

Исследование вариаций характеристик микроволнового излучения и параметров влагосодержания атмосферы

Д.М. Караваев, Г.Г. Щукин

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Ждановская, 13, e-mail: dm.karavaev@mail.ru

Рассмотрены вариации характеристик радиотеплового излучения атмосферы, влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков в различных регионах над океаном и над сушей на основе данных наземных, судовых и спутниковых микроволновых радиометров. Предложена полуэмпирическая модель для описания структурной функции влагозапаса атмосферы в широком диапазоне пространственно-временных масштабов

Considered a variation of characteristics of atmospheric radiation, atmospheric water vapor and cloud liquid water content in different regions over the ocean and over land on the basis of data from ground, ship and satellite microwave radiometers. Offered empirical model for the description of structural function of atmospheric water vapor in a wide range of spatial and temporal scales

Введение

Известно, что флуктуации температуры и влажности воздуха атмосферы определяют вариации ее собственного радиотеплового излучения атмосферы в микроволновом диапазоне спектра частот [1,2]. Метод микроволновой радиометрии атмосферы позволяет исследовать изменения состояния атмосферы в пространстве и во времени в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. Задачей работы ставилось обобщение выполненных экспериментальных исследований временных и пространственных вариаций характеристик радиотеплового излучения атмосферы, влагозапаса атмосферы, водозапаса облаков над океаном и над сушей на основе анализа данных наземных и спутниковых микроволновых радиометров.

Флуктуации характеристик радиотеплового излучения атмосферы

Пространственные флуктуации температуры, влажности, давления, водности атмосферы приводят к флуктуациям радиохарактеристик (оптической толщины и радиояркостной температуры) нисходящего излучения атмосферы в микроволновом диапазоне частот [1,2]. На частотах вблизи центра линии водяного пара 22.235 ГГц и в окнах прозрачности атмосферы 31-38 ГГц и 90 ГГц величина этих флуктуаций определяется в основном флуктуациями влажности воздуха атмосферы и водности облаков [1,3]. Ряд интересных результатов по исследованию турбулентных флуктуаций радиотеплового излучения был получен ранее в работах [3,4]. В данной работе основное внимание уделялось экспериментальным исследованиям вариаций характеристик радиотеплового излучения атмосферы, влагозапаса атмосферы, водозапаса облаков в интервале временных масштабов от нескольких минут до нескольких суток.

При экспериментальных исследованиях вариаций характеристик радиотеплового излучения атмосферы может быть использован аппарат структурных функций, при этом, временная структурная функция радиояркостной температуры $D_{T_r}(\Delta t)$ определяется соотношением:

$$D_{T_r}(\Delta t) = \left\langle [T_r(t + \Delta t) - T_r(t)]^2 \right\rangle, \quad (1)$$

где $\langle \rangle$ означает усреднение по времени; Δt - интервал времени.

Для построения структурных функций использовались временные ряды измеренных радиоярких температур на частотах 22.2 ГГц и 36.5 ГГц при фиксированном угле места. Исследования выполнялись в различных регионах средних широт (над океаном и над сушей) при различных метеорологических ситуациях.

Для атмосферы, содержащей облака Ac, Sc, St, Ns, временные структурные функции подобны, описываются степенной функцией $D_{T_{\lambda}}(\Delta t) = C \cdot t^{\mu}$. Максимальные флуктуации радиоярких температур наблюдались для облаков Ns, амплитуда вариаций составляла 5-10 К (при временных интервалах 1 мин.), минимальные флуктуации (менее 0.5 К) наблюдались для облаков Ac. При этом показатель степени $\mu = 0.3 - 0.4$ при $\Delta t_0 \leq \Delta t \leq \Delta t_2$ (обычно $\Delta t_0 \leq 5$ мин.). Анализ временных структурных функций, полученных для облаков Cu, Cu med, позволяет выделить две области, где структурные функции описываются степенной функцией, причем $\mu \approx 0.7 - 0.8$ при $\Delta t < \Delta t_0$, $\mu \approx 0.2$ при $\Delta t_0 < \Delta t < \Delta t_1$. При $\Delta t > \Delta t_1$ наступает насыщение структурной функции. Переходная область, где временные структурные функции испытывают излом, соответствует временному интервалу Δt_0 , который может составлять несколько минут и зависит от мощности облака. Анализ временных флуктуаций радиоярких температур облачной атмосферы на различных частотах позволяет получить информацию о структуре облачности и ее параметрах, ставить задачи по идентификации типа облачности и определения мощности облаков.

Вариации влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков

В настоящее время распространение получила схема наземного двухчастотного зондирования атмосферы на частотах 22 ГГц и 36 ГГц, которая позволяет определять влагозапас атмосферы и водозапас облаков по измеренным характеристикам нисходящего радиотеплового излучения атмосферы [1]. Как показали экспериментальные исследования в регионах средних широт над океаном и над сушей измеренные значения влагозапаса атмосферы могут варьировать в диапазоне от 2 до 45 кг/м². Сравнительные эксперименты показывают хорошее согласие микроволновых радиометрических измерений влагозапаса атмосферы с данными аэрологического зондирования атмосферы (СКО около 1 кг/м²).

Данные микроволнового радиометра использовались для анализа временных структурных функций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков. Для примера, на рис.2. представлены временные структурные функции влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков над океаном (координаты 46 С.Ш., 48 В.Д.). Эти данные позволили оценить вариации влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков для временных интервалов от 15 минут до суток.

Анализ вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков при различных метеорологических условиях показывает, что максимальные значения вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков наблюдались в теплых секторах циклонов, а минимальные значения - при антициклонических ситуациях. Из данных, представленных на рис. 2. следует, что структурные функции влагозапаса атмосферы описываются степенной функцией с показателем степени $\mu = 0.55 - 0.75$, а структурные функции водозапаса при $\Delta t \geq 60$ мин. испытывают тенденцию к насыщению.

Временные структурные функции влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков на временном интервале от 1 часа до 5 суток, полученные по данным микроволновых радиометрических измерений в Ленинградской области аппроксимируются степенной функцией $D_Q(\Delta t) = C_Q^2 \Delta t^{\mu}$ при $\mu = 0.67$, $C_Q = 0.46 \text{ к г м}^{-2} \cdot \text{мин}^{-0.33}$ (лето) и $C_Q = 0.10 \text{ к г м}^{-2} \cdot \text{мин}^{-0.33}$ (зима).

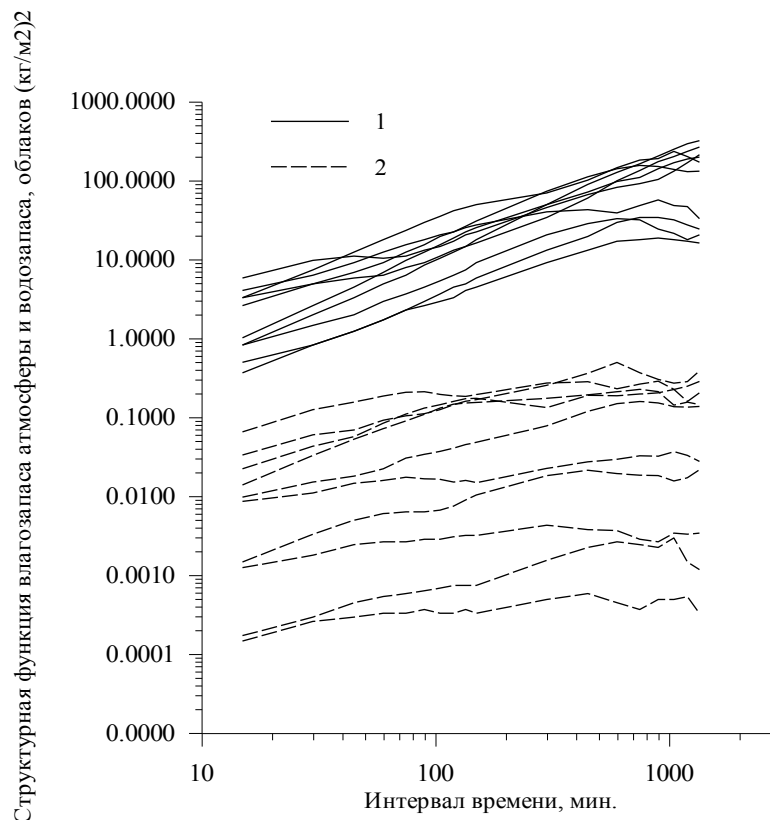


Рис.2. Структурные функции влагозапаса атмосферы (1) и водозапаса облаков (2)

Средние квадратические значения интенсивности временных флуктуаций влагозапаса атмосферы $\sigma_Q(\Delta t)$ могут быть получены из соотношения $\sigma_Q(\Delta t) = [0.5 \cdot D_Q(\Delta t)]^{0.5}$. Из анализа экспериментальных данных следует, что интенсивности вариаций зависят в значительной степени от метеоусловий. Средние месячные интенсивности вариаций влагозапаса атмосферы (при $\Delta t = 15$ мин.) могут меняться в зависимости от сезона года от 0.18 до 0.67 кг/м² (для условий Ленинградской области, зима-лето).

Оценки пространственных структурных функций флуктуаций влагозапаса атмосферы $D_Q(\rho)$ могут быть выполнены в предположении гипотезы Тейлора о замороженной турбулентности:

$$D_Q(\rho) = D_Q(\Delta t \cdot V), \quad (3)$$

где V - средняя скорость переноса неоднородностей.

Использование гипотезы замороженной турбулентности для построения пространственных структурных функций по временным в широком диапазоне пространственно-временных масштабов является дискуссионным. Поэтому были выполнены эксперименты по исследованию атмосферы с помощью спутниковых и наземных (судовых) средств, направленные на анализ не только временных рядов влагозапаса атмосферы по данным измерений с борта научно-исследовательского судна погоды, но пространственных карт спутниковых данных по влагозапасу атмосферы и водозапасу облаков над океаном. В докладе приводятся сравнительные характеристики современных спутниковых радиометров для получения данных о параметрах атмосферы. Для анализа пространственных структурных функций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков над океаном использовались данные SSMI/SSMIS DMSP. Особенности получения спутниковых данных SSMI связаны с относительно низким пространственным разрешением антенны (около 50*40 км² на частоте 22.3

ГГц) при времени интегрирования около 8 мс, сканирование района площадью около 1400×1400 км² занимает ед. минут. Прежние исследования показали, что для выбранного района океана данные синхронных спутниковых и судовых измерений влагозапаса атмосферы находятся в согласии с данными синхронного аэрологического зондирования.

Для описания пространственных (временных) вариаций влагозапаса атмосферы на различных пространственных интервалах в работе предлагается следующая полуэмпирическая модель для структурной функции влагозапаса атмосферы, при этом принимается модель локально-однородной, изотропной турбулентности, в соответствии с которой можно выделить три различные области изменения структурной функции:

1. При $r_0 < r < r_1$: $D_Q(r) = C_1^2 r^{\frac{5}{3}}$,
2. При $r_1 < r < r_2$: $D_Q(r) = C_2^2 r^{\frac{2}{3}}$,
3. При $r_2 < r$: $D_Q(r) = C_3^2 r^{\frac{2}{3}}$,

Здесь, C_i - средние интегральные структурные коэффициенты; r_0, r_1 - так называемые «внутренний» и «внешний» масштабы изотропной трехмерной турбулентности; r_2 - «внешний» масштаб двумерной турбулентности.

Заключение

Исследованы вариации характеристик радиотеплового излучения атмосферы в различных регионах средних широт, а также влагозапас атмосферы и водозапас облаков в инерционном интервале пространственно-временных масштабов. Предложена простая полуэмпирическая модель для описания средней пространственной структурной функции влагозапаса атмосферы.

Литература

1. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г, Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии.-Л.:Гидрометеоиздат.1987. 283с.
2. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.:Наука.1967.548 С.
3. Кутуза Б.Г. Особенности флуктуаций микроволнового излучения атмосферы. // Успехи современной радиоэлектроники. №1.2003.-С.36-43.
4. Stotskii A.A. Path length fluktuations through the Earth troposphere: turbulent model and data of observations. Proceeding of the symposium Refractions of transatmospheric signals in geodesy. Niderlands. 1992. -PP.179-182.