

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОСИГНАЛОВ ИСЗ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕТЕООБРАЗОВАНИЙ

И. М. Мыценко, Д. Д. Халамейда, С. И. Хоменко

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова, НАН Украины,
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: hdd78@mail.ru*

Рассмотрена возможность использования радиосигналов геостационарных ИСЗ под большим углом места для определения параметров гидрометеообразований (дождя, снега, града, облаков). Например, по ослаблению и рассеянию радиоволн можно судить о средней влажности и концентрации капель в слоисто-кучевых облаках, по отражениям радиоволн от кучево-дождевых облаков можно судить об их интенсивности и опасности ливневых дождей и т. д. Приведено описание функциональной схемы аппаратуры и результаты экспериментальных исследований основных форм облаков нижнего, верхнего и среднего яруса. Сделаны выводы о перспективности использования сигналов геостационарных ИСЗ, экологической безопасности, простоте и дешевизне. Ил. 9. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: водность, жидкая фаза, геостационарный.

В настоящее время в связи с климатическими изменениями одной из актуальных задач является обнаружение опасных для человека гидрометеообразований, способных вызвать град, проливные дожди, снегопады и т. д. Кроме этого, большую опасность для авиации представляют гряды волнистых облаков. Эти облака образованы атмосферными волнами, развивающимися на границе двух воздушных слоев, имеющих различные плотности и движущиеся с различными скоростями. При этом в гребнях волн, где имеет место восходящее движение воздуха, происходит охлаждение, конденсируется водяной пар и образуются облака. В нисходящих течениях воздух нагревается и небо между гребнями остается чистым. Волны этого типа порождают болтанку, а иногда и приводят к авиакатастрофам. Для распознавания таких гидрометеообразований применяются радиолокационные станции, обладающие большим энергопотенциалом и представляющие экологическую опасность для тех мест, где они установлены [1,2]. По этим причинам одним из первостепенных требований к разрабатываемой и используемой аппаратуре является ее экологическая безопасность [3].

Широкое применение спутникового телевидения, простота и доступность аппаратуры, используемые частотные диапазоны и экологическая безопасность поставили задачу исследовать возможность использования сигналов геостационарных спутников для определения параметров гидрометеообразований. Этим исследованиям и посвящена настоящая работа.

1. Методика исследований. Методика исследований заключалась в установлении зависимости характеристик флуктуаций сигнала геостационарного спутника 3-см диапазона с параметрами гидрометеообразований, находящихся на трассе распространения радиоволн.

На трассе распространения сигналов ИСЗ [4] сантиметрового диапазона наибольшее влияние

имеет тропосфера. Турбулентности тропосферы, приводящие к появлению неоднородностей диэлектрической проницаемости ϵ , влияют на уровень принимаемого сигнала и приводят к размытию его спектра. Особое место занимают облака [5].

К основным формам облаков относятся облака нижнего яруса: слоистые (однородной, линейной, упорядоченной структуры, сравнительно тонкий слой); слоисто-кучевые (слой с ясно выраженной структурой в виде волн, гряд или крупных пластин); слоисто-дождевые (сплошная серая пелена большой вертикальной мощности, дающая длительные осадки в виде обложного дождя или снега). Облака среднего яруса: высоко-слоистые (сероватая или чуть синеватая пелена); высоко-кучевые (похожие на слоисто-кучевые, но более тонкие). Облака верхнего яруса: перистые (неплотные, часто просвечивающиеся, в виде отдельных параллельных или спутанных нитей); перисто-слоистые (белая или голубоватая, довольно однородная пелена); перисто-кучевые (тонкие, полупрозрачные, в виде ряби или скопления хлопьев). И, наконец, облака вертикального развития, имеющие сравнительно плоские основания и куполообразные вершины, часто причудливых очертаний: кучевые, мощно-кучевые и кучево-дождевые.

На границе облаков меняется температура и влажность воздуха, а также водность, т. е. содержание воды в жидкой фазе. Поэтому на границах облаков наблюдаются резкие скачки коэффициента преломления, достигающие 1-3 N ед/м. Наибольшие перепады коэффициента преломления на границах облаков (до 40 N единиц и более) наблюдаются в летний период времени из-за существенного влияния влажности при положительных температурах [6]. Такие облака имеют наибольшую опасность для человека: ливневые дожди, град, грозы и т. д. Ливневые дожди выпадают из кучево-дождевых облаков, которые возникают на определенной стадии развития мощных кучевых облаков. Обложные до-

жди выпадают, как правило, из слоисто-дождевых облаков и характеризуются небольшой интенсивностью и протяженностью в несколько сотен километров. Предлагаемый метод экологически безопасной пассивной локационной станции, использующий радиосигналы геостационарных ИСЗ, основан на исследовании флуктуационных характеристик сигналов, прошедших тропосферу. С целью исключения влияния отражений от поверхности для исследований применяются высокорасположенные спутники ($\beta = 10^\circ, 20^\circ$ и 30°).

Геометрические параметры трассы распространения приведены на рис. 1.

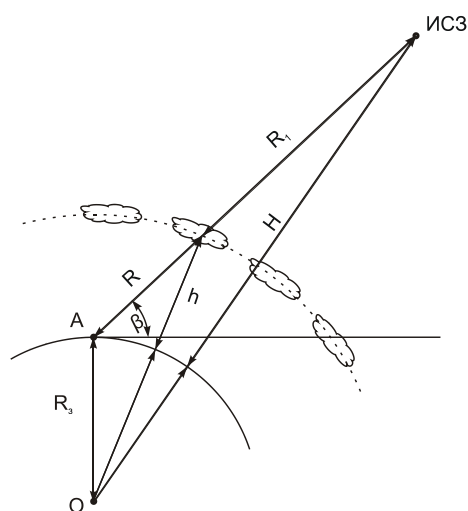


Рис. 1. Геометрические параметры трассы распространения: H - высота расположения геостационарного ИСЗ; h - высота расположения гидрометеорообразования; R - расстояние от приемной антенны до гидрометеорообразования; β - угол места направления на геостационарный ИСЗ; R_3 - радиус Земли ($R_3 = 6370$ км)

Определим расстояние R от приемной антенны до гидрометеорообразования в интервале высот $h = 100 \div 10000$ м, где находятся основные формы гидрометеорообразований. Для этого воспользуемся известным выражением [5]:

$$R = \left(\sqrt{(R_3 + h)^2 - R_3^2 \cos^2 \beta} - R_3 \sin \beta \right). \quad (1)$$

На рис. 2 приведены зависимости $R = f(h)$ при $\beta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$.

Как известно [7], в зависимости от соотношения первой зоны Френеля и размеров тропосферных неоднородностей будут наблюдаться рассеяние, дифракция и отражение радиоволн, что сказывается на характеристиках флуктуаций принимаемого сигнала. Радиус n -й зоны Френеля определяется соотношением [6, 8]:

$$\rho = \sqrt{\frac{n\lambda R(H - R)}{H}}, \quad (2)$$

где λ - длина волны; n - номер зоны Френеля.

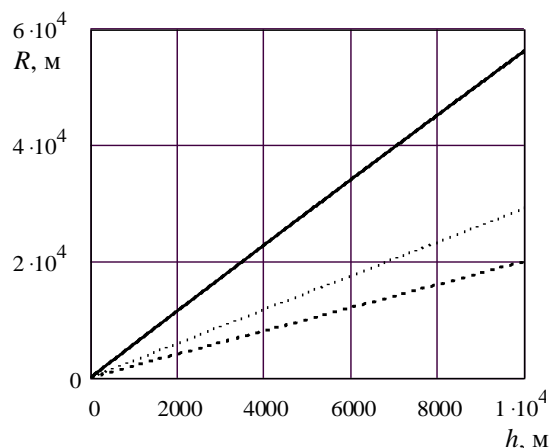


Рис. 2. Зависимость расстояния R от высоты расположения гидрометеорообразования: — - $\beta = 10^\circ$; - $\beta = 20^\circ$; - - - - $\beta = 30^\circ$

На рис. 3 представлена зависимость радиуса первой зоны Френеля ρ от высоты расположения гидрометеорообразований.

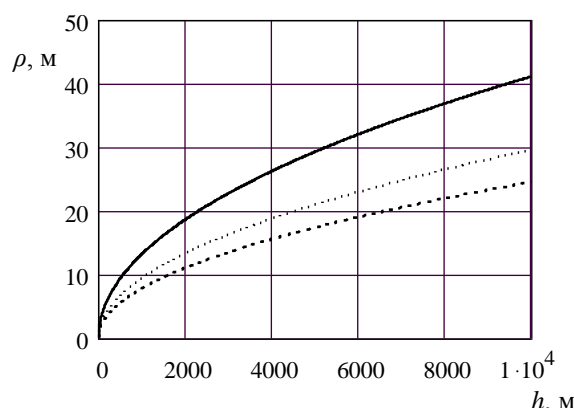


Рис. 3. Зависимость радиуса первой зоны Френеля от высоты расположения гидрометеорообразований: — - $\beta = 10^\circ$; - $\beta = 20^\circ$; - - - - $\beta = 30^\circ$

2. Описание аппаратуры. Структурная схема аппаратуры приведена на рис. 4.

Для приема спутникового сигнала применялись стандартные антенна диаметром 0,9 м и конвертор (внешний блок), состоящий из малошумящего усилителя (МШУ), смесителя СМ, гетеродина Г и предварительного усилителя промежуточной частоты ПУПЧ. Общее усиление конвертора составляет 65 дБ, коэффициент шума 0,6 дБ, полоса принимаемых частот 10,7 - 12,75 ГГц. Выходной сигнал конвертора с помощью кабеля длиной 2 м подавался на внутренний блок. Дальнейшее усиление сигнала проводилось широкополосным усилителем с коэффициентом усиления $K_{ус} = 18$ дБ в полосе частот 950 - 2150 МГц. Затем сигнал детектировался амплитудным детектором, на выходе которого включен фильтр низких частот (ФНЧ) с полосой пропускания от 0 до 100 Гц. Усиление флуктуа-

онной составляющей продетектированного сигнала осуществлялось с помощью усилителя постоянного тока (УПТ), собранного на основе операционного усилителя. На неинвертирующий вход этого усилителя поступает сигнал от амплитудного детектора (АД), а на инвертирующий вход подается напряжение от стабилизированного источника напряжения $E_{\text{комп}}$, компенсирующее постоянную составляющую сигнала. Это дает возможность усилить и в дальнейшем подать на регистрирующее устройство флукуционную составляющую принимаемого сигнала. Таким образом, общее усиление измерительного приемного устройства равно ~ 100 дБ.

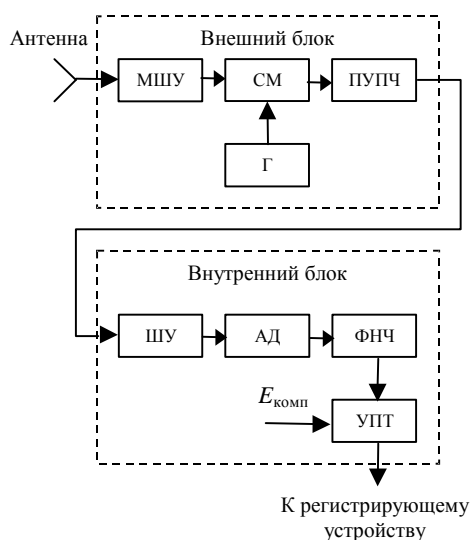


Рис. 4. Структурная схема аппаратуры

3. Результаты измерений. Записи сигнала проводились за период с июня 2006 по февраль 2007 г. Наиболее типичные и характерные реализации представлены в одном масштабе на рис. 5 - 8.

На рис. 5 представлена реализация сигнала в случае ясного, чистого неба в зимний период.

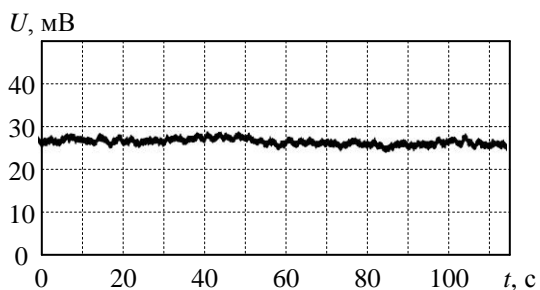


Рис. 5. Запись сигнала: 03.02.07 - ясное небо; угол места $\beta = 30^\circ$

На рис. 6 представлена реализация сигнала, при сплошной облачности. Амплитуда низкочастотной составляющей флукуаций на входе регистрирующего устройства невелика - порядка

10 мВ. Присутствуют высокочастотные флукуации порядка 1 мВ. Угол места на спутник $\beta = 30^\circ$.

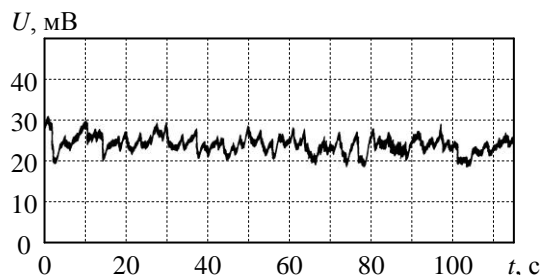


Рис. 6. Запись сигнала: 21.11.06 - сплошная облачность; угол места $\beta = 30^\circ$

На рис. 7 представлена запись сигнала при одиночных кучево-дождевых облаках. Можно отметить высокий уровень низкочастотной составляющей флукуаций, амплитуда которых достигает 40 мВ. Высокочастотная составляющая флукуаций пренебрежимо мала.

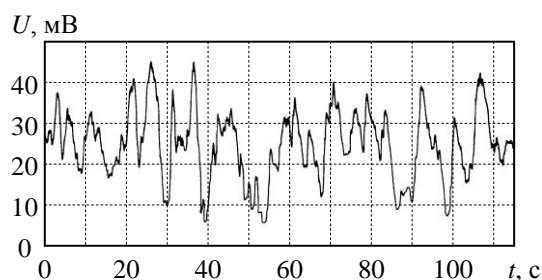


Рис. 7. Запись сигнала: 18.06.06 - кучевые дождевые облака на фоне солнца; угол места $\beta = 20^\circ$

На рис. 8 представлена запись сигнала при наблюдении белых кучевых облаков, водность которых меньше чем кучевых дождевых облаков, соответственно и меньше амплитуда флукуаций принимаемого спутникового сигнала - порядка 20 мВ.

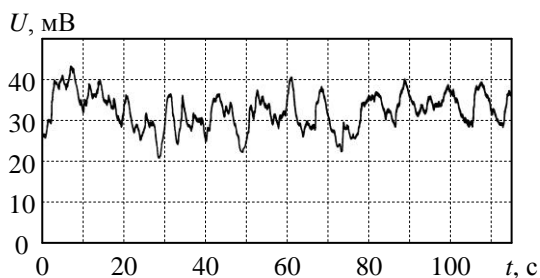


Рис. 8. Запись сигнала: 18.06.06 - белые кучевые облака на фоне солнца; угол места $\beta = 20^\circ$

На рис. 9 представлена запись сигнала, регистрирующего прохождение одиночного облака на фоне чистого неба. При этом на этом участке диаграммы 40 - 90 с, соответствующего попаданию облака в диаграмму направленности

приемной антенны, происходит возрастание уровня флуктуаций более чем в два раза.

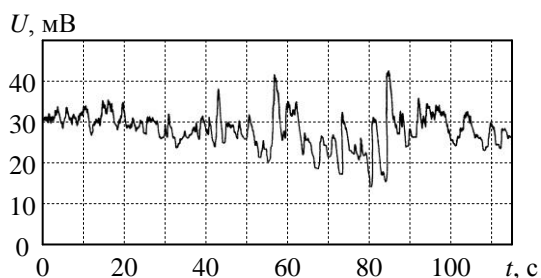


Рис. 9. Запись сигнала: 18.06.06 - прохождение облака в диаграмме направленности антенны на фоне чистого неба; угол места $\beta = 20^\circ$

Выводы. Таким образом, полученные записи флуктуаций можно разбить на три группы:

- флуктуации при разрывной облачности (рис. 7-9);
- флуктуации при сплошной облачности (рис. 6);
- флуктуации при чистом небе (рис. 5).

В первом случае наблюдается высокий уровень низкочастотных составляющих флуктуаций, глубина которых зависит от характера облаков. На рис. 7 амплитуда флуктуаций при прохождении мощного кучево-дождевого облака достигает 30-40 мВ, а на рис. 8, 9 при прохождении белых кучевых облаков с меньшей водностью амплитуда флуктуаций достигала 15-20 мВ. Минимальная частота флуктуаций в первом случае составляла сотые доли герца (рис. 7), а во втором - десятые доли герца (рис. 8, 9). Это связано прежде всего со скоростью движения облаков. В первом случае скорость ветра составляла 1-3 м/с, а во втором - 8-9 м/с. Во второй группе флуктуации сигнала имеют меньшую амплитуду, однако появляется ярко выраженная высокочастотная составляющая спектра (достигающая 300 Гц). Для третьей группы характерна сильная сезонная зависимость: практически отсутствие флуктуаций (рис. 5) в ясный морозный (-10°C) день и наличие флуктуаций с небольшой амплитудой в ясный летний день $\sim 5-10$ мВ, как видно на рис. 9 в момент отсутствия в диаграмме антенны облака.

Использование сигналов геостационарных ИСЗ позволяет распознавать и идентифицировать облака, особенно находящиеся в первом ярусе, так как они имеют наибольшее влияние на флуктуации сигнала.

Аппаратура для распознавания облаков является достаточно простой в изготовлении и может иметь широкое распространение.

1. Кивва Ф. В., Синицкий В. Б., Турганев И. С., Хоменко С. И. Спектральные характеристики отражений от метеорообразований // XII Всесоюз. Конф. по распространению радиоволн. Тез. докл. - Томск, 1978. - Ч. II. - С.225-227.
2. Степаненко В. Д. Радиолокация и метеорология. - Л.: Гидрометеоздат, 1966. - 327 с.
3. Кайдаловский М. И., Стоцкий А. А. Экспериментальные характеристики флуктуаций радиоизлучения облаков на сантиметровых и миллиметровых волнах // XII всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Тез. докл. - Томск, 1978. - Ч. II. - С.77-80.
4. Яковлев О. И. Распространение радиоволн в космосе - М.: Наука, 1985. - 214 с.
5. Атлас облаков / Под ред. Хргиан А. Х. и др. - Л.: Гидрометеоздат, 1978. - 268 с.
6. Калинин А. И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолоний - М.: Связь, 1979. - 296 с.
7. Дальнее тропосферное распространение ультракоротких волн / Под ред. Введенского Б. А. и др. - М.: Сов. радио, 1965. - 415 с.
8. Космические траекторные измерения / Под ред. Агаджанова П. А., Дужвича В. Е., Коростенева А. А. - М.: Сов. радио, 1969. - 504 с.

USING OF GEOSTATIONARY SATELLITES RADIATION FOR DETERMINATION OF HYDROMETEORS PARAMETERS.

I. M. Mytsenko, D. D. Khalameyda, S. I. Khomenko

The possibility of using of geostationary satellites radiation at high elevation angles for determination of hydrometeors parameters (rain, snow, hail, cloud) is discussed. Description of the equipment structure diagram and results of the experimental investigations of low-, medium- and high-level clouds main forms are shown. The apparatus for recognizing clouds is quite simple and cheap.

Key words: water content, liquid phase, geostationary.

ВИКОРИСТАННЯ РАДІОСИГНАЛІВ ІСЗ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМЕТЕОУТВОРЕНЬ

I. М. Миценко, Д. Д. Халамейда, С. І. Хоменко

Розглянуто можливість використання радіосигналів геостационарних ІСЗ під більшим кутом місця для визначення параметрів гідрометеоутворень (дощу, снігу, граду, хмар). Наприклад, по ослабленню та розсіюванню радіохвиль можна судити про середню вологість і концентрацію крапель у шарувато-кучастих хмарах, по відбиттях радіохвиль від кучево-дошовий хмар можна судити про їхню інтенсивність і небезпеку зливових дощів і т. д. Наведений опис функціональної схеми апаратури та результати експериментальних досліджень основних форм хмар нижнього, верхнього і середнього ярусу. Зроблено висновки про перспективність використання сигналів геостационарних ІСЗ, екологічної безпеки, простоти та дешевизни.

Ключові слова: водність, рідка фаза, геостационарний.

Рукопись поступила 20 февраля 2007 г.