

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.840-4
(10/2009)

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 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-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/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,

- а) что существует необходимость предоставления инженерам руководства по проектированию систем электросвязи Земля-космос на частотах выше 10 ГГц;
- б) что ослабление из-за облачности может быть важным фактором, особенно для микроволновых систем, работающих на частотах гораздо выше 10 ГГц, или для малодоступных систем;
- с) 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 релейевская 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

γ_c : погонное ослабление (дБ/км) в облачности;

K_l : 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 $0,05 \text{ г/м}^3$ 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 $\epsilon(f)$ воды:

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

где f – частота (ГГц) и

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

Комплексная диэлектрическая проницаемость воды задается выражениями:

$$\epsilon''(f) = \frac{f(\epsilon_0 - \epsilon_1)}{f_p [1 + (f/f_p)^2]} + \frac{f(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{f_s [1 + (f/f_s)^2]}, \quad (4)$$

$$\epsilon'(f) = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_1}{[1 + (f/f_p)^2]} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{[1 + (f/f_s)^2]} + \epsilon_2, \quad (5)$$

где

$$\epsilon_0 = 77,6 + 103,3 (\theta - 1); \quad (6)$$

$$\epsilon_1 = 5,48; \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = 3,51; \quad (8)$$

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

а T – температура (К).

Главные и вторичные частоты релаксации:

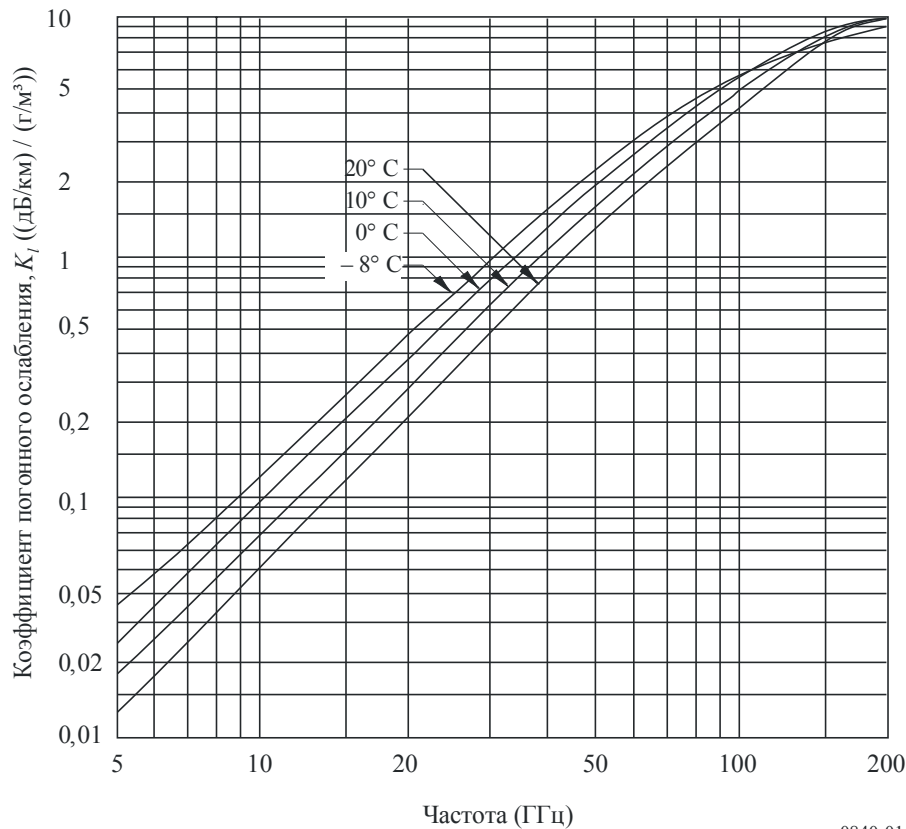
$$f_p = 20,09 - 142 (\theta - 1) + 294 (\theta - 1)^2 \quad \text{ГГц}, \quad (10)$$

$$f_s = 590 - 1500 (\theta - 1) \quad \text{ГГц}. \quad (11)$$

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

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 ($\text{кг}/\text{м}^2$) или, что то же самое, количество в мм влагосодержания для данного места расположения, в результате:

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

где θ – угол места и K_l находится по рисунку 1. Отметим, что K_l идентичен коэффициенту массового поглощения a_L , 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 $\text{кг}/\text{м}^2$, или, что то же самое, в мм жидкой воды, может быть получен на основе результатов зондирования 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 ($\text{кг}/\text{м}^2$), 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 долготы и от $+90^\circ$ до -90° по широте с разрешением $1,125^\circ$ по широте и долготы. 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:

- 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 двух вероятностей, p_{above} и p_{below} , определить общий столбчатый объем водяного пара, V_1 , V_2 , V_3 и V_4 , в четырех ближайших узловых точках;
- определить общий столбчатый объем жидкой воды, L_{above} и L_{below} , содержащейся в облаках, при вероятностях p_{above} и p_{below} путем выполнения билинейной интерполяции четырех значений общего столбчатого объема жидкой воды, L_1 , L_2 , L_3 и L_4 , в четырех узловых точках, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144;
- определить общий столбчатый объем водяного пара, L , при желаемой вероятности, p , путем интерполирования L_{above} и L_{below} в зависимости от p_{above} и p_{below} 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 ($\text{кг}/\text{м}^2$), превышаемый в 0,1% времени за год

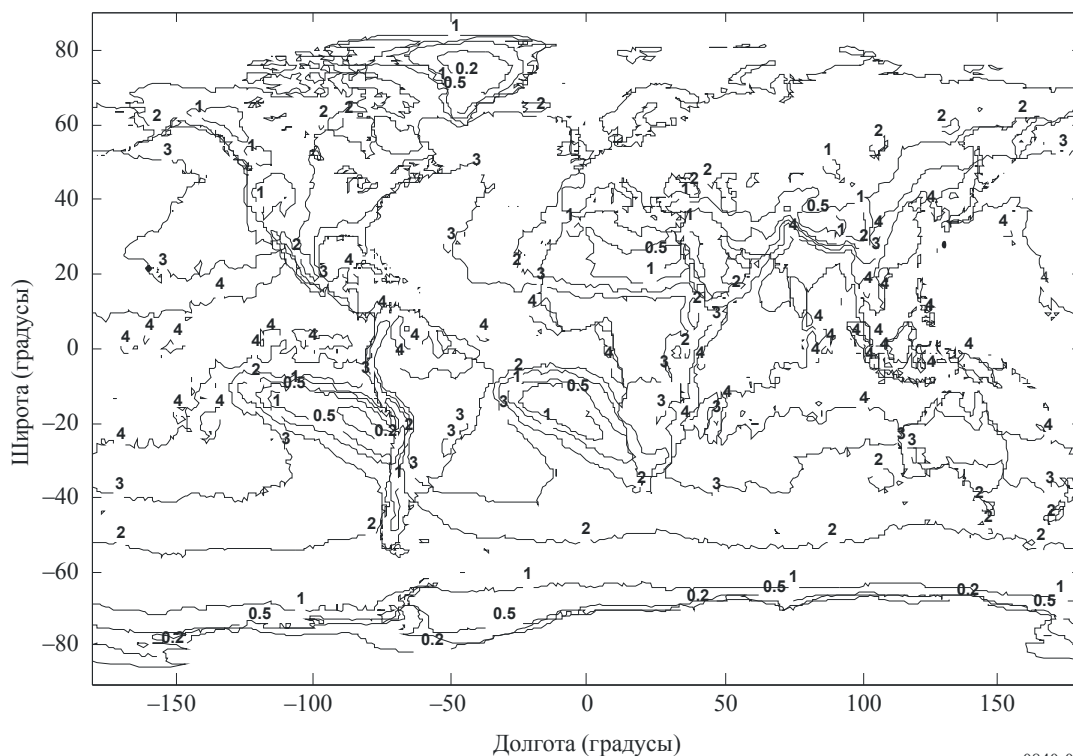
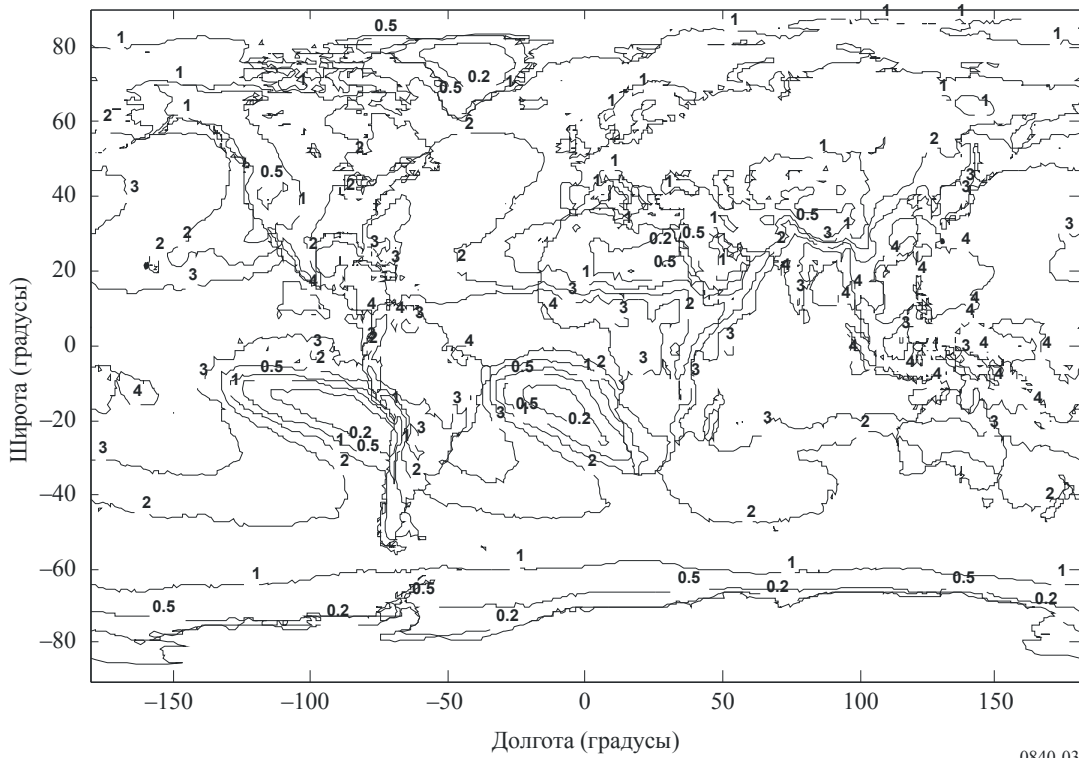
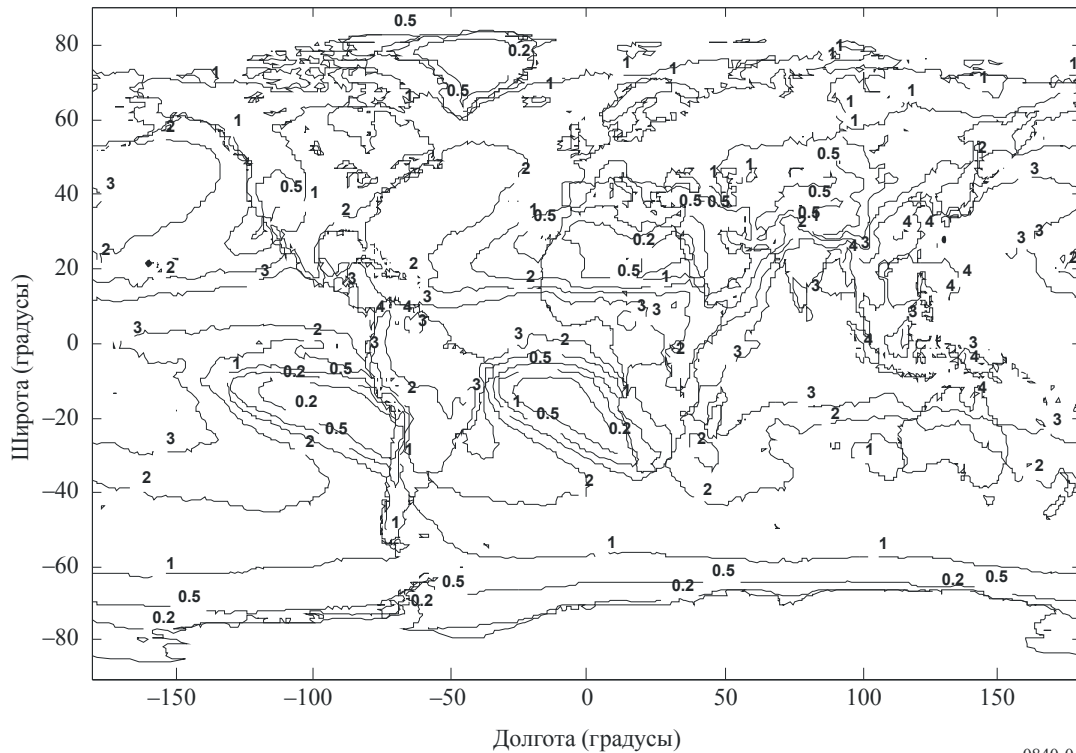


РИСУНОК 3

Нормированный общий объем жидкой воды ($\text{кг}/\text{м}^2$), превышаемый в 0,5% времени за год

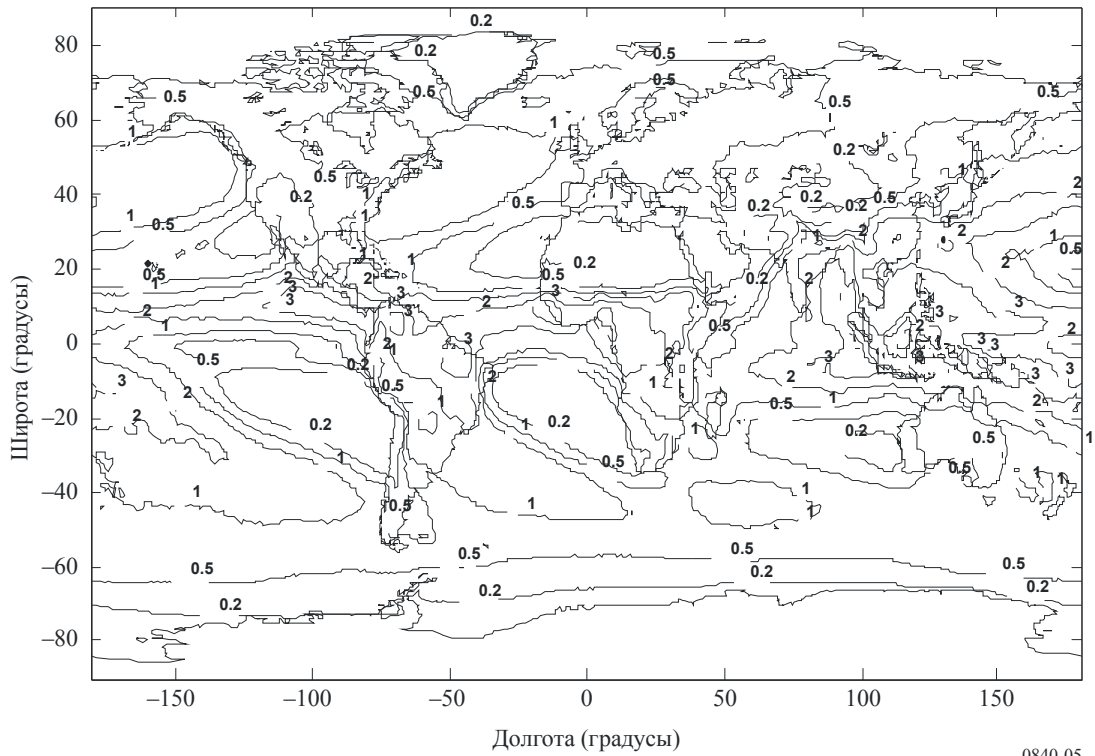
0840-03

РИСУНОК 4

Нормированный общий объем жидкой воды ($\text{кг}/\text{м}^2$), превышаемый в 1% времени за год

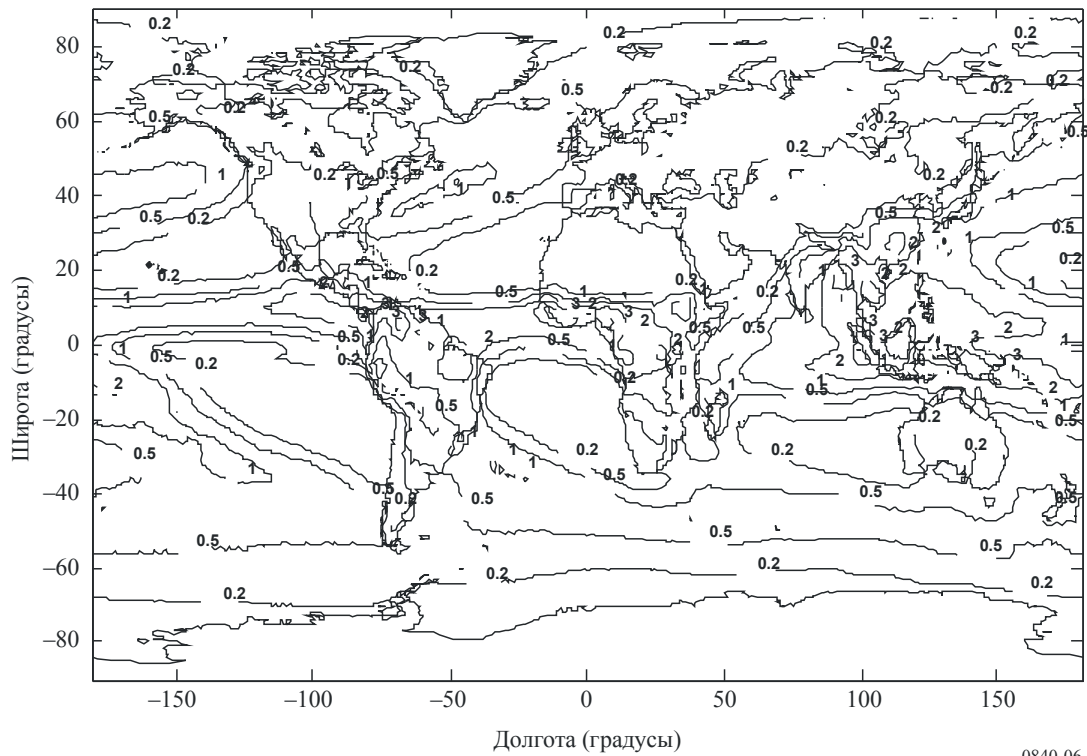
0840-04

РИСУНОК 5

Нормированный общий объем жидкой воды ($\text{кг}/\text{м}^2$), превышаемый в 5% времени за год

0840-05

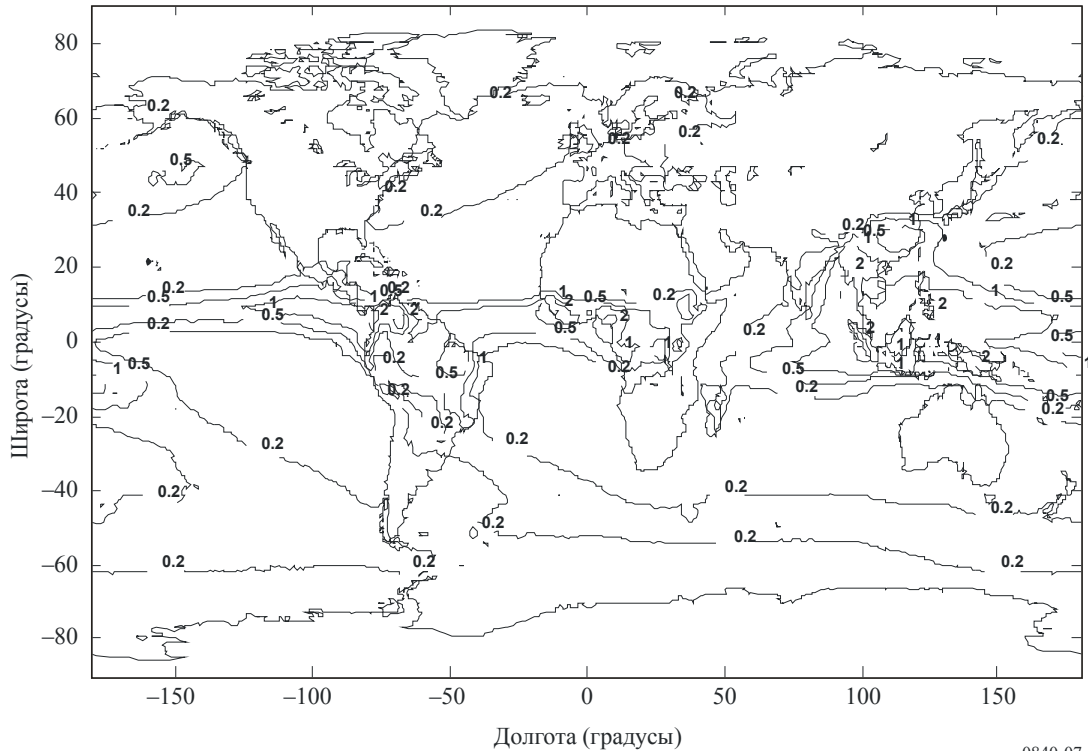
РИСУНОК 6

Нормированный общий объем жидкой воды ($\text{кг}/\text{м}^2$), превышаемый в 10% времени за год

0840-06

РИСУНОК 7

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



0840-07

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 σ и вероятность наличия жидкой воды P_{clw} – 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 1,125° 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 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:

- 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, содержащейся в облаках, L_1, L_2, L_3 и L_4 , 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:

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

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 в желаемом местоположении путем осуществления билинейной интерполяции четырех значений общего столбчатого объема жидкой воды, L_1 , L_2 , L_3 и L_4 , в четырех узловых точках, как описано в Рекомендации МСЭ-Р Р.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.
