

Международный союз электросвязи

**МСЭ-R**

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R P.840-6**  
(09/2013)

**Ослабление из-за облачности и тумана**

**Серия P**  
**Распространение радиоволн**



Международный  
союз  
электросвязи

## 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-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к 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-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

### Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
<b>BO</b>	Спутниковое радиовещание
<b>BR</b>	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
<b>BS</b>	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	Радиовещательная служба (телевизионная)
<b>F</b>	Фиксированная служба
<b>M</b>	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
<b>P</b>	<b>Распространение радиоволн</b>
<b>RA</b>	Радиоастрономия
<b>RS</b>	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	Фиксированная спутниковая служба
<b>SA</b>	Космические применения и метеорология
<b>SF</b>	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
<b>SM</b>	Управление использованием спектра
<b>SNG</b>	Спутниковый сбор новостей
<b>TF</b>	Передача сигналов времени и эталонных частот
<b>V</b>	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, 2014 г.

© ITU 2014

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.840-6

**Ослабление из-за облачности и тумана**

(Вопрос МСЭ-R 201/3)

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

**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 релейская 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:

$$\gamma_c = K_l M \quad \text{дБ/км,} \quad (1)$$

где:

$\gamma_c$ : погонное ослабление (дБ/км) в облачности;

$K_l$ : коэффициент погонного ослабления ((дБ/км)/(г/м<sup>3</sup>));

$M$ : плотность жидкой воды в облачности или тумане (г/м<sup>3</sup>).

На частотах порядка 100 ГГц и выше ослабление из-за тумана может быть значительным. Плотность жидкой воды в тумане обычно составляет около  $0,05 \text{ г/м}^3$  при среднем тумане (видимость порядка 300 м) и  $0,5 \text{ г/м}^3$  при густом тумане (видимость порядка 50 м).

## 2 Коэффициент погонного ослабления

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

$$K_l = \frac{0,819f}{\varepsilon''(1 + \eta^2)} \quad (\text{дБ/км})(\text{г/м}^3), \quad (2)$$

где  $f$  – частота (ГГц) и

$$\eta = \frac{2 + \varepsilon'}{\varepsilon''}. \quad (3)$$

Комплексная диэлектрическая проницаемость воды задается выражениями:

$$\varepsilon''(f) = \frac{f(\varepsilon_0 - \varepsilon_1)}{f_p [1 + (f/f_p)^2]} + \frac{f(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{f_s [1 + (f/f_s)^2]}, \quad (4)$$

$$\varepsilon'(f) = \left[ \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{1 + (f/f_p)^2} \right] + \left[ \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + (f/f_s)^2} \right] + \varepsilon_2, \quad (5)$$

где:

$$\varepsilon_0 = 77,66 + 103,3 (\theta - 1); \quad (6)$$

$$\varepsilon_1 = 0,0671\varepsilon_0; \quad (7)$$

$$\varepsilon_2 = 3,52; \quad (8)$$

$$\theta = 300 / T, \quad (9)$$

а  $T$  – температура (К).

Главные и вторичные частоты релаксации:

$$f_p = 20,20 - 146 (\theta - 1) + 316 (\theta - 1)^2 \quad \text{ГГц}, \quad (10)$$

$$f_s = 39,8f_p \quad \text{ГГц}. \quad (11)$$

## 3 Ослабление из-за облачности на наклонных трассах

Для получения с заданной вероятностью значения ослабления из-за облачности на наклонных трассах следует знать статистику общего столбчатого объема жидкой воды, с температурой, сниженной до  $0^\circ\text{C}$ ,  $L_{red}$  ( $\text{кг/м}^2$ ) или, что то же самое, количество в мм для данного места расположения, в результате:

$$A = \frac{L_{red} K_l}{\sin \theta} \quad \text{дБ} \quad \text{для} \quad 90^\circ \geq \theta \geq 5^\circ, \quad (12)$$

где  $\theta$  – угол места, и  $K_l$  рассчитывается из уравнений (2)–(11) для температуры воды  $0^\circ\text{C}$ .



Годовые значения общего столбчатого объема жидкой воды  $L_{red}$  (кг/м<sup>2</sup>) со сниженной температурой, 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, являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в форме цифровых карт.

Месячные значения общего столбчатого объема жидкой воды  $L_{red}$  (кг/м<sup>2</sup>) со сниженной температурой, содержащейся в облаках, превышаемые на 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. Годовые и месячные значения общего столбчатого объема приводятся в файле [R-REC-P.840-6-201309-I!!ZIP-E](#).

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 желаемом местонахождении на поверхности Земли может быть получен с помощью следующего метода интерполяции:

- определить две вероятности,  $p_{above}$  и  $p_{below}$ , 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% 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;
- для двух вероятностей,  $p_{above}$  и  $p_{below}$ , определить общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках,  $L_{red1}$ ,  $L_{red2}$ ,  $L_{red3}$ , и  $L_{red4}$ , в четырех ближайших узловых точках;
- определить общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках,  $L_{redabove}$  и  $L_{redbelow}$ , при вероятностях  $p_{above}$  и  $p_{below}$  путем выполнения билинейной интерполяции четырех значений общего столбчатого объема жидкой воды со сниженной температурой,  $L_{red1}$ ,  $L_{red2}$ ,  $L_{red3}$ , и  $L_{red4}$ , в четырех узловых точках, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144;
- определить общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках,  $L_{red}$ , при желаемой вероятности,  $p$ , путем интерполирования  $L_{redabove}$  и  $L_{redbelow}$  в зависимости от  $p_{above}$  и  $p_{below}$  к  $p$  по линейной шкале  $L_{red}$  в зависимости от  $\log p$ .

### 3.1 Аппроксимация $L_{red}$ с помощью логарифмически нормального распределения

Годовые статистические данные общего столбчатого объема жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках, может быть аппроксимирована с помощью логарифмически нормального распределения. Параметры логарифмически нормального распределения – среднее значение  $m$ , стандартное отклонение  $\sigma$  и вероятность наличия жидкой воды со сниженной температурой  $P_{clw}$  – являются неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и доступны в форме цифровых карт.

Общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках, в любом желаемом местонахождении на поверхности Земли может быть получен с помощью следующего метода интерполяции:

- определить параметры  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$ ,  $P_{CLW1}$ ,  $P_{CLW2}$ ,  $P_{CLW3}$  и  $P_{CLW4}$  в четырех ближайших узловых точках;
- определить общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках,  $L_{red1}$ ,  $L_{red2}$ ,  $L_{red3}$ , и  $L_{red4}$ , для желаемой вероятности,  $p$ , в четырех ближайших узловых точках, исходя из параметров  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$ ,  $P_{CLW1}$ ,  $P_{CLW2}$ ,  $P_{CLW3}$  и  $P_{CLW4}$  следующим образом:

$$L_{red,i} = e^{m_i + \sigma_i Q^{-1}\left(\frac{P}{P_{CLWi}}\right)} \quad \text{для } i = 1, 2, 3, 4, \quad (13)$$

где:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \quad (14)$$

- с) определить общий столбчатый объем жидкой воды со сниженной температурой, содержащейся в облаках, в желаемом местоположении путем осуществления билинейной интерполяции четырех значений общего столбчатого объема жидкой воды со сниженной температурой,  $L_{red1}$ ,  $L_{red2}$ ,  $L_{red3}$ , и  $L_{red4}$ , в четырех узловых точках, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144.
-