоклина и пикноклина, располагалось между экватором и 1° ю.ш. Судя по положению изотерм и изохалин в верхнем 50 м слое, экваториальная дивергенция располагалась в районе $0^{\circ} 30'$ – $1^{\circ} 30'$ ю.ш. Южнее экватора на 1° ю.ш. регистрировался минимум температуры (26°C), высокая соленость ($S=36\%$) и высокая плотность. Такая ситуация типична для зоны экваториальной дивергенции, где холодные высокосоленые воды, обогащенные биогенами, поднимаются к поверхности, что приводит к увеличению первичной продукции, а значит и к росту ПОС, которое зарегистрировано на этом участке разреза.

Разрез по $20^{\circ} 30'$ з.д. Межпассатное противотечение располагалось между 4° - 5° и 10° с.ш. Севернее 10° с.ш. уже фиксировались признаки СПГ. Северная ветвь ЮПГ наблюдалась между 1° - $4^{\circ} 30'$ с.ш. К югу от 1° ю.ш. четко прослеживалась Центральная ветвь ЮПГ. Следует отметить, что градиенты температуры, солености и условной плотности более слажены в сравнение с предыдущим разрезом. Максимумы ПОС зарегистрированы на северной границе полигона в зоне СПГ, где значения температуры, солености и плотности также максимальны, на границе между СПГ и МП (в зоне дивергенции) и в стражне МП ($7^{\circ} 30'$ - 8° с.ш.). Между этими максимумами на широтах 9° с.ш. и между 10° и 11° с.ш. наблюдались минимальные значения ПОС. Наиболее заметное снижение ПОС на разрезе наблюдалось в районе 2° - 4° с.ш., расположенному несколько южнее границы между СВ ЮПГ и МП. На этом же участке разреза отмечалась наибольшая величина квазиднородного слоя по температуре и солености, что связано с зоной конвергенции на границе этих двух течений. Здесь также наблюдалась минимальная соленость, обусловленная распределяющим влиянием осадков во внутритеческой зоне конвергенции. Небольшие значения ПОС свидетельствуют, видимо, о низком уровне первичной продукции.

Максимум ПОС наблюдался к югу от экватора на 1° ю.ш. Он обусловлен экваториальной дивергенцией вод в верхней части Течения Ломоносова, которая в период наблюдений на разрезе, судя по характерному расширению сезонного термоклина, увеличению поверхностной солености и уменьшению температуры, располагалась южнее экватора.

Разрез по $17^{\circ} 30'$ з.д. Здесь также отчетливо прослеживалось влияние крупномасштабных элементов океанической циркуляции на формирование распределения ПОС. Увеличение ПОС на экваторе связано с дивергенцией

вод, которая четко прослеживалась между экватором и 1° ю.ш. по распределению гидрологических характеристик. К северу от экватора прозрачность вод повысилась. Минимальное значение ПОС отмечено между 1° и 3° с.ш. в зоне СВ ЮПГ. Севернее 4° с.ш., в теплых низкосоленных водах, формирующихся под влиянием ВЗК, ПОС немного увеличился, сохранив свои значения до конца разреза (8° с.ш.).

Разрез по $14^{\circ} 30'$ з.д. На данном разрезе между 2° и 3° с.ш. в верхнем 50 м слое по гидрологическим данным зарегистрирована конвергенция, где отмечалось заглубление изотерм и изохалин, а также смена знака геострофической скорости с западного направления на восточное. Здесь же наблюдался минимум ПОС. Максимум ПОС был зарегистрирован на экваторе в районе экваториальной дивергенции. В южном направлении в водах ЦВ Южного пассатного течения ПОС вновь снижался. Севернее $3^{\circ} 30'$ с.ш. значение ПОС возросло.

Разрез по $11^{\circ} 30'$ з.д. Минимальные величины ПОС наблюдались на северной оконечности разреза после $1^{\circ} 45'$ с.ш., где в верхнем слое регистрировалось присутствие теплых и низкосоленных вод, которые поступают сюда из Гвинейского залива с СВ ЮПГ. Максимальные значения ПОС отмечены сразу к северу от экватора на $0^{\circ} 30'$ с.ш., где в верхнем 50 м слое по гидрологическим данным проявлялась дивергенция вод. Сразу южнее экватора ПОС снижался и здесь же по гидрологическим данным наблюдалось опускание вод, связанное с явлением конвергенции.

Между экватором и $1^{\circ} 30'$ ю.ш., где наблюдалось течение западного направления (Центральная ветвь ЮПГ) по мере продвижения в южном направлении ПОС возрастал и достигал максимального значения на $1^{\circ} 30'$ ю.ш. Здесь в верхнем слое присутствовали достаточно теплые воды.

Разрез по $8^{\circ} 30'$ з.д. На северной оконечности разреза высокие значения ПОС соответствовали низкосоленым водам высокой температуры, тогда как в районе экватора относительно низкие значения ПОС были приурочены к высокосоленым водам более низкой температуры. Южнее экватора на $0^{\circ} 30'$ - $1^{\circ} 30'$ ю.ш. ПОС вновь увеличивался, чему соответствовали низкие значения температуры и высокая соленость. Положение изотерм в верхнем 100 м слое указывает на подъем вод в районе экваториальной дивергенции. Южнее $1^{\circ} 30'$ уменьшилось ПОС сопровождалось ростом температуры и снижением солености.

Разрез по $5^{\circ} 30'$ з.д. В отличие от разреза по $8^{\circ} 30'$ минимальные величины ПОС наблюдались в водах с максимальной температурой (26.7°C) и минимальной соленостью (35.2%), наблюдавшихся на севере разреза (1° - 1°

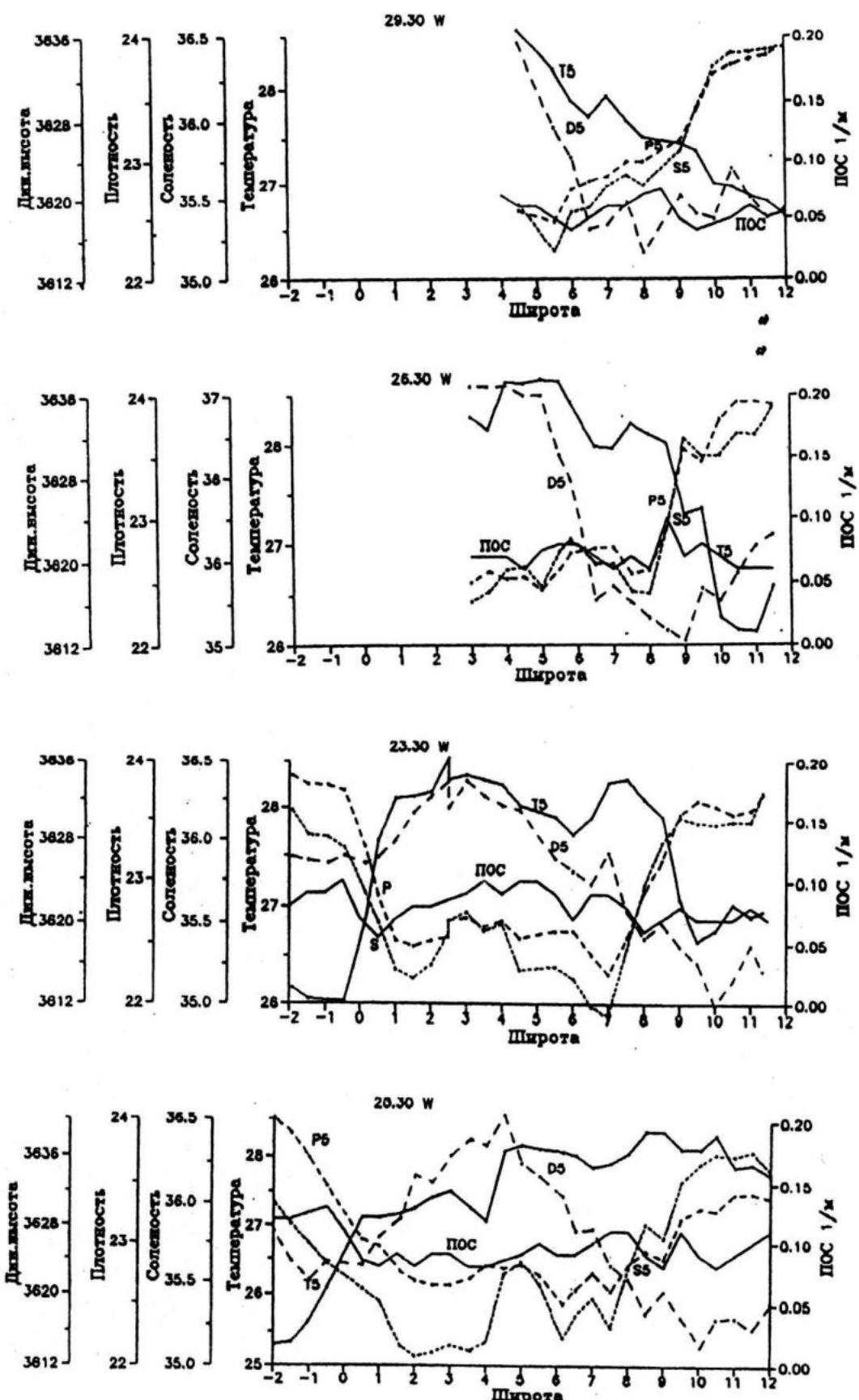


Рис. 2. Горизонтальные распределения ПОС, температуры (T5), солености (S5), плотности (P5) и динамической высоты (D5) на горизонте 5 м.

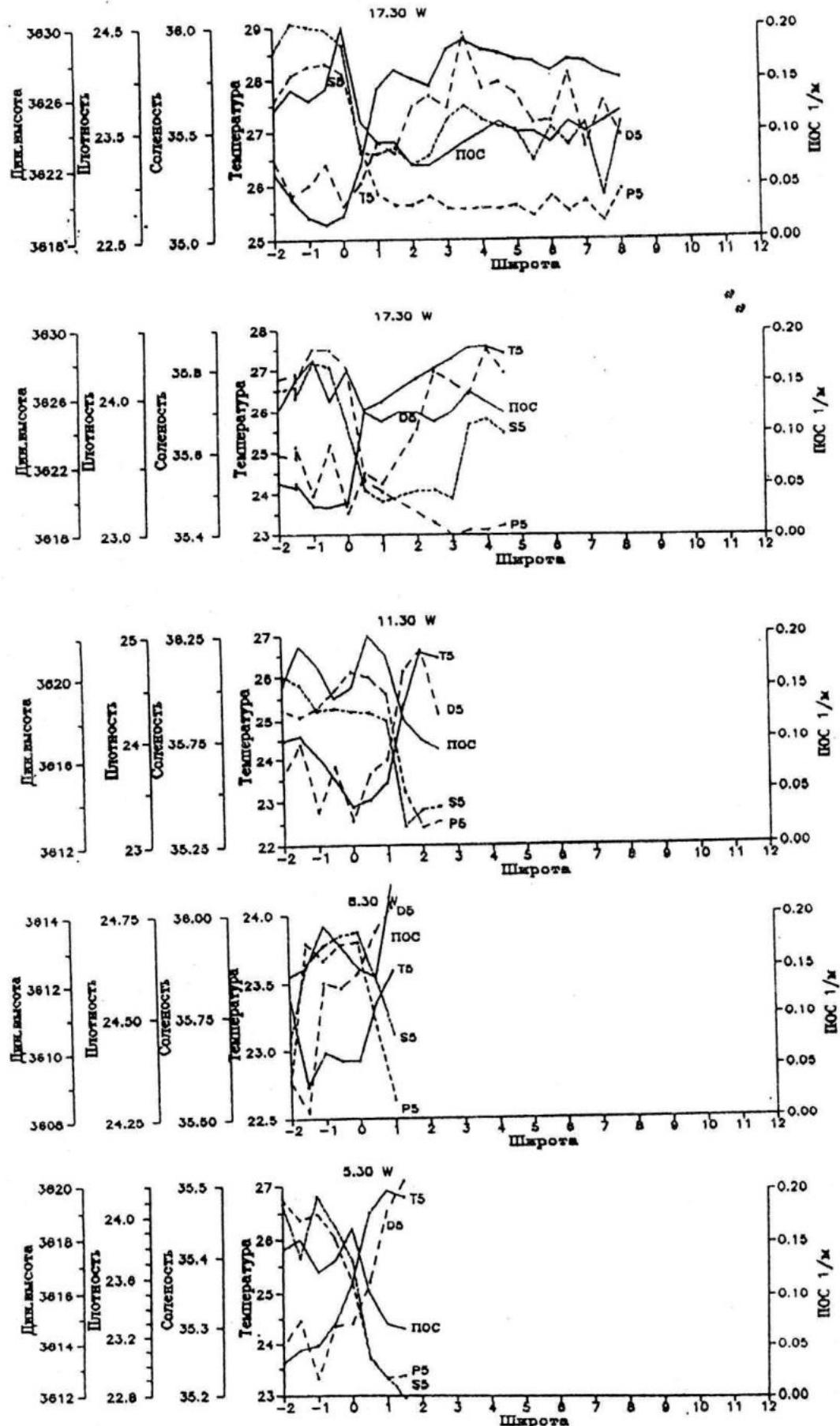


Рис. 2. Окончание.

30° с.ш.). На экваторе вновь отмечался максимум ПОС. Уменьшение значений ПОС на 1° ю.ш. на этот раз в отличие от всех предыдущих случаев регистрировалось в зоне дивергенции с максимальными значениями солености и низкой температурой. Максимум ПОС на 1° 30' ю.ш. совпадал с локальным понижением солености в верхнем слое (35.4%) и относительно низким значением температуры.

Заключение Анализ приведенных распределений ПОС и гидрологических характеристик на меридиональных разрезах показал следующее.

Наблюденная значительная неоднородность горизонтальных распределений ПОС и гидрологических характеристик обусловлена взаимодействием элементов крупномасштабной циркуляции вод (Северного пассатного, Межпассатного противотечения, Южного пассатного и Течения Ломоносова).

Области экстремумов на распределениях ПОС, как правило, совпадали с участками экстремальных значений гидрологических характеристик (температуры, солености, плотности) или повышенных горизонтальных градиентов этих характеристик.

Практически во всех случаях на участках разрезов, где отмечалось понижение температуры, наблюдалось повышение ПОС. Такая зависимость, видимо, объясняется увеличением концентрации взвеси, приводящим к понижению прозрачности воды, в зонах подъема глубинных холодных вод, богатых биогенными веществами. Совпадение положений экстремумов ПОС и экстремумов температуры составило 84%. Отмечено хорошее совпадение экстремумов ПОС с экстремумами и повышенными горизонтальными градиентами солености и плотности, которое проявилось в 75%, случаев. Экстремумы ПОС также наблюдались в зонах вергенций. При этом повышенные значения отмечены в зонах дивергенций (между МП и СПГ, экваториальная дивергенция), а пониженные - в зонах конвергенций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоренко Ю.А., Агафонов Е.А., Михайлов Э.А. Исследование структуры поля прозрачности поверхностного слоя вод Тропической Атлантики // Результаты исследований северной части тропической зоны Атлантического океана по программе "Декалант". Севастополь, МГИ АН УССР. - 1975.- С.113-124
2. Агафонов Е. А., Неуймин Г. Г., Сорокина Н. А. Изменчивость гидрофизической структуры вод некоторых районов Атлантики // Морские гидрофизические исследования.- 1977.- N3.- С.169-180.
3. Агафонов Е.А., Доля Н.Н., Прохоренко Ю.А., Шемшура В.Е. Оптическая структура вод северо-западной части Южного антициклонического круговорота //Морские гидрофизические исследования. - Севастополь, МГИ АН УССР. - 1978. - N 2. - С. 184-191.
4. Оптика океана. т. 2. Прикладная оптика океана. - М.: Наука.-1983.-236 с.
5. Агафонов А.А., Блащук Г.А., Прохоренко Ю.А., Спиридонов В.В. Буксируемый измеритель для исследования гидрофизических характеристик // В сб. Методы и аппаратура для исследования гидрофизических характеристик. - Севастополь, МГИ АН УССР. - 1982.- С.61-64.
6. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Полонский А.Б. Крупномасштабная структура и изменчивость океанографических полей Северной части Тропической Атлантики. - В кн.: "Гидрофизика Тропической Атлантики", ред. В.Н. Еремеев. Кисев, Наукова Думка.- 1993.- С.7-34.
7. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.В., Ломакин П.Д. Циркуляция вод деятельного слоя Южной Атлантики // Препринт. - МГИ НАНУ, Севастополь.- 2001.-86 С.
8. Бубнов В.А. Циркуляция вод экваториальной зоны Мирового океана. -М., Гидрометеоиздат. - 1990.- 280 с.