

# ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ВОД СУШИ, МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

DOI: 10.36535/0235-5019-2020-12-3

УДК 502.51

## РАСЧЕТ ФУНКЦИИ РАДИОЯРКОСТНОГО ОТКЛИКА СИСТЕМЫ ОКЕАН-АТМОСФЕРА НА ВАРИАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

Д.ф.-м.н. **Гранков А.Г.**, канд. физ.-мат. наук **Солдатов В.Ю.**  
(Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
Фрязинский филиал, Московская обл., г. Фрязино)

## CALCULATION OF THE FUNCTION OF RADIOBRIGHTNESS RESPONSE OF THE OCEAN-ATMOSPHERE SYSTEM ON THE VARIATIONS IN THE HEAT FLUXES

**A.G. Grankov, V.Yu. Soldatov**

**Ключевые слова:** спутник, сигнал, алгоритм, океан, атмосфера, тепловой поток.

**Key words:** satellite, signal, algorithm, ocean, atmosphere, heat flux.

*Решается задача определения задержки отклика сигнала, регистрируемого на спутнике, по отношению к изменениям тепловых потоков на границе океан-атмосфера. Предложенный алгоритм основан на аппроксимации решения интегрального уравнения Вольтерра первого типа рядами экспоненциальных функций. Приводятся три примера расчета функции отклика.*

*The task of the delay determination for signal response registered on the satellite is solved. This response is considered respect to the variations in the heat fluxes within the atmosphere-ocean system. An algorithm proposed here is based on the approximation of the solution of Volterra equation by exponential functions. Three example of calculation are given.*

Изучение взаимосвязи радиоизлучения системы *океан-атмосфера* с тепловыми процессами на границе раздела между нижними слоями атмосферы и поверхностью океана в последнее время стало одной из актуальных проблем. Действительно, недавние события, связанные с тропическими ураганами Katrina и Rita, заставили активизировать работы по поиску индикаторов возникновения ураганов и прогнозной оценки их мощности. В частности, сейчас в Интернет развернута широкая дискуссия по этим проблемам.

Поскольку спутниковые измерения являются наиболее оперативными источниками информации, а на спутнике регистрируется только яркостная температура, то установление ее взаимосвязи с геофизическими параметрами является необходимым этапом при их определении по измерениям яркостных температур. Конечно, здесь имеется много задач, связанных с тем, что измерения на высоте спутника в микроволновом диапазоне дают информацию не только о нижних слоях атмосферы, но и о более высоких ее слоях.

Цель работы состоит в анализе связи яркостной температуры  $T_{я}(t)$  и тепловых потоков  $q(t)$  на границе системы океан-атмосфера в участках спектра  $\lambda=0.59$  и  $1.35$  см – резонансных областях поглощения излучения системы в средних широтах районов Северной Атлантики, характеризующихся активной циклонической деятельностью. В качестве экспериментальных данных используются измерения тепловых потоков с научных судов погоды "В.Бугаев", "Муссон" и "Волна", полученные в эксперименте АТЛАНТЭКС-90 в апреле 1990г., и яркостная температура, измеряемая СВЧ-радиометрами спутника DMSP F-08 в эти же периоды времени. Теоретически искомая зависимость описывается уравнением Дюамеля:

$$T_{я}(t) = \int_0^t q(\tau)r(t-\tau)d\tau \quad (1)$$

Уравнение (1) является классическим уравнением Вольтера первого рода типа свертки. Оно теоретически может быть решено с помощью преобразования Лапласа или с применением итеративной процедуры [3]. Поскольку функции  $T_{я}(t)$  и  $r$  в решаемой задаче заданы таблично в виде числовых рядов конечной длины, то указанные алгоритмы, как показали предварительные расчеты, приводят к большой погрешности. Следуя развитому в [1, 2] алгоритму аналитической аппроксимации для определения функции отклика  $r(t)$  из уравнения Дюамеля (1), применим метод разложения искомого решения этого интегрального уравнения свертки в базисе экспоненциальных функций

$$r(t) = \sum_{i=1}^N a_i \exp(-b_i t) \quad (2)$$

где коэффициенты  $a_i$  и  $b_i$  определяются из условия минимума невязки:

$$M = \min_{\{a_i, b_i\}} (1/n) \sqrt{\sum_{i=1}^n [T_{я}(t_i) - F(t_i)]^2},$$

где учтено, что функции и  $q(t)$  заданы их дискретными значениями во времени  $t_i=i\Delta t$ :

$$F(t_i) = \sum_{s=0}^{i-1} q(t_i - t_s) \sum_{k=0}^N (a_k/b_k) \exp(-b_k t_s) [1 - \exp(-b_k \Delta t)]$$

Проведенные расчеты показали, что в рассмотренных случаях в формуле (2) достаточно брать  $N=6$ , при этом средняя ошибка расчетов составляет не более 5-7%. Примеры расчетов приведены на рис. 1а-в.

Основным результатом работы является строгое математическое обоснование установленного в [1] факта задержки отклика яркостной температуры на 6-18 часов по отношению к вариациям тепловых потоков в районах прохождения среднеширотных циклонов. Этот факт чрезвычайно важен при калибровке данных спутниковых измерений на основе данных судовых измерений, т.к. задержка даже в 1-2 часа между ними может привести к значительным погрешностям калибровки спутниковых данных и их валидации.

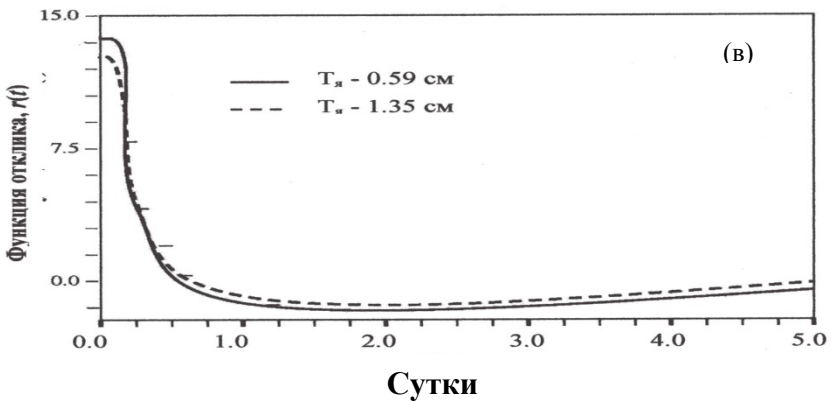
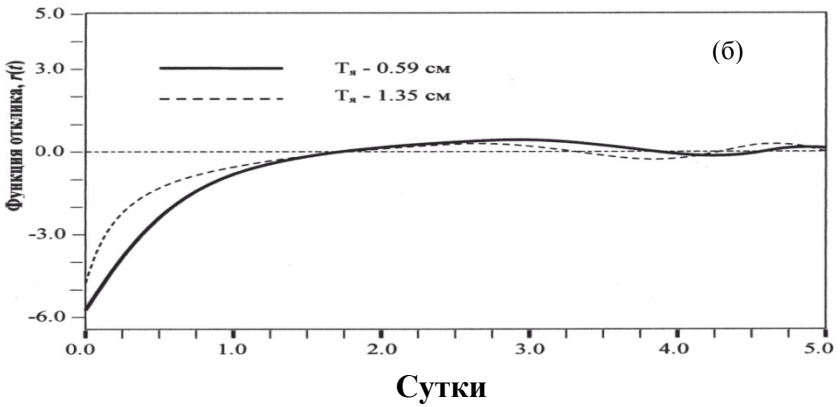
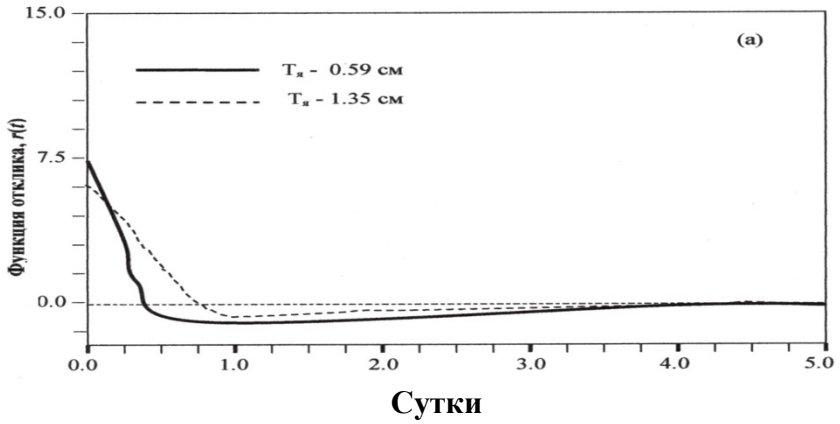


Рис. 1. Расчет функции отклика  $r(t)$ ,  $\text{К}(\text{Вт}/\text{м}^2)^{-1} \text{сут}^{-1}$  для измерений с судов: (а) - "Бугаев", (б) - "Муссон" и (в) - "Волна".

## Литература

1. Гранков А.Г., Мильшин А. Взаимосвязь радиоизлучения системы океан-атмосфера с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела. М.: Физматлит, 2004, 166 с.
2. Гущин Ю.Г., Гранков А.Г., Лопашов Н.В. Метод синтеза оптимальных линейных цепей фильтрующего типа: Межвузовский Тематический Научный Сборник ЛЭТИ, Вып. 1 (Вопросы обработки сигналов): Изд.: Ленинград, 1976, с.21-23.
3. Трикоми Ф. Интегральные уравнения. ИИЛ, Москва, 1960, 299 с.