|  |
| --- |
| **Рекомендация МСЭ-R P.840-8**  **(08/2019)** |
| **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 Резолюции МСЭ-R 1. 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/publ/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** | Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская 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 МСЭ-R 1.* |

*Электронная публикация*Женева, 2020 г.

© ITU 2020

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.840-8

Ослабление из-за облачности и тумана

(Вопрос МСЭ-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999-2009-2012-2013-2017-2019)

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 в обеспечении инженеров руководством 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 прогнозирования необходимо аналитическое выражение статистических данных общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках;

*d)* что данные местных измерений общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках, могут быть недоступны,

рекомендует

**1** в случае если данные местных измерений общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках, недоступны, использовать для прогнозирования ослабления из-за облачности и тумана метод, приведенный в пункте 3.1 Приложения 1;

**2** в случае если данные местных измерений общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках, недоступны, использовать для расчета ослабления из-за облачности метод, приведенный в пункте 3.2 Приложения 1;

**3** использовать информацию, содержащуюся в разделе 4 Приложения 1, для общих расчетов эффектов распространения, которые необходимы, среди прочего, для пространственно-временных моделей каналов, для которых требуется аналитическое выражение статистических данных общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках.

Приложение 1

# 1 Введение

На частотах до 200 ГГц для облаков или тумана, полностью состоящих из небольших капелек, размер которых, как правило, меньше 0,01 см, действительна рэлеевская аппроксимация, и 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 из-за жидкой воды, содержащейся в облаках ((дБ/км)/(г/м3));

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

*f* : частота (ГГц);

*T* : температура жидкой воды, содержащейся в облаках (K).

На частотах порядка 100 ГГц и выше ослабление из-за тумана может быть значительным. Плотность жидкой воды в тумане обычно 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 из-за жидкой воды, содержащейся в облаках

Для вычисления значения *Kl* для частот до 200 ГГц можно использовать математическую модель, основанную на рэлеевском 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:

  77,66  103,3 ( – 1); (6)

  0,0671; (7)

  3,52; (8)

  300/*T* (9)

и *T* − температура жидкой воды (K).

Главная частота релаксации *fp* и вторичная частота релаксации *fs* определяются следующим образом:

*fp* = 20,20 – 146 (θ – 1) + 316 (θ – 1)2                (ГГц); (10)

*fs*  39,8*fp*                (ГГц). (11)

# 3 Ослабление из-за облачности на наклонных трассах

В случае если данные местных измерений общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках *L* (кг/м2 или, эквивалентно, мм), недоступны, следует использовать для прогнозирования ослабления из-за облачности на наклонных трассах метод, приведенный в пункте 3.1. Этот метод прогнозирования основан на данных ERA-40, в которых используется общий столбчатый объем жидкой воды, содержащейся в облаках, с температурой, сниженной до фиксированного значения 273,15 K, *Lred* (кг/м2 или, эквивалентно, мм).

В случае если данные местных измерений общего столбчатого объема жидкой воды, содержащейся в облаках *L*, доступны из других источников, например данные радиометрических измерений, наблюдения Земли или метеорологические цифровые данные, для расчета ослабления из-за облачности на наклонных трассах следует использовать метод, приведенный в пункте 3.2.

## 3.1 Распределение ослабления из-за облачности на наклонных трассах на основе цифровых карт мира

Ослабление из-за облачности на наклонных трассах *A* для данного уровня вероятности *p* определяется следующим образом:

             (дБ)     для   90° ≥ φ ≥ 5° (12)

где *Lred* – общий столбчатый объем жидкой воды, содержащейся в облаках, с температурой, сниженной до фиксированного значения 273,15 K, *Lred* (кг/м2 или, эквивалентно, мм) для данного уровня вероятности *p*, φ – угол места, и *Kl* рассчитывается по уравнениям (2) – (11) для температуры воды 273,15 K.

Годовые значения общего столбчатого объема жидкой воды *Lred* (кг/м2) со сниженной температурой, содержащейся в облаках, превышаемые при уровнях вероятности 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, являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в форме цифровых карт.

Месячные значения общего столбчатого объема жидкой воды *Lred* (кг/м2) со сниженной температурой, содержащейся в облаках, превышаемые при уровнях вероятности 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99% относительно среднемесячных значений, являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в форме цифровых карт.

Эти цифровые карты доступны в дополнительном файле R-REC-P.840-7-Maps.zip.

Данные приведены от 0 до 360 по долготе и от +90до –90по широте с разрешением 1,125 по широте и долготе. Общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках, в любом заданном местонахождении на поверхности Земли может быть получен с помощью следующего метода интерполяции:

a) определить две вероятности *pabove* и *pbelow*, большую и меньшую заданной 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% для годовых статистических данных и из набора 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99% для месячных статистических данных;

b) для двух вероятностей *pabove*и *pbelow* определить общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках, *Lred*1, *Lred*2, *Lred*3 и *Lred*4 в четырех ближайших узловых точках;

c) определить общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках, *Lredabove* и *Lredbelow* при вероятностях *pabove* и *pbelow* путем выполнения билинейной интерполяции четырех значений общего столбчатого объема жидкой воды со сниженной температурой *Lred*1, *Lred*2, *Lred*3, и *Lred*4 в четырех узловых точках, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144;

d) определить общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках, *Lred* при заданной вероятности *p* путем интерполирования *Lredabove* и *Lredbelow* в зависимости от *pabove* и *pbelow* к *p* по линейной шкале *Lred* в зависимости от log *p*.

## 3.2 Ослабление из-за облачности на наклонных трассах на основе местных данных

Ослабление из-за облачности на наклонных трассах *A* определяется следующим образом:

                (дБ)     для   90° ≥ φ ≥ 5°, (13)

где *L –* общий столбчатый объем жидкой воды, содержащейся в облаках (кг/м2 или, эквивалентно, мм), φ – угол места, и рассчитывается следующим образом:

             (дБ/км)/(г/м3), (14)

где η – определяется в уравнении (3), – определяется в уравнении (4) и температура жидкой воды *T* составляет 273,15 K.

## 4 Аппроксимация *Lred* с помощью логарифмически нормального распределения

Годовые статистические данные общего столбчатого объема жидкой воды со сниженной до фиксированного значения 273,15 К температурой могут быть аппроксимированы с помощью логарифмически нормального распределения Дирака. Цифровые карты средних значений *m*, стандартного отклонения  и вероятности ненулевого общего столбчатого объема жидкой воды с температурой,сниженной до фиксированного значения 273,15 К, *PCLW* являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в дополнительном файле R‑REC‑P.840‑8‑201712‑I!!ZIP‑E.zip. Данные приведены от 0 в. д. до 360 в. д. по долготе и от +90 с. ш. до –90 с. ш. по широте с разрешением 1,125 по широте и долготе.

В данном разделе приведены значения *m*,σ,и *PCLW* (%) в заданном местоположении, требуемом синтезатором временных рядов ослабления в облаке, который описан в Рекомендации МСЭ-R P.1853, и соответствующее значение приведено только для справки. Во всех других случаях для расчета следует использовать раздел 3, а не аппроксимированное значение, рассчитанное согласно данному разделу.

Общий столбчатый объем жидкой воды с температурой, сниженной до фиксированного значения 273,15 K, в любом заданном местонахождении на поверхности Земли для любого среднегодового значения вероятности превышения *P* (%) от 0,1% до 99% может быть рассчитан следующим образом:

a) определить параметры *m*1, *m*2, *m*3, *m*4, 1,2,**3,4, *PCLW*1, *PCLW*2, *PCLW*3 и *PCLW*4 в четырех окрестных узловых точках;

b) определить значения *m*,σ и *PCLW* в заданном местоположении путем осуществления билинейной пространственной интерполяции каждого параметра *m,*σ и *PCLW*, используя метод, описанный в Приложении 1 Рекомендации МСЭ-R P.1144;

c) для справки, – общий столбчатый объем жидкой воды с температурой, сниженной до фиксированного значения 273,15 К в заданном местонахождении на поверхности Земли, и вероятность превышения *P* выводится из пространственно интерполированных значений *m*,σ и *PCLW* следующим образом:

i) если ,

; (15a)

ii) в других случаях,

(кг/м2), (15b)

где – обратная дополнительная кумулятивная функция нормального распределения, определенная в Рекомендации МСЭ-R P.1057.

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