|  |
| --- |
| **Рекомендация МСЭ-R P.840-4**  **(10/2009)** |
| **Ослабление из-за облачности и тумана** |
| **Серия P**  **Распространение радиоволн** |

**Предисловие**

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

**Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)**

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

|  |  |
| --- | --- |
| **Серии Рекомендаций МСЭ-R**  (Представлены также в онлайновой форме по адресу: <http://www.itu.int/publications/R-REC/en>.) | |
| **Серия** | **Название** |
| **BO** | Спутниковое радиовещание |
| **BR** | Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения |
| **BS** | Радиовещательная служба (звуковая) |
| **BT** | Радиовещательная служба (телевизионная) |
| **F** | Фиксированная служба |
| **M** | Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы |
| **P** | **Распространение радиоволн** |
| **RA** | Радиоастрономия |
| **RS** | Системы дистанционного зондирования |
| **S** | Фиксированная спутниковая служба |
| **SA** | Космические применения и метеорология |
| **SF** | Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы |
| **SM** | Управление использованием спектра |
| **SNG** | Спутниковый сбор новостей |
| **TF** | Передача сигналов времени и эталонных частот |
| **V** | Словарь и связанные с ним вопросы |

|  |
| --- |
| ***Примечание***. – *Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 МСЭ-R.* |

*Электронная публикация*Женева, 2010 г.

© ITU 2010

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.840-4

Ослабление из-за облачности и тумана

(Вопрос МСЭ-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999-2009)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описаны методы прогнозирования ослабления из-за облачности и тумана на трассах Земля-космос.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что существует необходимость предоставления инженерам руководства по проектированию систем электросвязи Земля-космос на частотах выше 10 ГГц;

b) что ослабление из-за облачности может быть важным фактором, особенно для микроволновых систем, работающих на частотах гораздо выше 10 ГГц, или для малодоступных систем;

c) что для расчета временных рядов общего ослабления и для методов пространственно-временного предсказания необходимо аналитическое выражение статистики общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках,

рекомендует

**1** использовать для расчета ослабления из-за облачности и тумана кривые, модели и карты, приведенные в Приложении 1;

**2** использовать информацию, содержащуюся в Приложении 1, для выполнения общих расчетов, касающихся явлений распространения, которые необходимы, среди прочего, для пространственно-временных моделей каналов, для которых требуется аналитическое выражение статистики общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках.

Приложение 1

# 1 Введение

На частотах ниже 200 ГГц в отношении облачности или тумана, полностью состоящих из небольших капелек, размер которых, как правило, меньше 0,01 см, действительна релеевская аппроксимация, и ослабление можно выразить через общий объем воды, содержащийся в единичном объеме. Таким образом, погонное ослабление в облачности или тумане может быть записано как:

дБ/км, (1)

где

*c* : погонное ослабление (дБ/км) в облачности;

*Kl* : коэффициент погонного ослабления ((дБ/км)/(г/м3));

*M* : плотность жидкой воды в облачности или тумане (г/м3).

На частотах порядка 100 ГГц и выше ослабление из-за тумана может быть значительным. Плотность жидкой воды в тумане составляет около 0,05 г/м3 при среднем тумане (видимость порядка 300 м) и 0,5 г/м3 при густом тумане (видимость порядка 50 м).

# 2 Коэффициент погонного ослабления

Для вычисления значения *Kl* для частот до 1000 ГГц можно использовать математическую модель, основанную на релеевском рассеянии, в которой применяется двумерная модель Дебая для диэлектрической проницаемости  ( *f*) воды:

 (дБ/км)(г/м3), (2)

где *f* − частота (ГГц) и

. (3)

Комплексная диэлектрическая проницаемость воды задается выражениями:

, (4)

, (5)

где

0  77,6  103,3 ( – 1); (6)

1  5,48; (7)

2  3,51; (8)

  300 / *T*, (9)

а *T* − температура (K).

Главные и вторичные частоты релаксации:

*fp*  20,09 – 142 ( – 1)  294 ( – 1)2 ГГц, (10)

*fs*  590 – 1 500 ( – 1) ГГц. (11)

На рисунке 1 показаны значения *Kl* на частотах от 5 до 200 ГГц и при температурах между   
–8° C и 20° C. При ослаблениях в облачности должна использоваться кривая, соответствующая 0° C.

РИСУНОК 1

Погонное ослабление капельками воды   
при различных температурах в зависимости от частоты



# 3 Ослабление из-за облачности

Для получения с заданной вероятностью значения ослабления из-за облачности следует знать статистику общего столбчатого объема жидкой воды *L* (кг/м2) или, что то же самое, количество в мм влагосодержания для данного места расположения, в результате:

               дБ     для   90    5 (12)

где угол места и *Kl* находится по рисунку 1. Отметим, что *Kl* идентичен коэффициенту массового поглощения *aL*, который введен в уравнении (1) Рекомендации МСЭ-R P.836.

Статистику общего столбчатого объема жидкой воды можно получить путем радиометрических измерений или по результатам запусков радиозондов.

# 4 Общий столбчатый объем воды, содержащийся в облаках

Значение общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках, выражаемый в кг/м2, или, что то же самое, в мм жидкой воды, может быть получен на основе результатов зондирований радиозондами и радиометрических измерений. Данные радиозондов широко доступны, однако имеют ограниченное разрешение по времени и применимы только к трассам при зенитных углах. Значение общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках, может быть получено по результатам радиометрических измерений вдоль желаемой трассы на соответствующих частотах.

Годовые значения общего столбчатого объема жидкой воды *L* (кг/м2), содержащейся в облаках, превышаемые на 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99% относительно среднегодовых значений, доступны в форме цифровых карт, размещенных на веб-сайте   
3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи, в файлах данных ESAWRED\_xx\_v4.TXT, где xx  01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99. Данные приведены от 0 до 360 по долготе и от +90до –90по широте с разрешением 1,125 по широте и долготе. Эти данные должны использоваться совместно с сопутствующими файлами данных ESALAT\_1dot125.TXT и ESALON\_1dot125.TXT, содержащими значения широт и долгот соответствующих записей (узловых точек) в файлах данных ESAWRED\_xx\_v4.TXT. Общий столбчатый объем жидкой воды в любом желаемом местонахождении на поверхности Земли может быть получен с помощью следующего метода интерполяции:

a) определить две вероятности, *pabove* и *pbelow*, большую и меньшую желаемой вероятности *p*, из набора: 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99%;

b) для двух вероятностей, *pabove* и *pbelow*, определить общий столбчатый объем водяного пара, *V1*, *V2*, *V3* и *V4*, в четырех ближайших узловых точках;

c) определить общий столбчатый объем жидкой воды, *Labove* и *Lbelow*, содержащейся в облаках, при вероятностях *pabove* и *pbelow* путем выполнения билинейной интерполяции четырех значений общего столбчатого объема жидкой воды, *L1*, *L2*, *L3* и *L4*, в четырех узловых точках, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144;

d) определить общий столбчатый объем водяного пара, *L*, при желаемой вероятности, *p*, путем интерполирования *Labove* и *Lbelow* в зависимости от *pabove* и *pbelow* к *p* по линейной шкале *L* в зависимости от log *p*.

Отметим, что на цифровых картах общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках, имеется символ NaN (отсутствие численного значения, Not-a-Number), когда отсутствует значение общего объема водяного пара, соответствующее данной годовой вероятности превышения.

Примерные контуры общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках, приведены на рисунках 2, 3, 4, 5, 6 и 7 для вероятностей превышения 0,1, 0,5, 1, 5, 10 и 20%.

РИСУНОК 2

Нормированный общий объем жидкой воды (кг/м2), превышаемый в 0,1% времени за год



РИСУНОК 3

Нормированный общий объем жидкой воды (кг/м2), превышаемый в 0,5% времени за год



РИСУНОК 4

Нормированный общий объем жидкой воды (кг/м2), превышаемый в 1% времени за год



РИСУНОК 5

Нормированный общий объем жидкой воды (кг/м2), превышаемый в 5% времени за год



РИСУНОК 6

Нормированный общий объем жидкой воды (кг/м2), превышаемый в 10% времени за год



РИСУНОК 7

Нормированный общий объем жидкой воды (кг/м2), превышаемый в 20% времени за год



# 5 Статистическое распределение общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках

Статистика общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках, может быть аппроксимирована с помощью логарифмически нормального распределения. Параметры логарифмически нормального распределения − среднее значение *m*, стандартное отклонение  и вероятность наличия жидкой воды *Pclw* − доступны в форме цифровых карт, размещенных   
на веб-сайте 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи в файлах данных WRED\_LOGNORMAL\_MEAN\_v4.TXT, WRED\_LOGNORMAL\_STDEV\_v4.TXT и WRED\_LOGNORMAL\_PCLW\_v4.TXT. Данные приведены от 0 до 360 по долготе и от 90 до −90по широте с разрешением 1,125º по широте и долготе. Эти данные должны использоваться совместно с сопутствующими файлами данных ESALAT\_1dot125.TXT и ESALON\_1dot125.TXT, содержащими значения широт и долгот соответствующих записей (узловых точек) в файлах данных

WRED\_LOGNORMAL\_MEAN\_v4.TXT, WRED\_LOGNORMAL\_STDEV\_v4.TXT и WRED\_LOGNORMAL\_PCLW\_v4.TXT. Общий столбчатый объем жидкой воды в любом желаемом местонахождении на поверхности Земли может быть получен с помощью следующего метода интерполяции:

a) определить параметры *m1, m2, m3, m4,* *1,* *2,**3*,*4*, *PCLW1, PCLW2, PCLW3* и *PCLW4* в четырех ближайших узловых точках;

b) определить общий столбчатый объем жидкой воды, содержащейся в облаках, *L1*, *L2*, *L3* и *L4*, для желаемой вероятности, *p*, в четырех ближайших узловых точках, исходя из параметров *m1, m2, m3, m4,* *1,* *2,* *3*,*4*, *PCLW1, PCLW2, PCLW3* и *PCLW4* следующим образом:

 для *i* = 1, 2, 3, 4, (13)

где

; (14)

c) определить общий столбчатый объем жидкой воды в желаемом местоположении путем осуществления билинейной интерполяции четырех значений общего столбчатого объема жидкой воды, *L1*, *L2*, *L3* и *L4*, в четырех узловых точках, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144.

Отметим, что на цифровых картах указывается символ NaN (отсутствие численного значения,   
Not-a-Number), когда нет значения общего столбчатого объема жидкой воды, соответствующего годовой вероятности превышения.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_