

Очевидно, возможно также усиление волны, модулированной по фазе. Для этого переменное напряжение, подаваемое на электроды, должно иметь вид  $\sim h(t)$ . Однако в этом случае спектр ФМ-колебаний значительно шире, чем при ЧМ модуляции.

В заключение авторы благодарят участников семинара А. А. Соколова за обсуждение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гапонов А. В., Петелин М. И., Юлпатов В. К. «Изв. вузов», радиофизика, **10**, 1414, 1967.
2. Капица П. Л. «Успехи физических наук», **69**, 181, 1962.
3. Павленко Ю. Г., Гальцов Д. В. «Изв. вузов», радиофизика, **9**, 1232, 1966.
4. Соколов А. А., Павленко Ю. Г. «Оптика и спектроскопия», **22**, 4, 1967.

Поступила в редакцию  
1.9 1970 г.

Кафедра  
теоретической физики

УДК 551.465

**Е. Г. АНДРЕЕВ, В. Г. ЛОШКАРЕВ, М. И. РЫБКИН,  
П. М. СТЕПУНИН, Г. Г. ХУНДЖУА**

### ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОНКОМ ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ

Распределение температуры по глубине в тонком поверхностном слое моря зависит от энергообмена между атмосферой и океаном, от конвективного и турбулентного перемешивания и физических свойств этого слоя. Температурное поле в деятельном слое моря благодаря большой теплоемкости и интенсивному перемешиванию воды в значительной степени однородно. Однако вблизи границы раздела море — атмосфера, как показывают исследования [1—7], наблюдаются значительные перепады температур в тонком поверхностном слое моря. Это имеет определяющее значение для процессов тепло- и массообмена между морем и атмосферой. Таким образом, прямая регистрация профиля температур в открытом море представляет интерес при решении задач энергообмена. Между тем известны лишь единичные работы по экспериментальным исследованиям распределения температуры в тонком поверхностном слое моря [7, 2, 1].

Постановка подобных исследований для прямых регистраций температуры в открытом море при наличии волнения представляет большие трудности в плане техники эксперимента и требует специальной разработки как новой методики, так и новых измерительных систем. Для успешного решения такой задачи термозондирующее устройство должно иметь малую тепловую инерционность, достаточно высокую чувствительность, синхронность в слежении за поверхностью моря при волнении, а также дистанционные управление и регистрацию.

В 1969 г. нами разработан термозонд для прямой регистрации вертикального профиля температуры до глубин 0,35 м при волнении. Термозонд состоит из щупа с датчиком температуры — термистера МТ-54, протяжного устройства, обеспечивающего равномерное перемещение датчика со скоростью 0,15 м/сек, легкого несущего поплавка, сигнального кабеля и регистратора ЭПП-09. Тепловая инерция датчика 0,1 сек, а чувствительность 4°C на всю шкалу регистратора. Плавающий на воде поплавок термозонда можно рассматривать как колебательную систему с такой амплитудно-частотной характеристикой:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta^2)^2 + 4\xi^2\beta^2}} \quad (1)$$

Здесь  $\beta = \frac{\omega}{\omega_n}$  — отношение частоты внешнего воздействия  $\omega$  к собственной частоте недемпфированной системы  $\omega_n$ ,  $\xi = \frac{c}{c_k}$  — относительное демпфирование и  $c_k$  — критический коэффициент сопротивления. Величина относительного демпфирования  $\xi$  составляла  $\sim 0,7$ , что снизило искажения в регистрациях профилей темпе-

ратур за счет собственных колебаний системы до величин, меньших точности метода регистрации. Разработка новой измерительной системы с указанными характеристиками позволила в отличие от существующих методик провести регистрации профиля температур в тонком 0,4 м слое моря при волнении. Натурные измерения проводились с борта научно-исследовательского судна «Московский университет» на Черном море в сентябре—октябре 1969 г. на суточных станциях в трехмильной зоне на траверзе бухты Ласпи и мыса Пицунда.

В результате этих работ было получено 170 регистраций профиля температур, в том числе 43 регистрации при волнении в 2 балла. На рис. 1 приведены характерные профили температур в поверхностном слое моря в штилевую погоду (а)

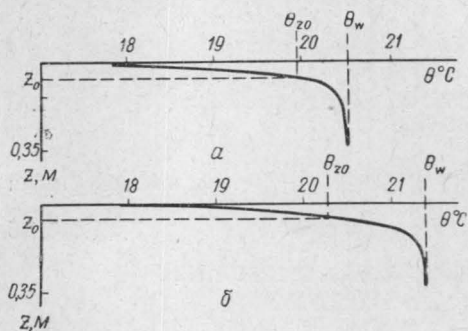


Рис. 1

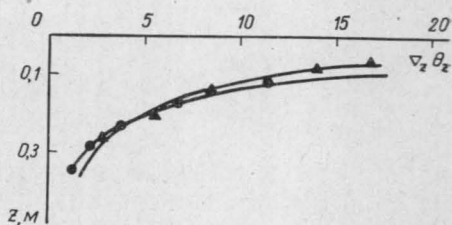


Рис. 2

и при волнении в 2 балла (б). Анализ всего экспериментального материала показал, что температура в поверхностном слое моря с глубиной быстро растет и на глубине порядка 0,2 м достигает постоянного значения. Кривую профиля температур можно разбить на два участка. В первом верхнем — температура с глубиной изменяется по линейному закону, а во втором — по экспоненциальному. Глубина залегания первого слоя  $z$  в среднем 0,06 м, второго до 0,2 м. Обработка данных показала, что для второго участка кривую приращения температуры  $\theta_z$  с глубиной начиная с  $z_0$  и ниже можно выразить в виде

$$\theta_z = \Delta\theta_0 \{1 - \exp[-\alpha(z - z_0)]\}, \quad (2)$$

где  $\Delta\theta = \theta_w - \theta_{z_0}$  — разность между значениями температур на глубине с изотермическим распределением и на глубине залегания слоя с линейным распределением температур. Значения показателей затухания  $\alpha$ , входящие в выражение (2), были рассчитаны по соотношению

$$\ln \frac{\Delta\theta_0 - \theta_z}{\Delta\theta_0} = -\alpha(z - z_0), \quad (3)$$

величины  $\Delta\theta_0$ ,  $\theta_{z_0}$  и  $z_0$  определялись из регистраций профилей температур. Для всех полученных в экспедиции регистраций профилей температур значения  $\alpha$  лежат в интервале от 8 до 17  $m^{-1}$ . Были построены кривые изменения градиентов температур с глубиной: аналитическим путем из выражения

$$\nabla_z \theta_z = \alpha \Delta\theta_0 \{\exp[-\alpha(z - z_0)]\} \quad (4)$$

и путем графического дифференцирования непрерывных регистраций профилей температур.

На рис. 2 приведены характерные кривые изменения градиентов температур по глубине в тонком поверхностном слое моря. Кружками отмечена кривая, полученная аналитическим путем, треугольниками — графическим дифференцированием для одного и того же профиля температур. Как видно из рисунка, совпадение этих кривых вполне удовлетворительное.

В таблицу сведены данные по  $\alpha$  и  $\Delta\theta_0$ , а также значения градиента температур  $\nabla_z \theta_z$  в тонком подслое с линейным изменением температуры для восьми серий регистраций профилей температур.

$\alpha, \text{ м}^{-1}$	9,8	11,7	8,5	9,1	7,8	10,5	11,0	9,8
$\Delta\theta_0, \text{ град}$	2,7	1,8	2,1	2,1	3,0	2,1	2,6	2,5
$\nabla_z\theta_z, \text{ град/м}$	16,6	21,0	17,8	19,2	23,4	22,0	28,6	24,5

В заключение следует отметить, что в самом верхнем подслое температура с глубиной меняется по линейному закону; средняя по ансамблю измерений глубина залегания этого подслоя составляет 0,06 м; ниже этого подслоя до глубин 0,2 м распределение температуры идет по экспоненциальному закону со значениями коэффициентов затухания  $\alpha$  от 8 до 17  $\text{м}^{-1}$  и указанный тонкий холодный поверхностный слой воды устойчив во времени и в наших измерениях был зарегистрирован при волнении моря вплоть до 2,5 баллов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Е. Г., Лаворко В. С., Пивоваров А. А., Хунджуа Г. Г. «Океанология», 9, вып. 2, 1969.
2. Преображенский Л. Ю. Особенности профиля температуры в верхнем слое моря. Тр. ТГО, вып. 150, 1964.
3. Merz A. 1920. Inst. Meereskunde Univ., 5, Berlin, 1920.
4. Bruch H. Die vertikale Verteilung von Windgeschwindigkeit und Temperatur in den untersten Metern über der Wasserberfläche. Veröffentl. Inst. Meerreskunde Univ., NFA, Berlin, 1940.
5. Woodcock A. H., Stemmel H. J. Meteorol., 4, 102—103, 1947.
6. Roll H. U. Temperaturmessungen nahe der Wasseroberfläche. Deut. Hydrograph. Z. 5, 141—143, 1952.
7. Ewing G., Mc Alister E. D. On the thermal boundary layer of the ocean. Science, 131, 1374—1376, 1960.

Поступила в редакцию  
19.3 1970 г.

Кафедра  
физики моря и вод суши

УДК 537.226+537.311.33

Л. И. БУРБУЛЯВИЧУС, Ю. А. ЗАРИФЬЯНЦ, В. Ф. КИСЕЛЕВ

### ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ РУТИЛА

Известно, что адсорбция ряда акцепторных молекул на поверхности восстановленной  $\text{TiO}_2$  приводит к возникновению анион-радикалов [1—6]. Большинство авторов предполагает, что центрами адсорбции являются поверхностные парамагнитные ионы  $\text{Ti}^{3+}$ , проявляющиеся в спектре электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). С другой стороны, отмечается резкое несоответствие между числом возникающих при адсорбции кислорода радикалов ( $N_s$ ) и числом исчезающих в результате этого поверхностных центров ( $n_s$ ) на  $\text{TiO}_2$  [2, 3] и  $\text{ZnO}$  [5]. По оценкам [2, 3], отношение  $n_s/N_s$  составляет 10—15. Этот интересный факт не получил объяснения.

Возможность одновременного исследования сигналов ЭПР от центров поверхности и адсорбированных молекул с привлечением электрофизических измерений позволяет получить весьма ценную информацию о механизме электронных процессов в системе полупроводник—адсорбированные молекулы. Нами были проведены комплексные исследования спектров ЭПР восстановленного рутила с адсорбированными молекулами и изменений электропроводности  $\sigma$  и потенциала поверхности  $\Delta U_s$  при адсорбции. В качестве удобного акцептора был выбран п-бензохинон (п-бх), при адсорбции которого возникают анион-радикалы, наблюдаемые в спектре ЭПР с  $g$ -фактором, отличным от  $g$ -фактора сигнала от поверхностных центров [6]. В отличие от хемосорбции кислорода [1—4], адсорбция п-бх не сопровождается диффузией и достройкой решетки. Для изучения спектров ЭПР использовались мелкие кристаллики рутила средним размером 0,02 мм, полученные расколом монокристалла. Их удельная поверхность составляла 3  $\text{м}^2/\text{г}$ . Спектры записывались на ра-