

33
A-55



Физический факультет

На правах рукописи

АНДРЕЕВ

Евгений Григорьевич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В БЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МОРЕ - АТМОСФЕРА.

/ 01.04.12 - геофизика /

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА • 1973

Работа выполнена на физическом факультете МГУ

Научный руководитель кандидат физико-математических наук, старший преподаватель Г.Р.Хундуя.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор Е.Н. Трубников, кандидат физико-математических наук, доцент С.С. Михотан.

Оппонирующая организация: Государственный океанографический институт.

Автореферат разослан " " 1973 г.

Защита диссертации состоится " " 1973 г.
на заседании Ученого Совета отделения Геофизики физического факультета МГУ. Москва, Ленинские горы, физический факультет МГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке физического факультета МГУ.

Ученый секретарь Совета
доктор физ.-мат. наук

/А.П.Рякунов/

3310
455

Закономерности формирования термического режима в пограничных слоях моря и атмосферы определяются в основном поглощением лучистой энергии солнца, процессами испарения, эффективного длинноволнового излучения, контактным теплообменом, а также перераспределением тепла путём турбулентного перемешивания. Мелкомасштабные процессы взаимодействия, развивающиеся на границе раздела определяют в конечном счете и общую циркуляцию атмосферы и океана. В связи с этим вопросам мелкомасштабного взаимодействия и, в частности, вопросам формирования температурного поля вблизи границ раздела море - атмосфера уделяется большое внимание. Однако, до настоящего времени сведений о распределении температуры в самых тонких пограничных слоях моря и атмосферы получено чрезвычайно мало. Особенно это относится к исследованиям в районах открытого моря. Такое положение можно объяснить отсутствием стандартной аппаратуры и существенными трудностями технического и методического характера в проведении натурных измерений в указанных слоях открытого моря.

Основными задачами реферлируемой работы являлись разработка аппаратуры и методики для регистрации непрерывного профиля температуры и пульсаций температуры в тонком поверхностном слое моря, профиля температуры в двухметровом слое атмосферы и на основании таких регистраций - выявление некоторых особенностей распределения температуры в этих слоях и получение оценок величины тепловых потоков в процессе теплообмена между морем и атмосферой.

1-1510



Материалы натуральных измерений были получены на Чёрном море во время экспедиций в мае и августе 1969 - 70 - 71 - 72 гг на НИС "Московский Университет".

Работа состоит из введения, трех глав и выводов.

В первой главе дан краткий обзор экспериментальных и теоретических работ, относящихся в основном к исследованию тонкого холодного слоя воды, образующегося на поверхности моря в результате теплообмена с атмосферой. Рассмотрены работы в которых показано, что в тонких (порядка миллиметра) пограничных слоях воздуха и воды движение ламинарно, а коэффициенты обмена имеют значения, соответствующие молекулярному обмену.

Рассматриваются работы, в которых описаны методы и аппаратура для регистрации средней температуры в приповерхностном слое атмосферы и пульсаций температуры в море.

Из обзора следует, что несмотря на большое количество данных о распределении температуры в приповерхностном слое атмосферы, все они получены либо в районах прибрежного мелководья, либо в открытом море на горизонтах 2 м и выше. Так же мало получено данных о пульсациях температуры в море для слоев, непосредственно прилегающих к поверхности. Все это объясняется отсутствием методик и аппаратуры для изучения термических процессов происходящих вблизи границы раздела море - атмосфера.

Во второй главе на основании анализа имеющихся данных формулируются требования, предъявляемые к аппаратуре. Дается описание разработанного комплекса аппаратуры и определения

основных её параметров. Приводятся динамические характеристики основных узлов и результаты лабораторных испытаний. Описана методика работы с аппаратурой в море.

Регистрация непрерывного профиля температуры в таком поверхностном слое моря осуществлялась методом вертикального зондирования. Измерительная система состоит из следующих узлов: 1. протяжного устройства, 2. датчика, 3. предварительного усилителя, 4. регистратора, 5. блока медленной развертки, 6. блока запуска быстрой развертки.

Протяжное устройство обеспечивает равномерное движение датчика из воздуха в воду (30 см в воздухе, 30 см в воде) со скоростью 17 см/сек. В качестве датчика использовалась медно-константановая дифференциальная термопара. Постоянная времени подвижного спая $\tau \sim 1,5$ мсек, а спая сравнения ~ 50 сек. Спай сравнения располагался на глубине 30 см, под водой. Предварительный усилитель обеспечивал достаточную амплитуду сигнала для регистрации. Параметры усилителя, собранного на транзисторах достаточно стабильны и имеют значения: 1. коэффициент усиления порядка 3000, 2. полоса воспроизводимых частот $0,05$ гц $+ 10^4$ гц, 3. динамический диапазон от 1 мкв до 500 мкв. В качестве регистратора использовался двухлучевой электронный осциллограф типа С1-16. Блок медленной развертки одного из лучей осциллографа обеспечивал равномерную развертку луча со временем 3,5 сек равным времени протяжки датчика во всем исследуемом слое. Блок запуска быстрой развертки второго луча осциллографа обеспечивал синхронный запуск калиброванной ждущей развертки осциллографа в момент подхода датчика к поверхности моря. Время пробега этого луча

на весь экран составляет 50 мсек, что соответствует пройденному расстоянию датчиком через тонкий поверхностный слой моря толщиной порядка 8 мм. Это обеспечивает регистрацию профиля температуры в поверхностном 8 мм слое моря при развертке профиля на весь экран осциллографа (100 мм).

Чувствительность всей системы регистрации профиля температуры составляла 0,05 град / дел. шкалы. Диапазон регистрации разности температур 3° . Постоянная времени переходного процесса всей системы регистрации $\sim 1,5$ мсек.

Профиль температуры в приповерхностном слое атмосферы регистрировался датчиками, расположенными на горизонтах от 0,2 м до 2 м. В качестве датчиков использовались стандартные термометры сопротивления типа ИС-264А, включенные в цепь неуравновешенного моста постоянного тока. Регистратором служил двенадцатиточечный потенциометр ЭП-09. Одновременно тем же методом велась регистрация средней температуры в поверхностном слое моря на горизонтах от 0,05 до 0,7 м. Регистрация профиля температуры проводилась полуавтоматически с помощью релейной схемы поочередного опроса датчиков. Время опроса всех датчиков не превышало 1 мин. Постоянная времени одного датчика (для воздуха) $\tau \sim 1,5$ мин. Точность регистрации абсолютной температуры составляла $0,1^{\circ}$.

Пульсации температуры в поверхностном слое моря измерялись на горизонтах от 0,02 до 0,5 м, с помощью полупроводниковых датчиков типа МТ-54. Датчики включены в цепь неуравновешенного моста постоянного тока. Регистратором служил первичный потенциометр ЭП - 09. Чувствительность схемы состав-

ляла $5 \cdot 10^{-3}$ град/дел. шкалы. Верхняя граница полосы пропускания с амплитудными искажениями, не превышавшими 10% составляла 1,5 гц.

Датчики всех измерительных систем, предварительный усилитель, блок-запуска быстрой развертки осциллографа и мостовая схема с релейным коммутатором располагались на плававшем трехпоплавковом буйе. Буй во время измерений находился на расстоянии порядка 80 - 100 м от борта судна.

В третьей главе дано общее описание полученных регистраций, методика их обработки и результаты анализа.

Температурное зондирование с целью получения непрерывного профиля температуры в тонком поверхностном слое моря проводилось в зависимости от условий с интервалом 0,5 - 1 часа. Измерения велись дистанционно с борта дрейфующего судна в районах удаленных от берега не менее 25 - 30 миль. Всего было получено более 500 регистраций профиля температуры в тонком поверхностном слое моря.

Измерения средних значений температуры проводились на горизонтах 0,2; 0,4; 1; 2 м в приповерхностном слое атмосферы и на горизонтах 0,05 м (плавающий датчик), 0,3 и 0,7 м в поверхностном слое моря. Всего было получено более 500 серий регистраций, проведенных на многосуточных станциях. Регистрации относятся к различным метеорологическим условиям, спокойной и взволнованной поверхности моря, в прибрежных и удаленных от берега районах.

Регистрация пульсаций температуры в море проводилась на горизонтах 0,02; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5 м с помощью датчиков установленных на легком поплавке, имевшем короткую гибкую линию связи с обводным буйем. Всего было получено более 100 регистраций продолжительностью 15 - 20 минут. Записи соответствуют

в основном малооблачному небу, небольшим скоростям ветра и мало-взволнованной поверхности моря.

Применение новой аппаратуры позволило впервые получить не-прерывное распределение температуры внутри тонкого поверхност-ного слоя моря.

На основании материала наблюдений, подтверждено, что холод-ный поверхностный слой устойчив во времени и сохраняется при волнении моря до 3-х баллов. Приведенная толщина такого тонкого поверхностного слоя колеблется от 1 до 3 -х мм. Распределение температуры в нем описывается экспоненциальным законом. Прямые регистрации непрерывного профиля температуры позволяют опреде-лить вертикальные градиенты температуры на границе раздела. Полученные значения вертикальных градиентов температуры изменяют-ся от 100 до 600 град/м.

Исходя из того, что в поверхностном слое моря толщиной порядка 1 мм, движение ламинарно и используя данные о градиентах температуры получены оценки плотности потока тепла q направле-ного к поверхности моря от ниже лежащих слоев. Учитывая непре-рывность потока тепла на границе раздела, q будет равна плот-ности суммарного потока тепла q_{Σ} от моря в атмосферу обуслов-ленную испарением, эффективным длинноволновым излучением и контактным теплообменом.

Проведенные оценки плотности суммарного потока тепла для измерений, полученных на двухсуточной станции в августе 1972 г. показали, что среднее за 48 часов значение \bar{q}_{Σ} составляет 200 вт/м², в то время, как среднее за дневное время суток имеет величину $\bar{q}_{\Sigma A} = 230$ вт/м², а за ночное время $\bar{q}_{\Sigma н} = 170$ вт/м²

При этом максимальные значения зарегистрированных потоков сос-тавили величину 350 вт/м², а минимальные - 60 вт/м². Получен-ные оценки средних значений потоков тепла, для августа месяца хорошо согласуются с результатами исследований, проведенных на Черном море интегральными методами в МТИ АН УССР.

Размещение датчиков на поплавковой конструкции, хорошо следующей за колебаниями поверхности моря, позволило получить многосуточные регистрации хода температуры в приводном слое атмосферы, начиная с уровня 0,2 м и выше.

Анализ регистраций суточного хода температуры в указан-ных выше слоях атмосферы и регистраций хода температуры на глубинах от 0,05 м и ниже от поверхности моря показал, что температура поверхностного слоя воды для районов открытого моря всегда выше температуры воздуха. В слое воздуха 0,2 + 0,4м при скоростях ветра не превышающих 5 + 6 м/сек наблюдается устойчивая инверсия температуры, что по видимому можно объяс-нить существованием холодной поверхностной пленки воды.

Регистрации пульсаций температуры обрабатывались мето-дикой предложенной группой сотрудников кафедры, при участии автора. В работе показано, что при гауссовом распределении случайного процесса, когда автокорреляционная функция опи-сывается экспонентой вида $\exp\{-\frac{2\pi}{T_0}\tau\}$ величина T_0 может быть определена непосредственно из регистрации пульсаций температуры. Так $T_0 = 2 \frac{\Delta t}{n-1}$, где n - число нулевых значений пульсаций температуры за промежуток времени Δt . Величина $f = \frac{2\pi}{T_0}$ - определяет так называемую частоту среза ω_c для спектра исследуемого процесса, и связана с

интегральным масштабом турбулентности α , соотношением

$$\gamma = \omega_c = \frac{1}{\alpha}$$

На основании обработки регистраций пульсаций температуры установлено, что при приближении к границе раздела ω_c увеличивается от величин порядка $0,5 \text{ сек}^{-1}$ на глубинах $0,3 + 0,5 \text{ м}$ до $\sim 1 \text{ сек}^{-1}$ на глубине $0,02 \text{ м}$. Такое изменение ω_c при приближении к границе раздела свидетельствует о расширении спектра исследуемого процесса за счет его высокочастотных составляющих и об уменьшении интегрального масштаба α турбулентных образований.

Основные результаты выполненной работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Разработан и построен комплекс измерительной аппаратуры, включающий:

- а) быстродействующий прибор для регистрации вертикального распределения температуры внутри тонкого поверхностного слоя моря,
- б) полуавтоматический регистратор средних значений температуры на различных горизонтах в двухметровом приводном слое атмосферы и в метровом поверхностном слое моря,
- в) регистратор турбулентных пульсаций температуры в тонком поверхностном слое моря.

2. Комплекс измерительной аппаратуры отвечает всем поставленным требованиям, по чувствительности, инерционности и локальности измерений. Высокая надежность его узлов позволяла получить большой материал наблюдений на многосуточных стан-

циях в открытом море при волнении до 3-х баллов.

3. В результате прямых регистраций впервые были получены данные о непрерывном распределении температуры внутри тонкого поверхностного слоя моря.

4. Подтверждается существование в поверхностном слое моря тонкой холодной плёнки воды, устойчивой во времени и сохраняющейся при волнении моря до 3-х баллов.

5. Распределение температуры в тонком поверхностном слое моря описывается экспоненциальным законом.

6. По данным регистраций среднее значение приведенной толщины тонкой поверхностной плёнки составляет величину $\sim 2 \text{ мм}$, а вертикальные градиенты температуры на границе раздела достигают значений до 600 град/м .

7. Получены оценки плотности суммарного потока тепла от моря в атмосферу, среднесуточная величина которого для августа месяца составляет 200 Вт/м^2 .

8. На основании большого материала регистраций суточного хода температуры на фиксированных горизонтах в двухметровом приводном слое атмосферы для районов открытого моря выявлены некоторые особенности температурного профиля.

9. На основании регистраций турбулентных пульсаций температуры в поверхностном слое моря получены характеристики изменений их спектрального состава при приближении к поверхности.

Основное содержание диссертации докладывалось, на Всесоюзном симпозиуме "Автоматизация морских исследований" (Севастополь, МТИ АНУССР, май 1968 г., на научной конференции

физического факультета ТГУ, посвященной 50 летию Советской власти Грузии. Тбилиси 1971 г., на Ломоносовских чтениях МГУ (Москва, апрель 1970 г., ноябрь 1972 г.) и опубликовано в статьях:

1. О вертикальном профиле температуры вблизи границы раздела море - атмосфера (совместно с В.С. Лаворко, А.А.Пивоваровым, Г.Г. Хунджуа), Океанология, 9, № 2, 1969.
2. Некоторые результаты определения структуры турбулентности по данным регистраций температурных пульсаций вблизи границы раздела море-атмосфера (совместно с В.С. Лаворко, А.А.Пивоваровым, Г.Г.Хунджуа), Изв. АН СССР, физ. атм. и ок. т. 4, 1970.
3. К вопросу автоматизации измерений и обработки результатов в гидрофизических исследованиях (совместно с В.С. Лаворко, А.А.Пивоваровым, Ф.Е. Темниковым, Л.В. Халлюловым, Г.Г. Хунджуа), Вестн. Моск. Ун-та, сер. физ. астр. № 4, 1971.
4. Вертикальное распределение температуры в тонком поверхностном слое моря (совместно с В.Г. Лошкаревым, М.И. Рыбкиным, П.М.Степунинным, Г.Г.Хунджуа), Вестн. моск.Ун-та, сер. физ. астр. № 5, 1971.
5. К анализу турбулентности по измерениям пульсаций температуры в море (совместно с В.С. Лаворко, А.А.Пивоваровым, Г.Г. Хунджуа), Вестн. Моск. Ун-та, сер. физ. астр., № 6, 1971.
6. К вопросу определения потоков тепла и водяного пара в системе океан - атмосфера по данным наблюдений профилей температуры в тонком поверхностном слое моря (совместно с Г.Г.Хунджуа), ДАН СССР, т. 208, № 4, 1973.

ПОДП. К ПЕЧАТИ 26/1У-73 Г. Л-71700. Ф. 80x90/18
Физ.п.л. 0,75. Уч.-изд.л. 0,75. ТИР. 200. ЗАК. 1510.

ОТПЕЧАТАНО НА РОТАПРИНТАХ В ТИП. ИЗД. МГУ
МОСКВА, ЛЕНГОРЫ



