

## **МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОКЕАНА КОМПЛЕКСОМ БУКСИРУЕМОЙ АППАРАТУРЫ**

**Блинков В.А., Карнаушенко Н.Н., Нуждин  
С.Ф., Запевалова Н.А., Шугаев А.В.**

**Морской Гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2.**

Интерес к разработкам новых методов и средств контактных измерений пространственной изменчивости приповерхностного слоя (от поверхности до глубин нескольких метров) океана, в первую очередь, обусловлен необходимостью корректной интерпретации спутниковых данных, используемых для решения проблем прогноза климата и погоды, глобального загрязнения океана, разведки пищевых ресурсов и т.п. Наиболее широкое применение при проведении исследований приповерхностного слоя океана нашли измерители, буксируемые с борта судна под морской поверхностью на горизонтах 0.2-1.0 м [3-4]. Однако, при таких измерениях неизбежны различного рода искажения данных измерений ветровыми волнами и возмущениями среды от корпуса движущегося судна. Более надежные результаты о пространственной структуре приповерхностного слоя могут быть получены буксируемыми носителями с управляемой траекторией движения, позволяющими контролировать глубину движения прибора и изменять ее при необходимости. Кроме этого, возможность управления носителем позволяет, при использовании специальной методики буксирования, измерять вертикальную структуру температуры, солености, плотности и прочих параметров приповерхностного слоя в невозмущенной зоне.

В 42-м рейсе НИС "Академик Вернадский" были выполнены наблюдения на ходу судна комплексом буксируемой измерительной аппаратуры, обеспечивающим измерения на постоянном горизонте с одновременными измерениями вертикальной структуры верхнего квазиоднородного слоя. Для измерений на одном горизонте был использован измеритель с датчиками температуры и электропроводимости, установленными на конце вертикальной штанги, опускаемой из шахты в районе миделя судна на 3 метра ниже днища и буксируемых на постоянной глубине, составляющей, с учетом осадки судна, 9 метров. На этом горизонте влияние поля скорости коротких ветровых волн незначительно. Искажения, вызванные перемещением штанги при бортовой и килевой качке судна также малы. По полученным оценкам, эти искажения вызывают шум, не превышающий шума квантования измерительных каналов, так как штанга установлена в районе миделя, в плоскости, совпадающей с диаметральной плоскостью судна, и величина вертикальных смещений датчиков для углов качки до  $10^0$  не более 3-5 см.

Измерения вертикальной структуры температуры и солености параметров в верхнем 30-метровом слое выполнялись буксируемым комплексом МГИ 9201 ("Галс-3") при изменении курса судна и выведении носителя из зоны возмущений, создаваемых корпусом судна и кильватерным следом. В начале маневра носитель заглублялся до 35-40 метров, а после того как он выходил из зоны возмущений по команде оператора вспывал со скоростью  $\leq 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ . При этом обеспечивалась дискретность отсчетов по глубине 2.5-5 см. Измерительные каналы и датчики используемых измерителей идентичны, их основные характеристики приведены в [1-2]. Частота измерений 20 Гц, среднеквадратические значения шумов квантования равны  $2.9 \cdot 10^{-4} \text{ С}$  для температуры и

$4.4 \cdot 10^{-5}$  мсим $\cdot$ м $^{-1}$  для электропроводимости. Средний квадрат погрешности вычисления солености при этих уровнях шумов составляет  $5 \cdot 10^{-4}\%$ .

**Регистрация данных.** При измерениях, информация с бортового блока через асинхронный коммуникационный адаптер RS -232 поступала в компьютер. Прием синхронизирован по признаку началу кадра. Одновременно с приемом кадра производилась проверка контрольной суммы. В случае совпадения контрольных сумм, информация поступает для последующей обработки и хранения. В противном случае, кадр игнорируется, счетчик числа сбоев увеличивается на единицу. Число сбоев отображается на экране дисплея. Разработанный пакет программ осуществлял:

- прием информации с бортового устройства в реальном масштабе времени;
- запись информации на твердый диск в виде последовательности файлов заданного размера;
- преобразование кодов в физические величины;
- отображение принимаемой информации на экране дисплея в виде движущегося графика с автоматически выбираемым масштабом по оси ординат, одновременно с приемом и записью исходной информации на твердый диск.

При записи информации на диск обеспечивается:

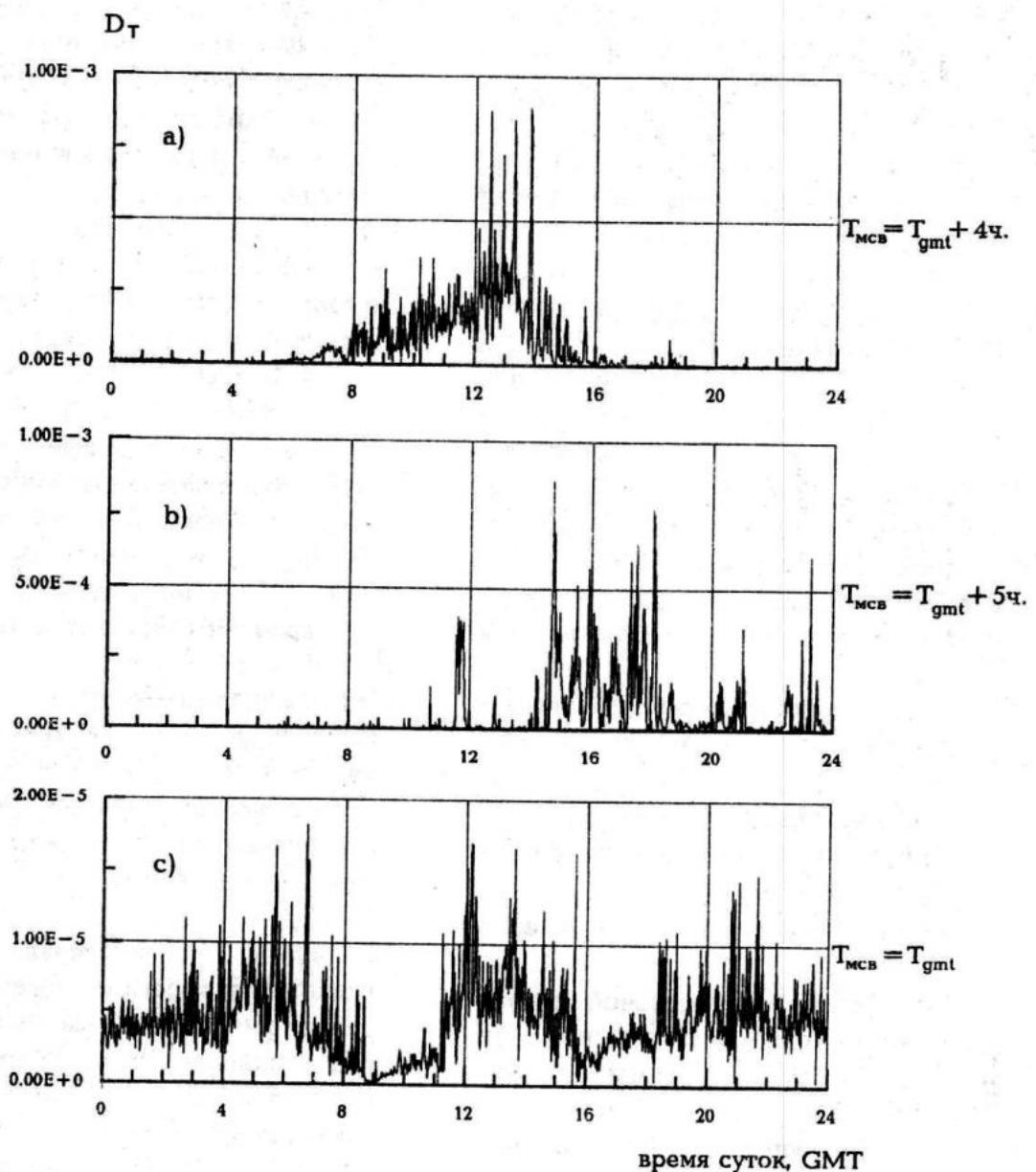
- исключение избыточности информационного кадра бортового устройства;
- полное сохранение гидрофизической информации;
- строгая привязка каждого измерительного отсчета по времени;
- обеспечение максимальной лаконичности записи.

При отображении данных на дисплее в верхней части экрана выводятся дата, заголовок программы, текущее

время. Ниже индицируются признак готовности программы, текущие значения измеряемых величин, номер выходного файла, номер принимаемого кадра, величина счетчика ошибок контрольной суммы. Основное поле занимает изображение графика. Управление графиком осуществляется с помощью меню пользователя, которое позволяет выбирать любую из измеряемых физических величин, изменять шаг оцифровки шкалы ординат таким образом, чтобы все значения функции находились в пределах графика. Изменение масштаба ординаты происходит как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, в зависимости от текущих значений регистрируемого параметра. Ось времени сохраняется всегда постоянной, ее размер 25 сек.

**Результаты наблюдений.** Измерения были выполнены на трех разрезах в тропических широтах Индийского и Атлантического океанов. Первый - при следовании судна от острова Мадагаскар к Зондскому проливу, от  $24^{\circ} 16' \text{ю.ш.}, 51^{\circ} 22' \text{в.д.}$  до  $21^{\circ} 11' \text{ю.ш.}, 66^{\circ} 05' \text{в.д.}$ , с 6 по 10 февраля 1991 г. при редкой облачности и умеренных ветрах, длина разреза 1750 км. Второй разрез был выполнен с 10 по 17 марта 1991 г., от Моллакского пролива к Сейшельским островам, от  $00^{\circ} 11' \text{с.ш.}, 78^{\circ} 10' \text{в.д.}$  до  $03^{\circ} 01' \text{ю.ш.}, 62^{\circ} 30' \text{в.д.}$ , при скорости ветра менее 3 м $\cdot$ сек $^{-1}$ , длина разреза 1400 км. Третий разрез был выполнен в Атлантическом океане с 6 по 11 апреля 1991 г. от Южной Африки до Гвинейского залива, от  $24^{\circ} 37' \text{ю.ш.}, 08^{\circ} 06' \text{в.д.}$  до  $05^{\circ} 54' \text{ю.ш.}, 05^{\circ} 55' \text{з.д.}$ , при переменных ветрах от умеренного до штормового (до 18 м/сек, при волнении до 6 баллов), длина разреза 2850 км.

Максимальная скорость движения судна при проведении измерений 6..7 м $\cdot$ сек $^{-1}$ , следовательно, максимальная дискретность по пространству составляла 0.35 м. Таким образом, данные наблюдений позволяют исследовать изменчивость полей в диапазоне мас-



**Рис.1. Фрагменты изменений дисперсии температурных флюктуаций в течении суток на участках разрезов:**

- a) — южнотропическая часть Индийского океана;
- б) — экваториальная область Индийского океана;
- в) — тропическая зона южной Атлантики.

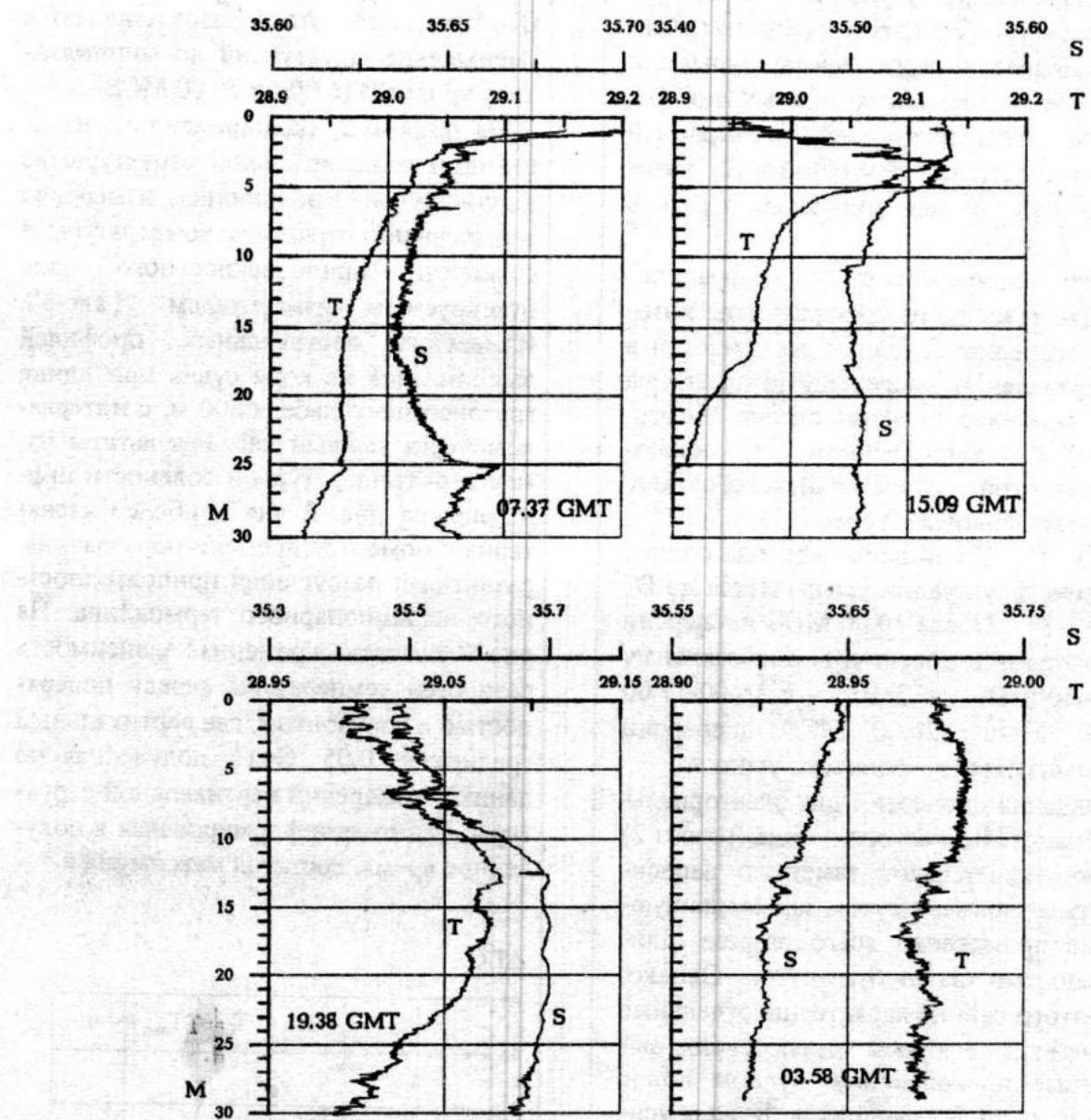


Рис.2. Примеры вертикальной структуры температуры и солености в экваториальной зоне Индийского океана, полученные буксируемым измерителем "Галс - 3".

штабов от  $\leq 1$  м до  $\geq 200$  км при различных гидрометеоусловиях.

Полученный массив данных был использован для анализа мелкомасштабной горизонтальной изменчивости поля температуры. Для этого были рассчитаны дисперсии рядов температуры при осреднении исходных данных по 4-м точкам с последующей фильтрацией фильтром первых разностей и расчетом дисперсии  $D_T$  для минутных отрезков ( $\approx 0.42$  км).

На рис.1 приведены суточные фрагменты для каждого из трех разрезов, которые отражают основные особенности в распределении дисперсий температуры в исследуемых областях океана. На разрезе 1, выполненном в южно-тропической части Индийского океана, средний фоновый уровень  $D_T = 5 \cdot 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C m}^{-1}$ )<sup>2</sup>. Сразу после восхода солнца уровень флуктуаций уменьшается до  $D_{T_{\text{мин}}} = 2 \cdot 10^{-4}$ . После 10.00 МСВ дисперсии возрастают и достигают максимальных значений  $D_{T_{\text{ макс}}} = 3 \cdot 10^{-4}$  к 16.00-17.00 МСВ. После 20.00 МСВ дисперсии уменьшаются до фонового уровня.

Значения дисперсий для экваториальной части Индийского океана (разрез 2) также испытывают заметную зависимость от времени суток, проявляющуюся на протяжении всего разреза, длительностью около 6-ти суток. Однако, для этого района характерны отдельные случайные выбросы дисперсией, вызванные прохождением судном полос дождя, сопровождавшихся резким усилением ветра. Средний уровень  $D_T = 2 \cdot 10^{-5}$ , максимальные значения  $D_{T_{\text{ макс}}} = 2 \cdot 10^{-4}$  наблюдаются с 16.00 до 24.00 МСВ.

На меридиональном разрезе в тропической части Атлантического океана средний уровень температурных флуктуаций был значительно ниже, чем на предыдущих разрезах и составлял  $D_T = 4 \cdot 10^{-6}$ . Здесь также отмечена некоторая закономерность в распределении дис-

персий в течение суток, повторяющаяся в течение 5-ти суток выполнения буксировки: уменьшение дисперсий сразу после восхода солнца до  $D_{T_{\text{мин}}} = 5 \cdot 10^{-7}$ , с дальнейшим увеличением  $D_{T_{\text{ макс}}} = 1 \cdot 10^{-5}$ . Особенностью этого разреза является уменьшение флуктуаций до минимального уровня с 16.00 до 19.00 МСВ.

На разрезе 2, одновременно с измерениями горизонтальной структуры из шахты судна, проводились измерения вертикальной структуры температуры и солености приповерхностного слоя буксируемым измерителем "Галс-3". Измерения вертикальных профилей выполнялись на ходу судна при длине грузонесущего кабеля 600 м, с интервалом через каждый час. Результаты измерений температуры и солености приведены на рис. 2 для наиболее характерных моментов времени образования, развития и разрушения приповерхностного нестационарного термоклина. На рис. 3 показана временная зависимость разностей температуры между поверхностью и горизонтом, где вертикальный градиент  $\leq 0.05$   $^{\circ}\text{C m}^{-1}$ , полученная по данным измерений вертикальной структуры. Термоклин формировался в полуденное время, достигал максимума к

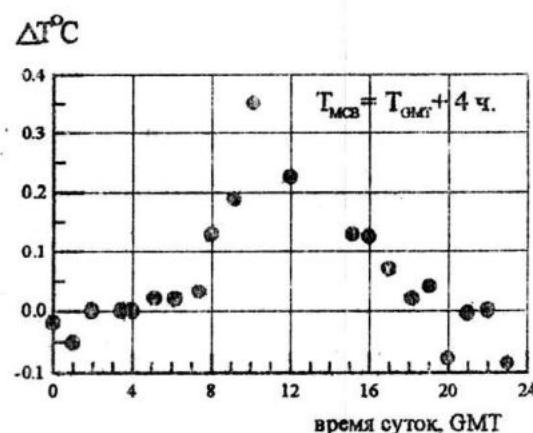


Рис. 3. Амплитуда дневного прогрева приповерхностного слоя экваториальной части Индийского океана по данным буксируемого комплекса «Галс-3».

14.00 МСВ, а затем постепенно вырождался с образованием инверсионных прослоек в толще верхнего квазиоднородного слоя. Ночью поверхностный слой выхолаживался, разность температуры между поверхностью и подстилающим слоем в ВКС достигала 0.1°C. Вертикальная структура солености, в среднем, характеризуется наличием у поверхности слоя пониженных (до 0.2‰) значений солености, что, по-видимому, вызвано распределяющим действием кратковременных дождей, типичных для этого района. Распределенный слой регистрировался только в светлое время суток и полностью исчезал к восходу солнца. Из совместного анализа результатов измерений вертикальной термохалинной структуры и горизонтальной мелкомасштабной изменчивости следует, что сразу после восхода солнца при отсутствии вертикальной стратификации значения дисперсий горизонтальных температурных флюктуаций минимальны. С возрастанием потока солнечной радиации, прогрева тонкого поверхностного слоя и формирования суточного термоклина уровни дисперсий возрастили. Далее, после полудня,  $D_T$  уменьшались и, для разрезов в Индийском океане, достигали минимума в 23.00-24.00 МСВ. На разрезе 3 в Атлантическом океане минимальные после полуденных уровни  $D_T$  наблюдались в 16.00-19.00 МСВ.

Описываемая методика измерений комплексом буксируемой измерительной аппаратуры позволяет исследовать пространственную изменчивость гидрофизических полей приповерхностного слоя океана в широком диапазоне масштабов, на протяженных разрезах при различных погодных условиях, с одновременной регистрацией вертикальной структуры нестационарного приповерхностного слоя.

Из данных наблюдений установлено, что интенсивность мелкомасштабной структуры температурного поля в приповерхностном слое имеет циклический характер и зависит от потока солнечной радиации, что проявляется как при слабых ветрах в ясную погоду, так и при штурме и плотной облачности. Вертикальная структура температуры также в существенной степени зависит от времени суток. Вертикальная структура солености не имеет явно выраженной зависимости от времени суток, однако, наличие вертикальных неоднородностей солености, обусловленных адвекцией или осадками, несомненно, оказывает влияние на формирование поля плотности в приповерхностном слое в течение суток.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Блинков В.А. Оценка возможностей гидрофизического буксируемого комплекса «Галс-3»// Морской Гидрофизический журнал, 1998, вып.2, с. 73-80.
2. Карнаушенко Н.Н., Блинков В.А., Лобачев В.Н., Тютюнов А.П. Буксируемый сканирующий по глубине комплекс МГИ 9201М и его использование для высокоразрешающей съемки заливов черноморского побережья Украины// Сб. Системы контроля окружающей среды. Севастополь, 1998, с. 28-46.
3. Волков Ю.А. и др. Измерения структуры гидрофизических полей тонкого поверхностного слоя океана на ходу судна// Изв.АН СССР, сер. ФАО, 1989, т.25, №7, с. 695-702.
4. Соловьев А.В. Дневной прогрев тонкого поверхностного слоя океана// Морской Гидрофизический журнал, 1987, № 6, с.3-13.