

Международный союз электросвязи

**МСЭ-R**

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R P.836-4**  
(10/2009)

**Водяные пары: плотность у поверхности  
Земли и общее объемное содержание**

**Серия Р**  
**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
<b>P</b>	<b>Распространение радиоволн</b>
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.836-4

**Водяные пары: плотность у поверхности Земли и  
общее объемное содержание**

(Вопрос МСЭ-R 201/3)

(1992-1997-2001-2001-2009)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлены методы прогнозирования плотности водяных паров у поверхности Земли и общего объемного содержания водяных паров на трассах Земля-космос.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что для расчета рефракционных эффектов и ослабления в атмосферных газах необходима информация о плотности водяных паров в атмосфере;
- b) что такая информация имеется для всех точек земного шара и всех времен года,

*рекомендует,*

**1** чтобы для расчета параметров распространения в глобальных масштабах требующего определения плотности водяных паров у поверхности Земли или их объемного содержания и знания их сезонных колебаний использовалась информация, изложенная в Приложениях 1 и 2, если местные источники информации не располагают более точными данными.

**Приложение 1****1 Плотность водяных паров на уровне земли**

Водяные пары и кислород, содержащиеся в атмосфере, вызывают поглощение на миллиметровых волнах, особенно в области линий поглощения (см. Рекомендацию МСЭ-R P.676). Концентрация кислорода в атмосфере сравнительно постоянная, тогда как концентрация водяных паров меняется и в зависимости от географического района, и во времени.

Годовые значения плотности водяных паров на уровне земли,  $\rho$  в  $\text{г/м}^3$ , превышаемые для 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 и 99% времени среднего года, доступны в форме цифровых карт на веб-сайте 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи в файлах данных SURF\_WVxx\_v4.TXT, где xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 и 99. Данные представлены для значений долготы от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  и широты от  $+90^\circ$  до  $-90^\circ$ , разрешение по широте и долготе составляет  $1,125^\circ$ . Эти данные используются вместе с сопутствующими файлами данных ESALAT1dot125.TXT и ESALON1dot125.TXT, в которых содержатся значения широты и долготы для соответствующих записей (точки координатной сетки) в файлах данных SURF\_WVxx\_v4.TXT.

Значение плотности водяных паров у поверхности Земли в любой рассматриваемой точке на поверхности Земли может быть выведено с помощью следующего метода интерполяции:

- a) определяются две вероятности,  $p_{above}$  и  $p_{below}$ , выше и ниже желательной вероятности,  $p$ , из множества: 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 этих двух вероятностей,  $p_{above}$  и  $p_{below}$ , определяются значения плотности водяных паров у поверхности Земли,  $\rho'_1$ ,  $\rho'_2$ ,  $\rho'_3$  и  $\rho'_4$  в четырех ближайших точках сетки координат;
- c) используя файл данных приведенной высоты водяных паров, VSCH\_xx\_v4.TXT, где xx соответствует вероятностям  $p_{above}$  и  $p_{below}$ , определяется приведенная высота водяных паров в четырех ближайших точках сетки,  $vsch_1$ ,  $vsch_2$ ,  $vsch_3$  и  $vsch_4$ , для каждой вероятности,  $p_{above}$  и  $p_{below}$ ;
- d) используя Рекомендацию МСЭ-R P.1511, определяются значения топографической высоты,  $alt_1$ ,  $alt_2$ ,  $alt_3$  и  $alt_4$ , четырех ближайших точек координатной сетки;
- e) для каждой из четырех ближайших точек сетки и для каждой вероятности определяются значения плотности водяных паров,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  и  $\rho_4$ , на желательной высоте,  $alt$ , путем масштабирования значений плотности водяных паров,  $\rho'_1$ ,  $\rho'_2$ ,  $\rho'_3$  и  $\rho'_4$ , с помощью следующего отношения:

$$\rho_i = \rho'_i e^{-\frac{alt-alt_i}{vsch_i}} \quad \text{для } i = 1, 2, 3, 4; \quad (1)$$

- f) определяются значения плотности водяных паров,  $\rho_{above}$  и  $\rho_{below}$ , при вероятностях  $p_{above}$  и  $p_{below}$  и в желательной точке путем билинейной интерполяции четырех значений плотности водяных паров,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  и  $\rho_4$ , в четырех точках сетки, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144 (в справочных целях процедура определения  $\rho_{above}$  и  $\rho_{below}$  по  $\rho'_1$ ,  $\rho'_2$ ,  $\rho'_3$  и  $\rho'_4$  показана на рисунке 1);
- g) определяется плотность водяных паров,  $\rho$ , при желательной вероятности,  $p$ , путем интерполяции  $\rho_{above}$  и  $\rho_{below}$  в зависимости от  $p_{above}$  и  $p_{below}$  к  $p$  в линейном масштабе зависимости  $\rho$  от  $\log p$ .

Следует заметить, что на цифровых картах водяных паров у поверхности Земли содержится символ NaN (число отсутствует), который означает отсутствие значения плотности водяных паров у поверхности Земли, соответствующего данной годовой вероятности превышения.

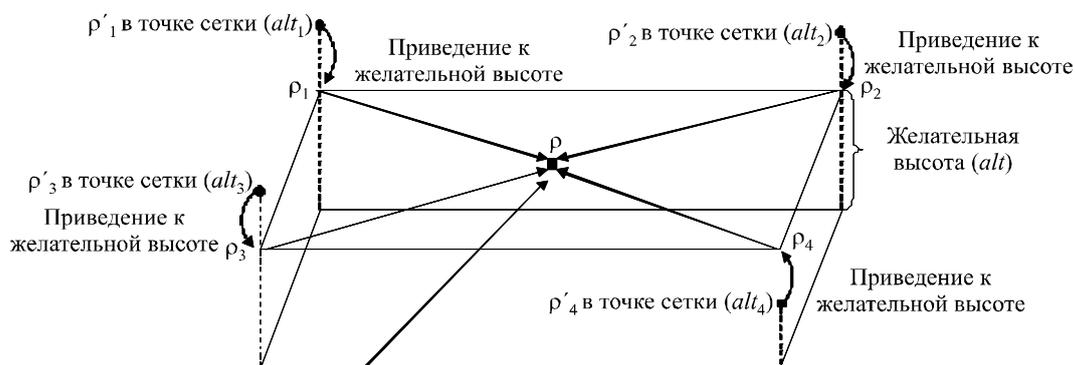
Пример контура приведенной высоты водяного пара представлен на рисунке 2 для вероятности превышения 1%. Примеры контуров годовой средней плотности водяного пара представлены на рисунках 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9 для вероятностей превышения 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 20 и 50%.

Контуров сезонной средней плотности водяного пара представлены на рисунках 10, 11, 12 и 13. Следует отметить, что для получения сезонных средних данных и годовых средних данных использовались разные наборы данных.

Для справки в Рекомендации МСЭ-R P.453 приведены соотношения между плотностью водяных паров, давлением водяных паров и относительной влажностью.

РИСУНОК 1

## Процедура интерполяции при вероятностях выше и ниже желательной вероятности

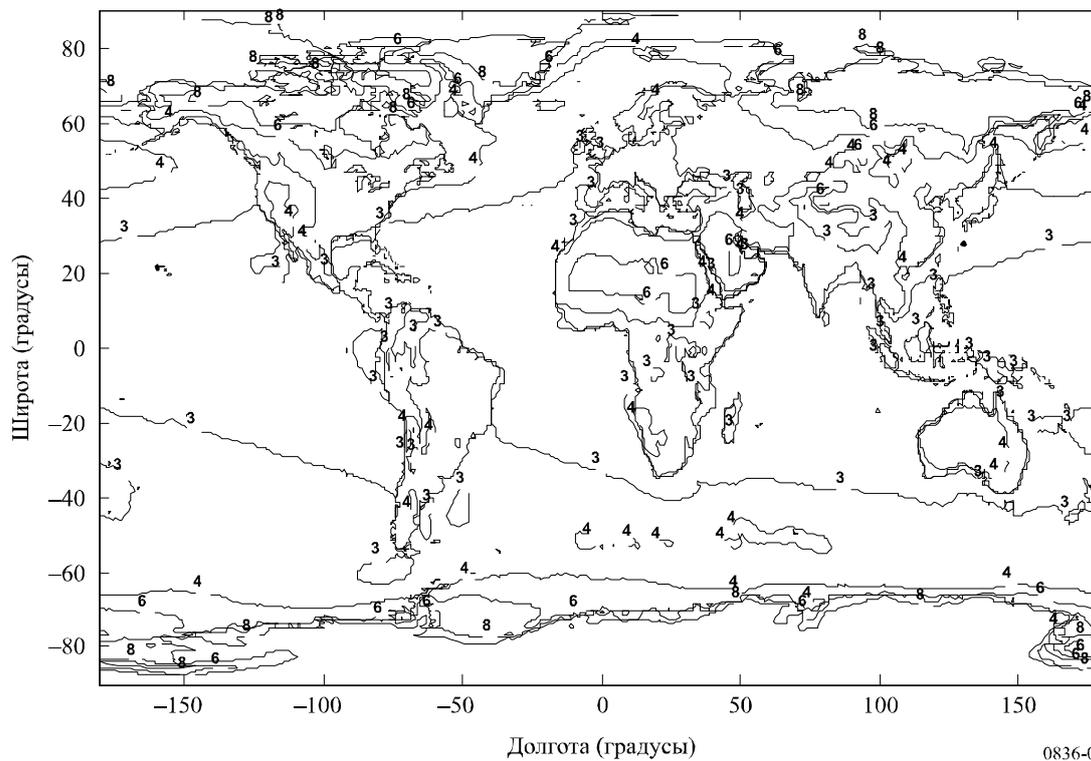


Билинейная интерполяция  $\rho$  к желательной широте, долготе и высоте по четырем точкам сетки, приведенным к одной высоте

0836-01

РИСУНОК 2

## Приведенная высота водяных паров (км), превышаемая для 1% времени года



0836-02

РИСУНОК 3

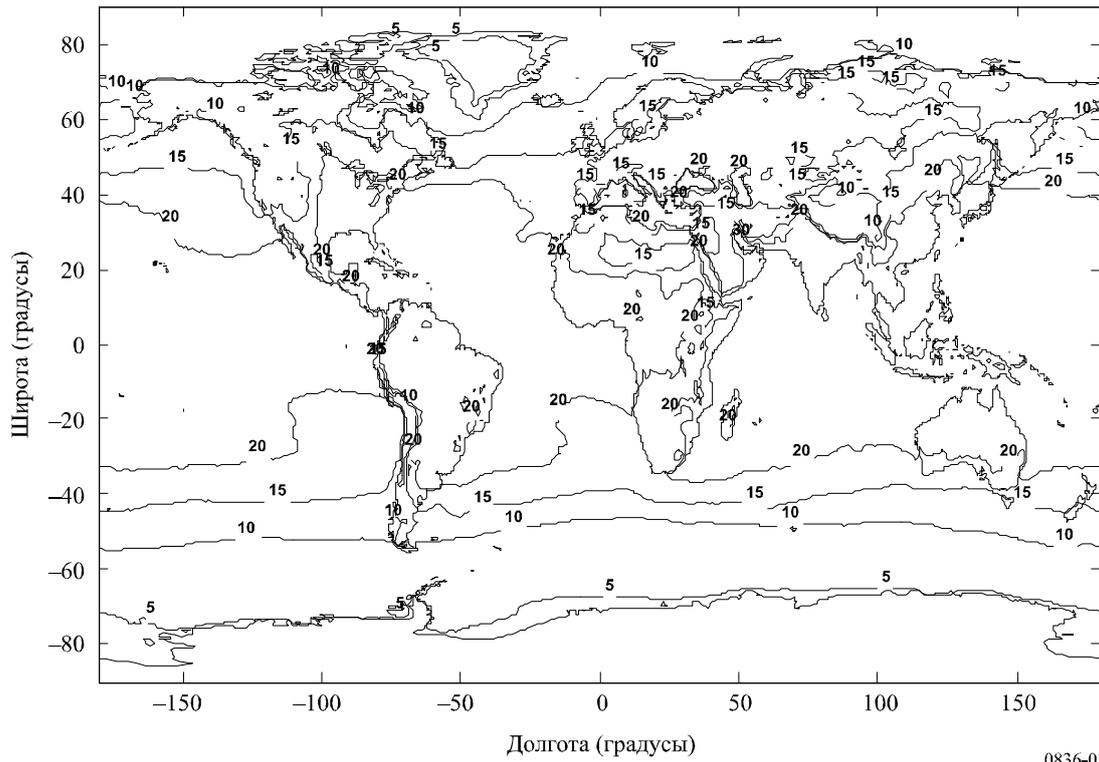
Плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), превышаемая для 0,1% времени года

РИСУНОК 4

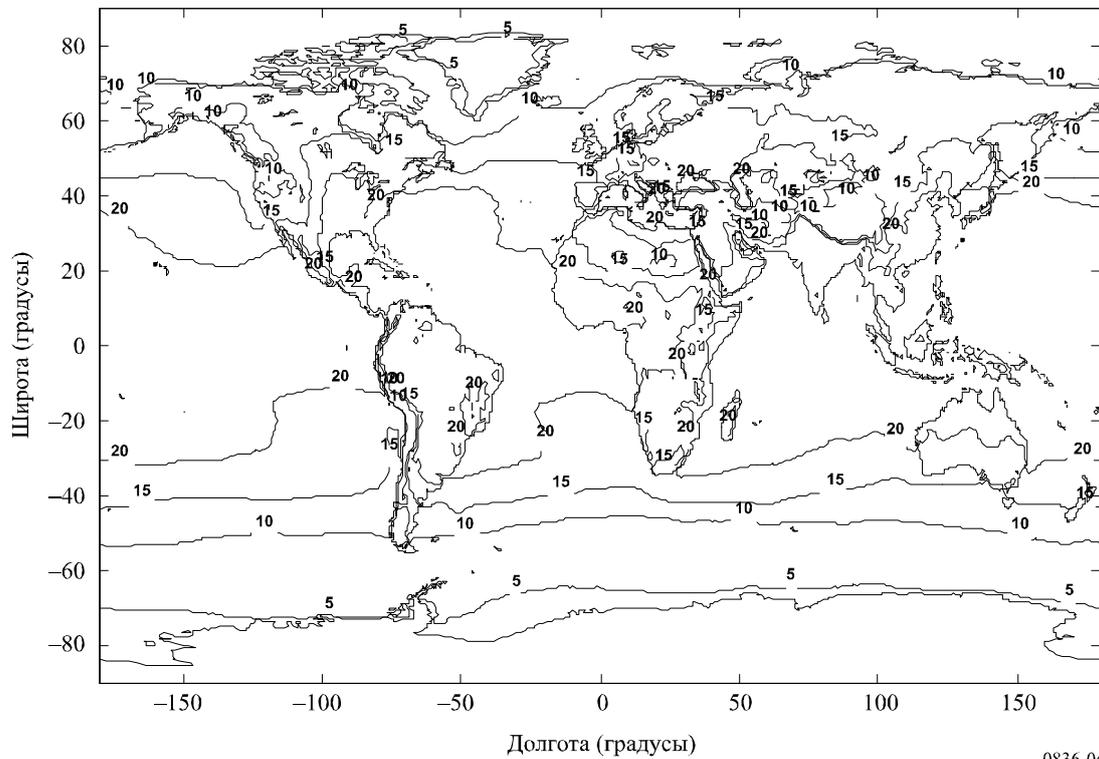
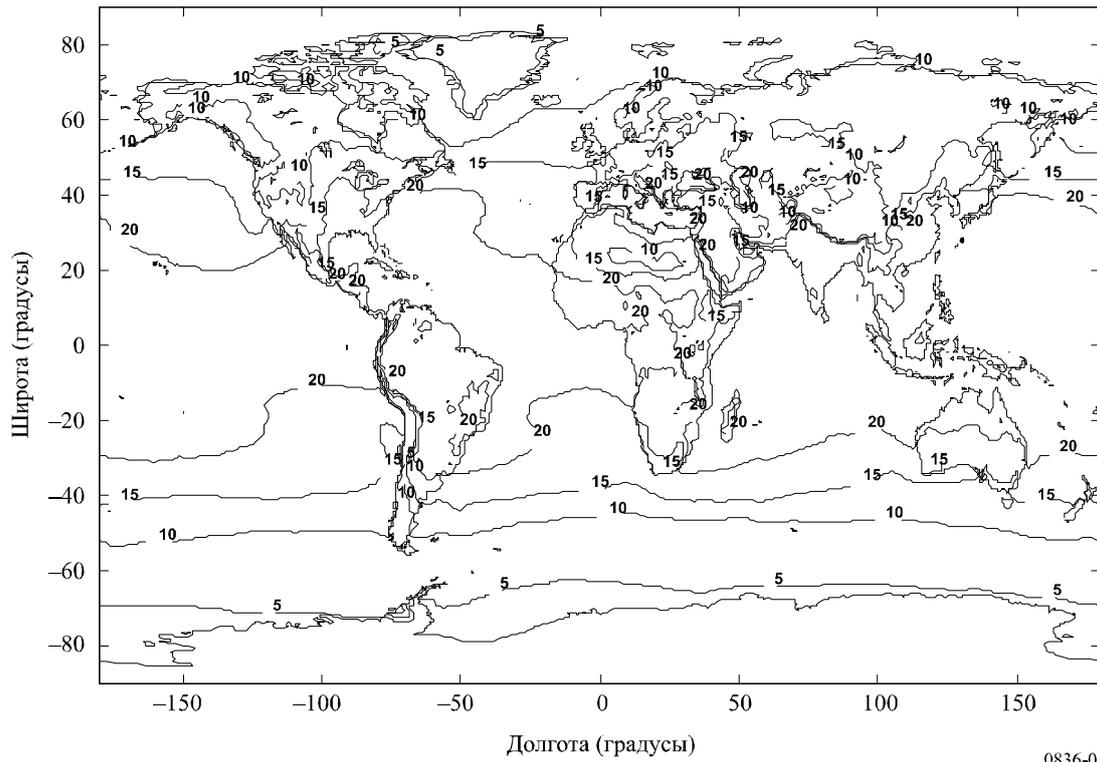
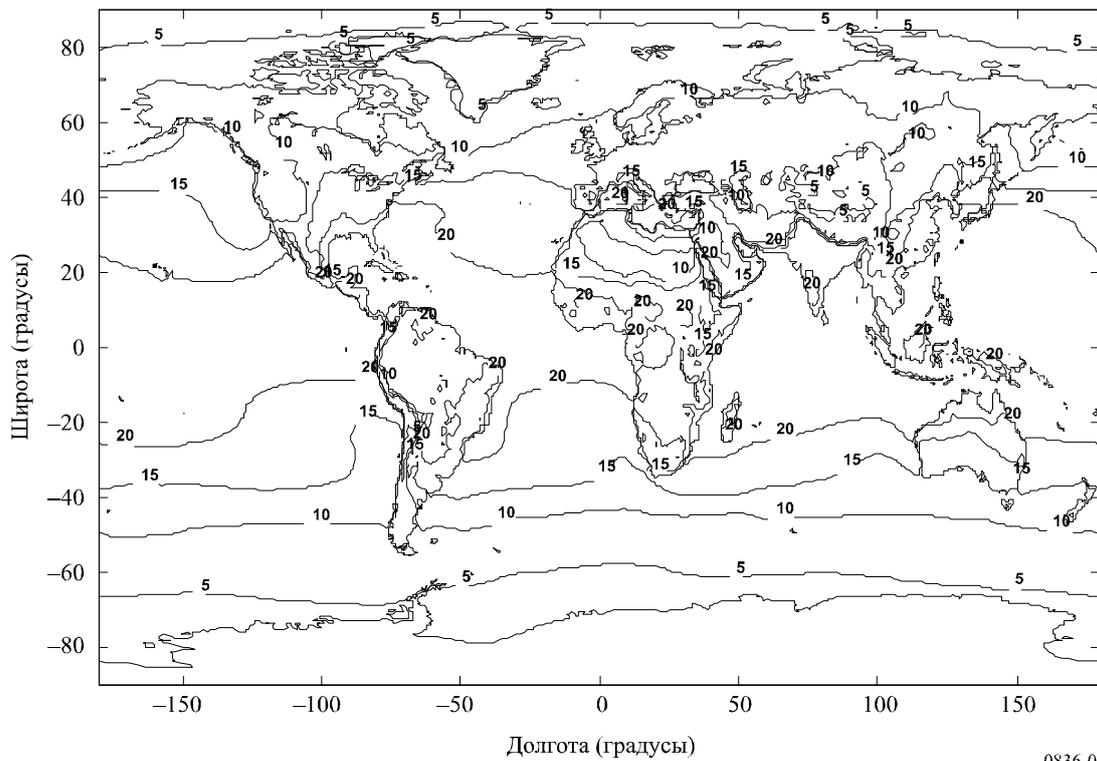
Плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), превышаемая для 0,5% времени года

РИСУНОК 5

Плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), превышаемая для 1% времени года

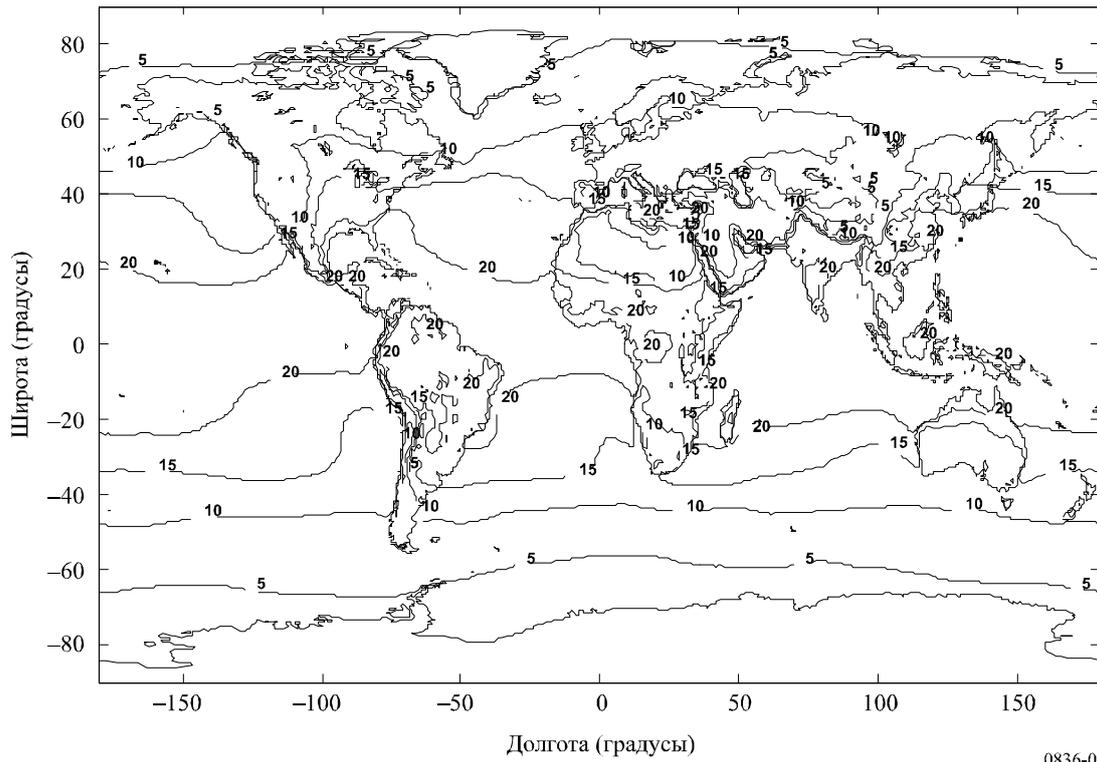
0836-05

РИСУНОК 6

Плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), превышаемая для 5% времени года

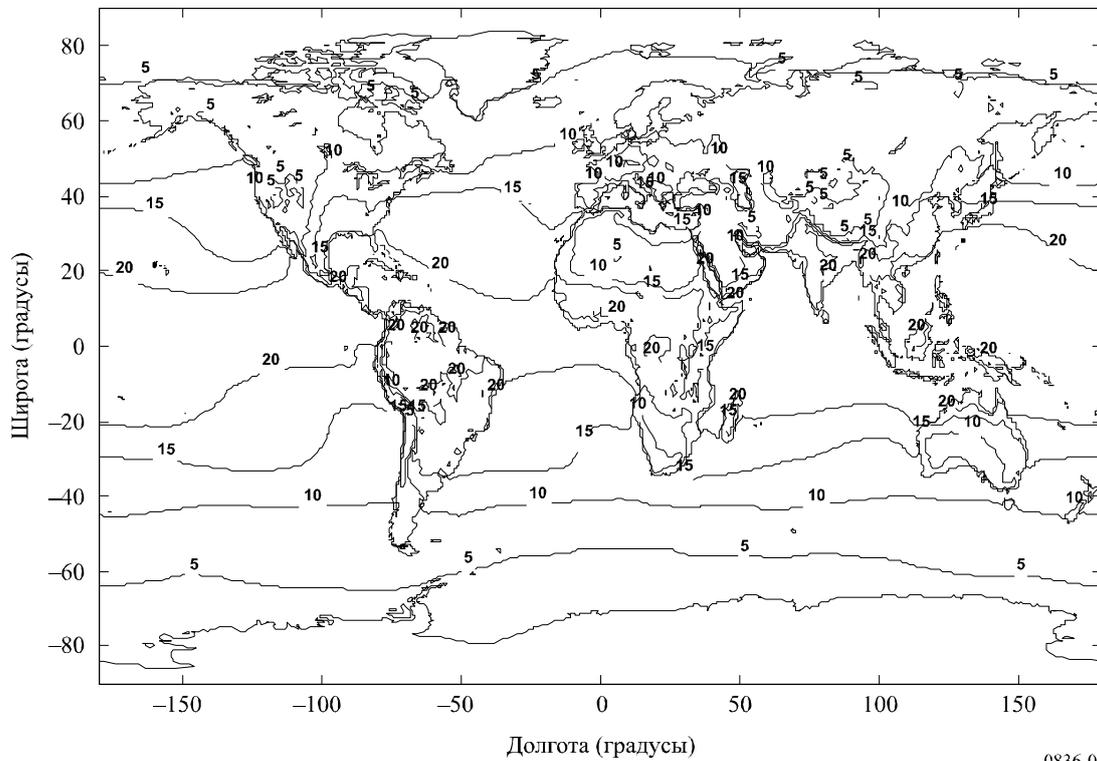
0836-06

РИСУНОК 7

Плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), превышаемая для 10% времени года

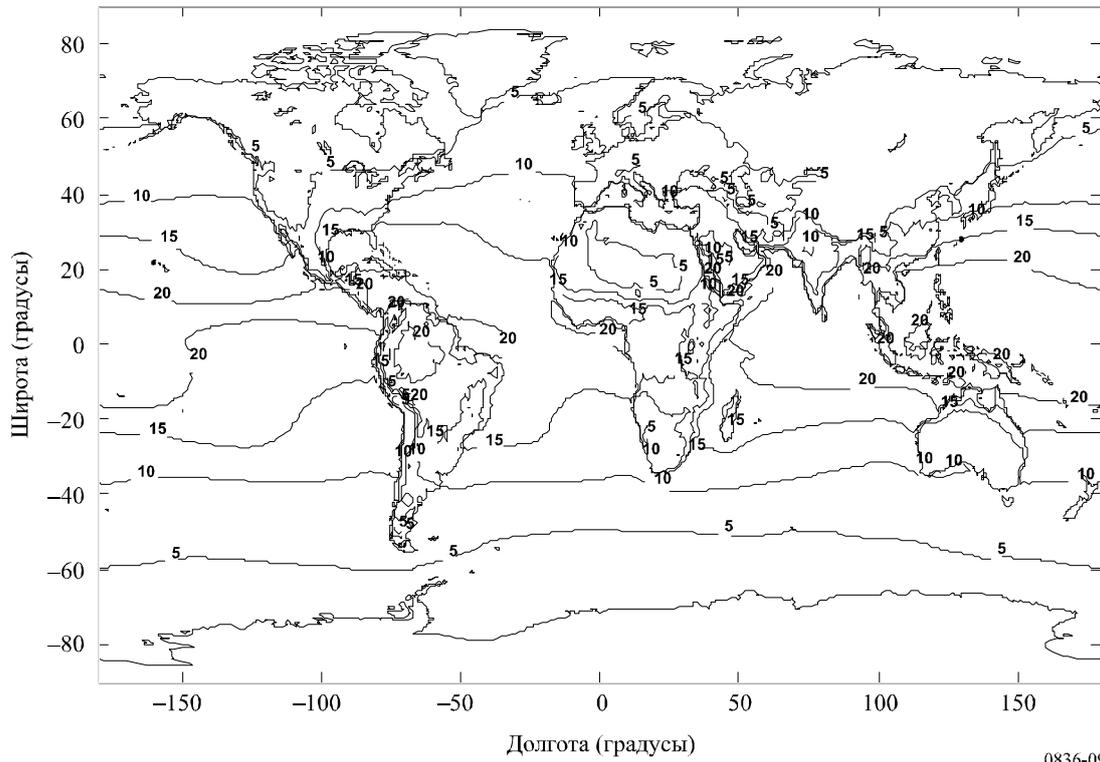
0836-07

РИСУНОК 8

Плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), превышаемая для 20% времени года

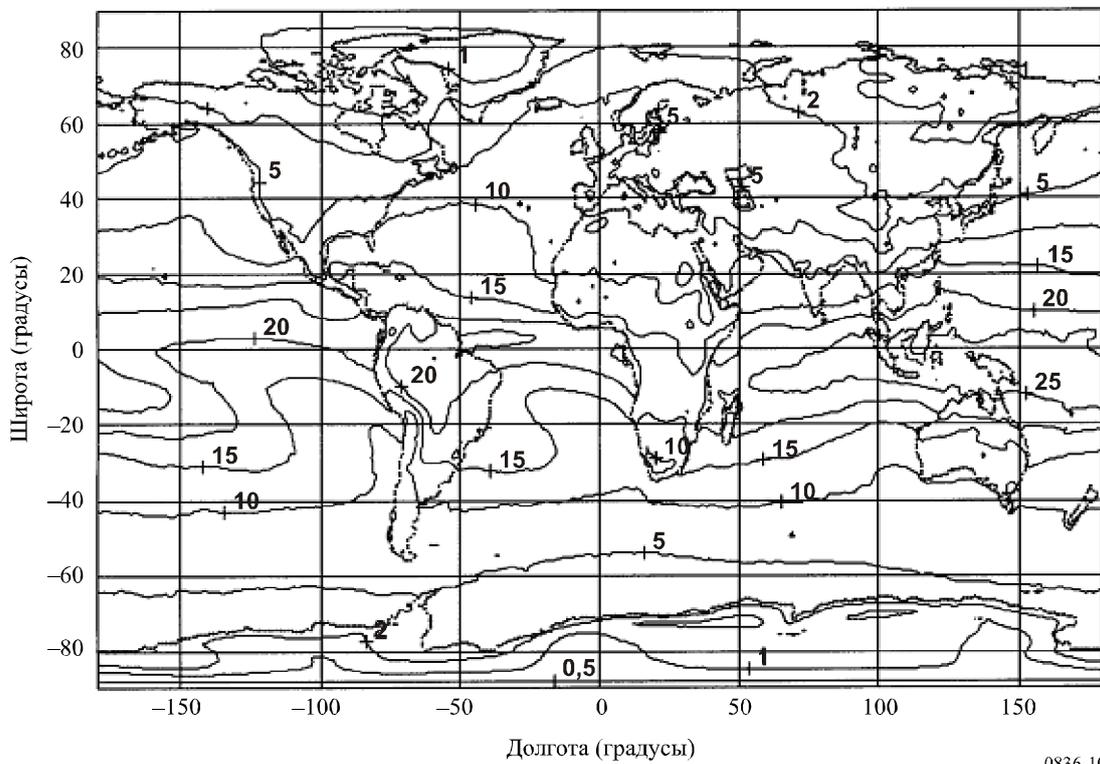
0836-08

РИСУНОК 9

Плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), превышаемая для 50% времени года

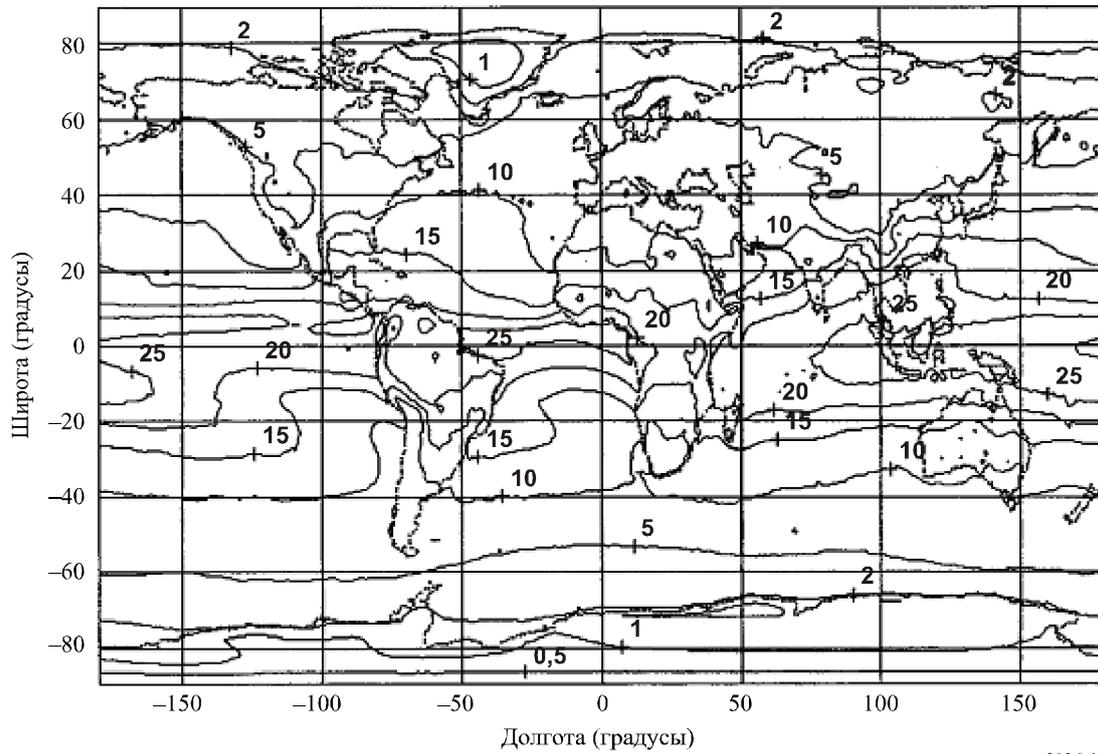
0836-09

РИСУНОК 10

Декабрь, январь, февраль: плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ) у поверхности Земли

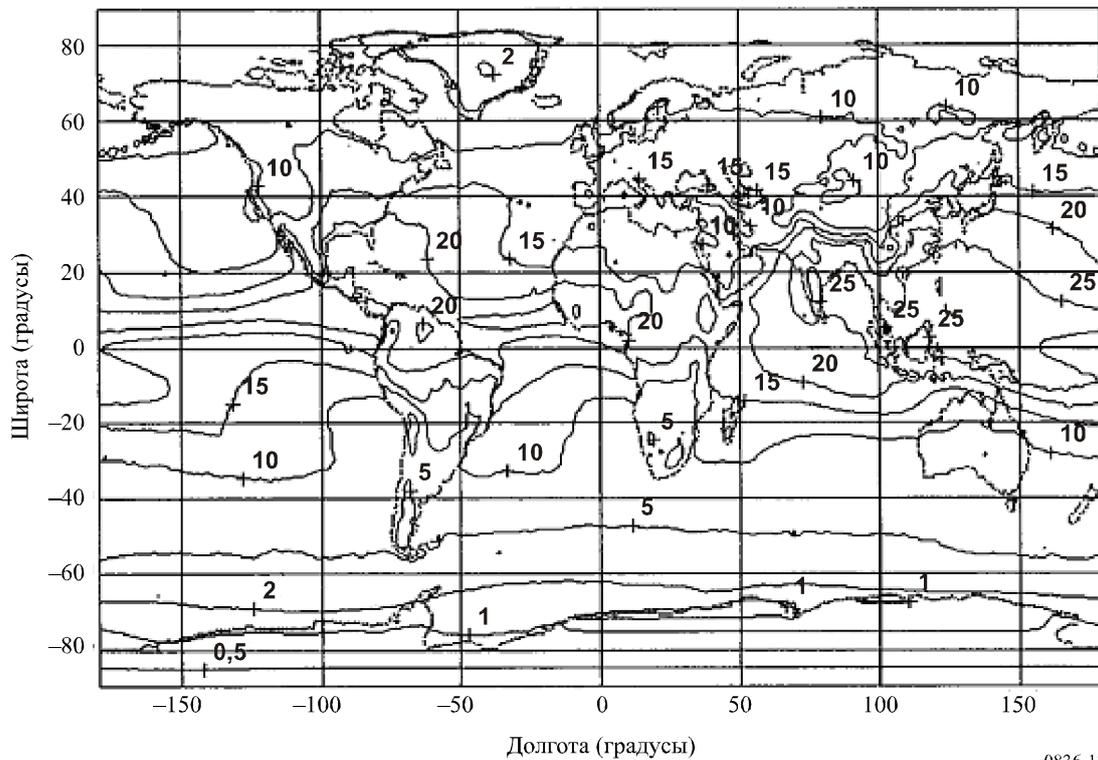
0836-10

РИСУНОК 11

Март, апрель, май: плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ) у поверхности Земли

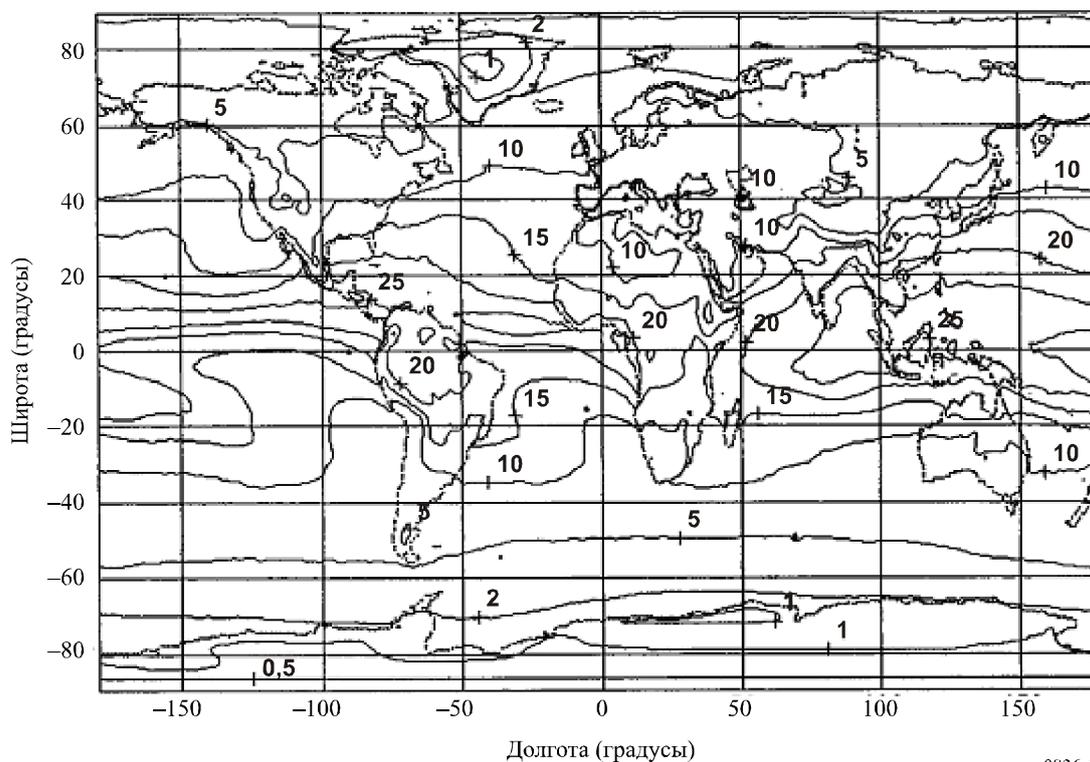
0836-11

РИСУНОК 12

Июнь, июль, август: плотность водяных паров ( $\text{г}/\text{м}^3$ ) у поверхности Земли

0836-12

РИСУНОК 13

Сентябрь, октябрь, ноябрь: плотность водяных паров ( $\text{г/м}^3$ ) у поверхности Земли

0836-13

## Приложение 2

### 1 Общее содержание водяных паров

В некоторых случаях для расчета увеличения длины трассы и определения ослабления за счет содержащихся в атмосфере водяных паров, причем во втором случае предполагается, что ослабление пропорционально общему содержанию водяных паров с удельным массовым коэффициентом поглощения, используется общее содержание водяных паров вдоль рассматриваемой трассы.

Общее содержание водяных паров, выраженное в  $\text{кг/м}^2$  или, что эквивалентно, в мм осаждаемой воды, можно определить с помощью радиозондирования, навигационных спутниковых измерений и радиометрических измерений. Данные радиозондирования широко доступны, однако имеют ограничения в смысле разрешения по времени и применимы только для зенитных трасс. Общее содержание водяных паров можно определить по радиометрическим измерениям, проводимым на соответствующих частотах вдоль рассматриваемой трассы.

Годовые значения общего объемного содержания водяных паров,  $V$  ( $\text{кг/м}^2$ ), превышаемые для 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 и 99% времени среднего года доступны в форме цифровых карт на веб-сайте 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи в файлах данных ESAWVC\_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 представлены для значений долготы от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  и широты от  $+90^\circ$  до  $-90^\circ$ , разрешение по широте и долготе составляет  $1,125^\circ$ . Эти данные используются вместе с сопутствующими файлами данных ESALAT\_1dot125.TXT и ESALON\_1dot125.TXT, в которых содержатся значения широты и долготы для соответствующих записей (точки координатной сетки) в файлах данных ESAWVC\_xx\_v4.TXT.

Общее содержание водяных паров в любой точке на поверхности Земли может быть выведено с помощью следующего метода интерполяции:

- определяются две вероятности,  $p_{above}$  и  $p_{below}$ , выше и ниже желательной вероятности,  $p$ , из множества: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 60; 70; 80; 90; 95 и 99%;
- для этих двух вероятностей,  $p_{above}$  и  $p_{below}$ , определяется общее объемное содержание водяных паров,  $V'_1, V'_2, V'_3$  и  $V'_4$ , в четырех ближайших точках сетки координат;
- используя файл данных приведенной высоты водяных паров VSCH\_xx\_v4.TXT, где xx соответствует вероятностям  $p_{above}$  и  $p_{below}$ , определяется приведенная высота водяных паров в четырех ближайших точках сетки,  $vsch_1, vsch_2, vsch_3$  и  $vsch_4$  для каждой вероятности,  $p_{above}$  и  $p_{below}$ ;
- используя Рекомендацию МСЭ-R P.1511, определяются значения топографической высоты,  $alt_1, alt_2, alt_3$  и  $alt_4$ , четырех ближайших точек координатной сетки;
- для каждой из четырех ближайших точек сетки и для каждой вероятности определяются значения общего объемного содержания водяных паров,  $V_1, V_2, V_3$  и  $V_4$ , на желательной высоте,  $alt$ , путем масштабирования значений общего объемного содержания водяных паров,  $V'_1, V'_2, V'_3$  и  $V'_4$ , с помощью следующего отношения:

$$V_i = V'_i e^{\frac{alt - alt_i}{vsch_i}} \quad \text{для } i = 1, 2, 3, 4; \quad (2)$$

- определяются значения общего объемного содержания водяных паров,  $V_{above}$  и  $V_{below}$ , при вероятностях  $p_{above}$  и  $p_{below}$  и в желательной точке путем билинейной интерполяции четырех значений общего объемного содержания водяных паров,  $V_1, V_2, V_3$  и  $V_4$ , в четырех точках сетки, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.1144 (в справочных целях процедура определения  $V_{above}$  и  $V_{below}$  по  $V'_1, V'_2, V'_3$  и  $V'_4$  показана на рисунке 14);
- определяется общее объемное содержание водяных паров,  $V$ , при желательной вероятности,  $p$ , путем интерполяции  $V_{above}$  и  $V_{below}$  в зависимости от  $p_{above}$  и  $p_{below}$  к  $p$  в линейном масштабе зависимости  $V$  от  $\log p$ .

Следует заметить, что на цифровых картах общего объемного содержания водяных паров содержится символ NaN (число отсутствует), который означает отсутствие значения общего содержания водяных паров, соответствующего данной годовой вероятности превышения.

Примеры контуров общего объемного содержания водяных паров представлены на рисунках 15, 16, 17, 18, 19, 20 и 21 для вероятностей превышения 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 20 и 50%.

РИСУНОК 14

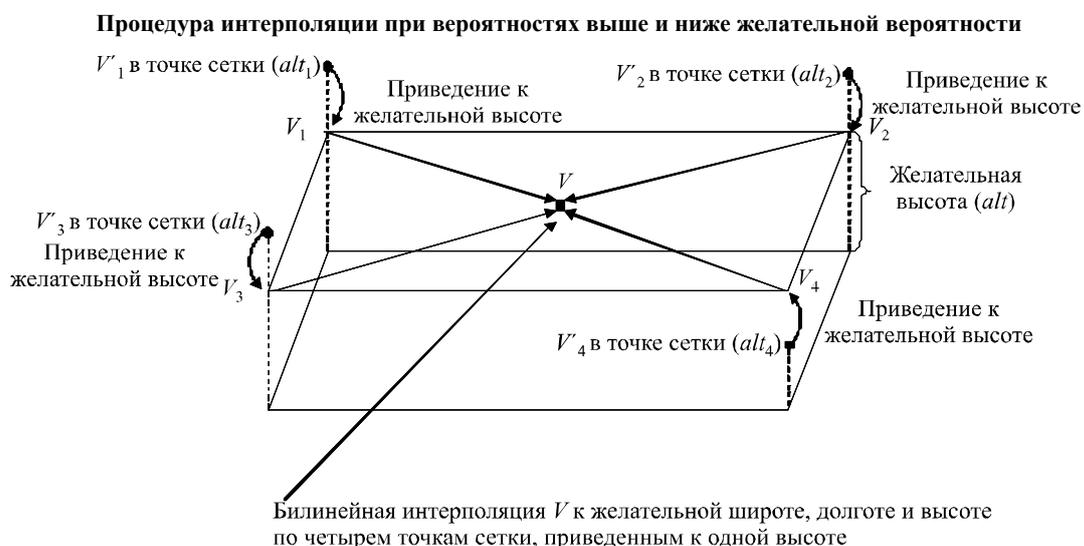
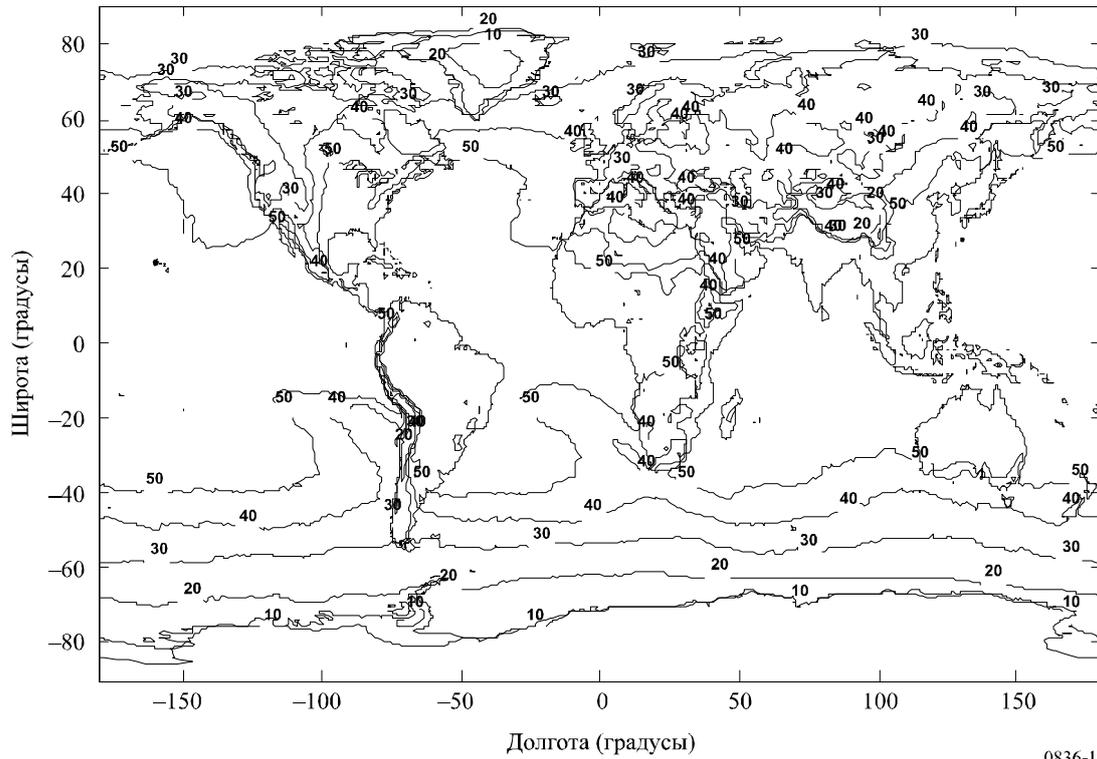
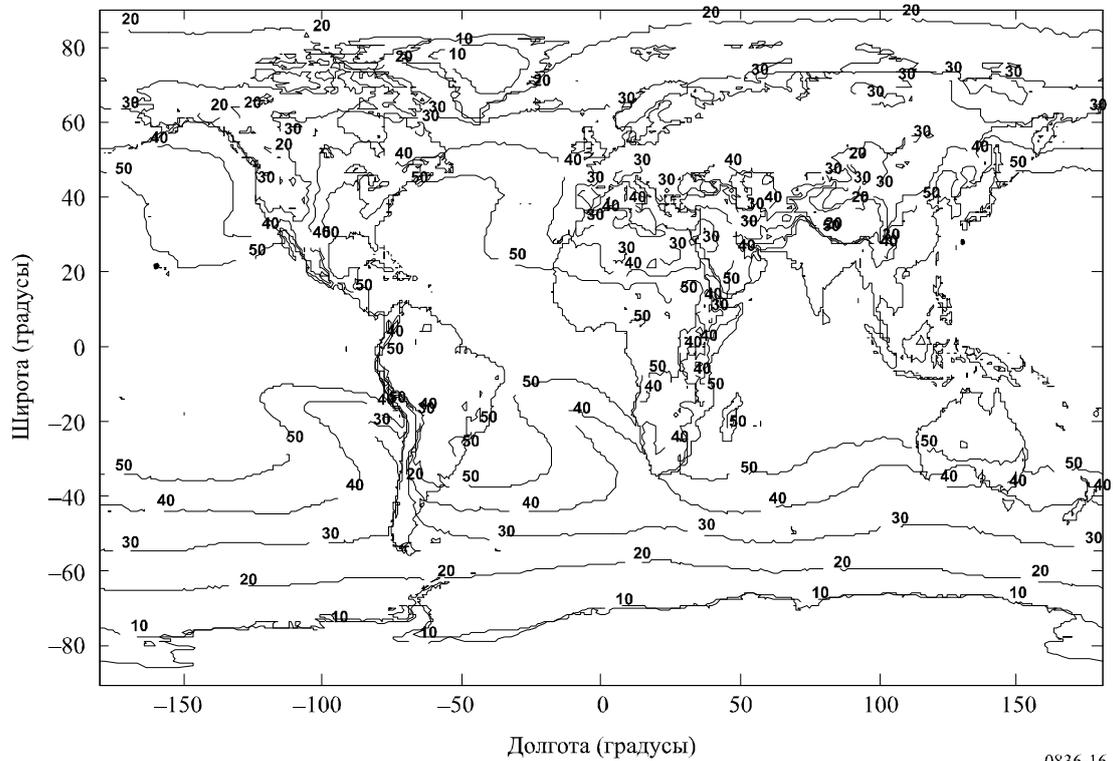


РИСУНОК 15

Объемное содержание водяных паров ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ), превышаемое для 0,1% времени года

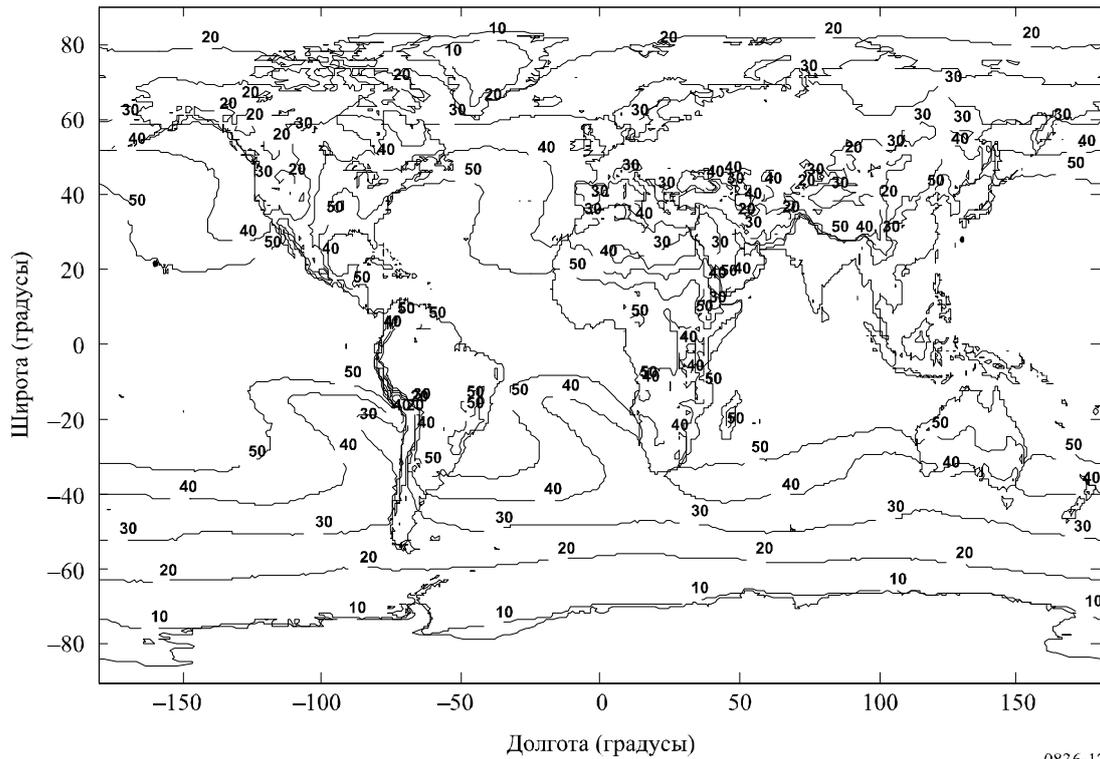
0836-15

РИСУНОК 16

Объемное содержание водяных паров ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ), превышаемое для 0,5% времени года

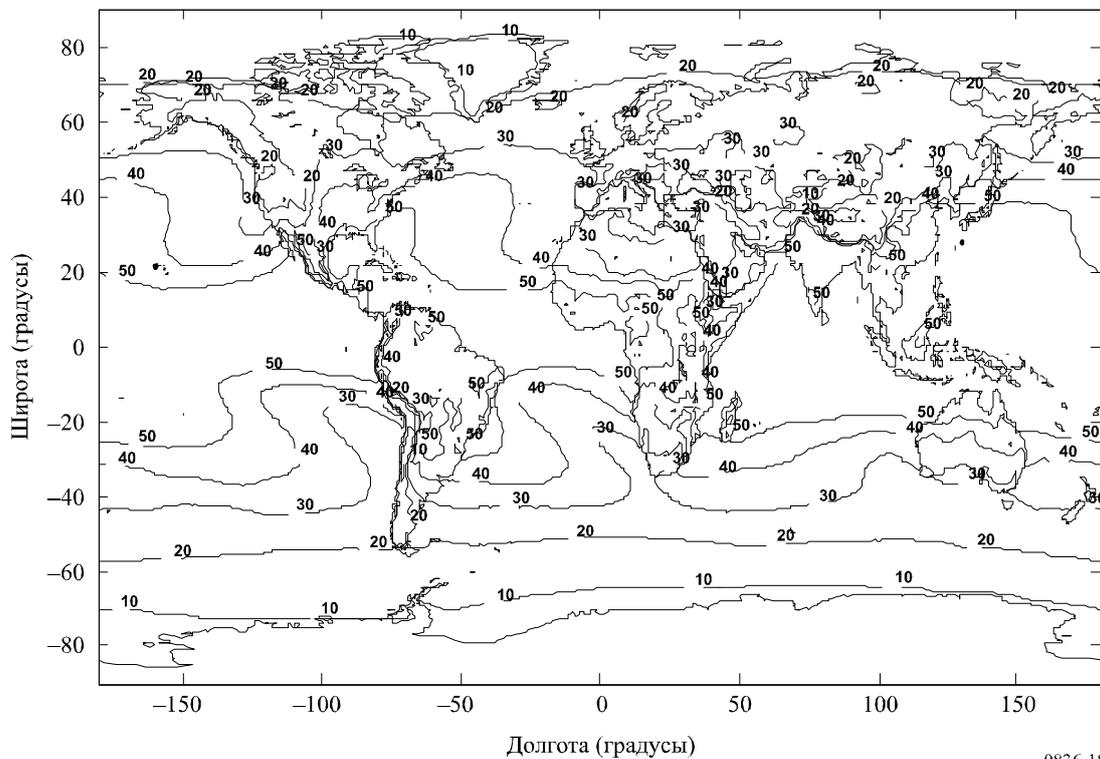
0836-16

РИСУНОК 17

Объемное содержание водяных паров ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), превышаемое для 1% времени года

0836-17

РИСУНОК 18

Объемное содержание водяных паров ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), превышаемое для 5% времени года

0836-18

РИСУНОК 19

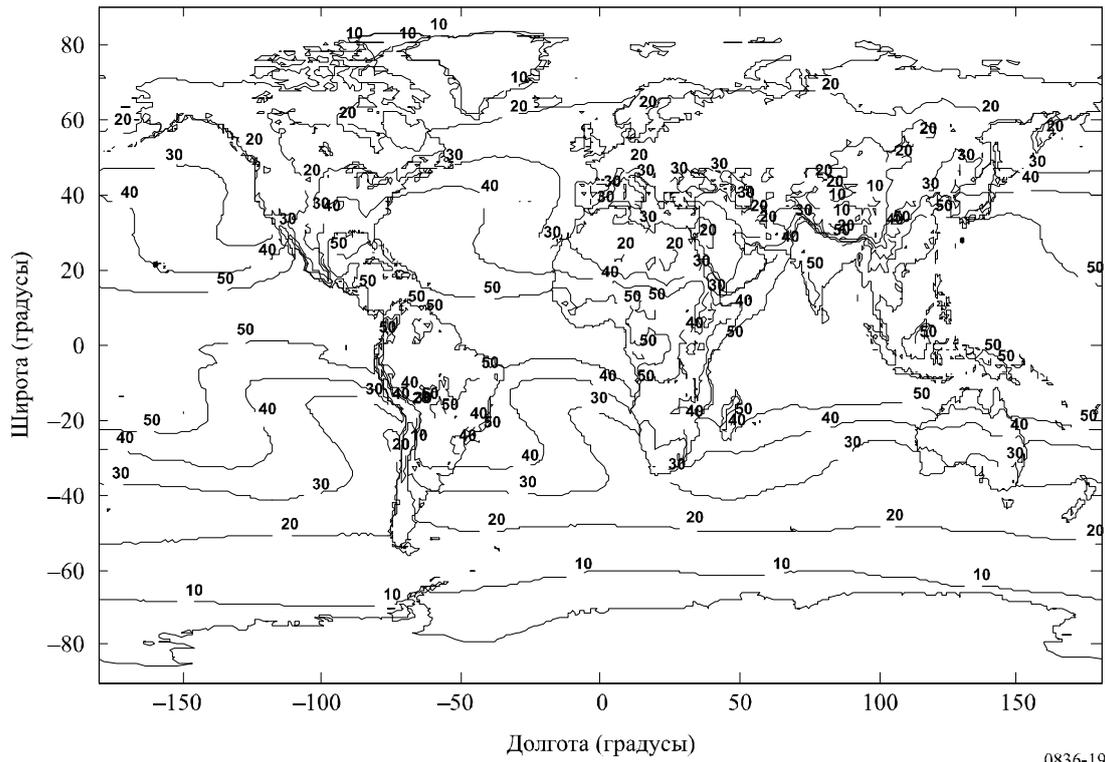
Объемное содержание водяных паров ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ), превышаемое для 10% времени года

РИСУНОК 20

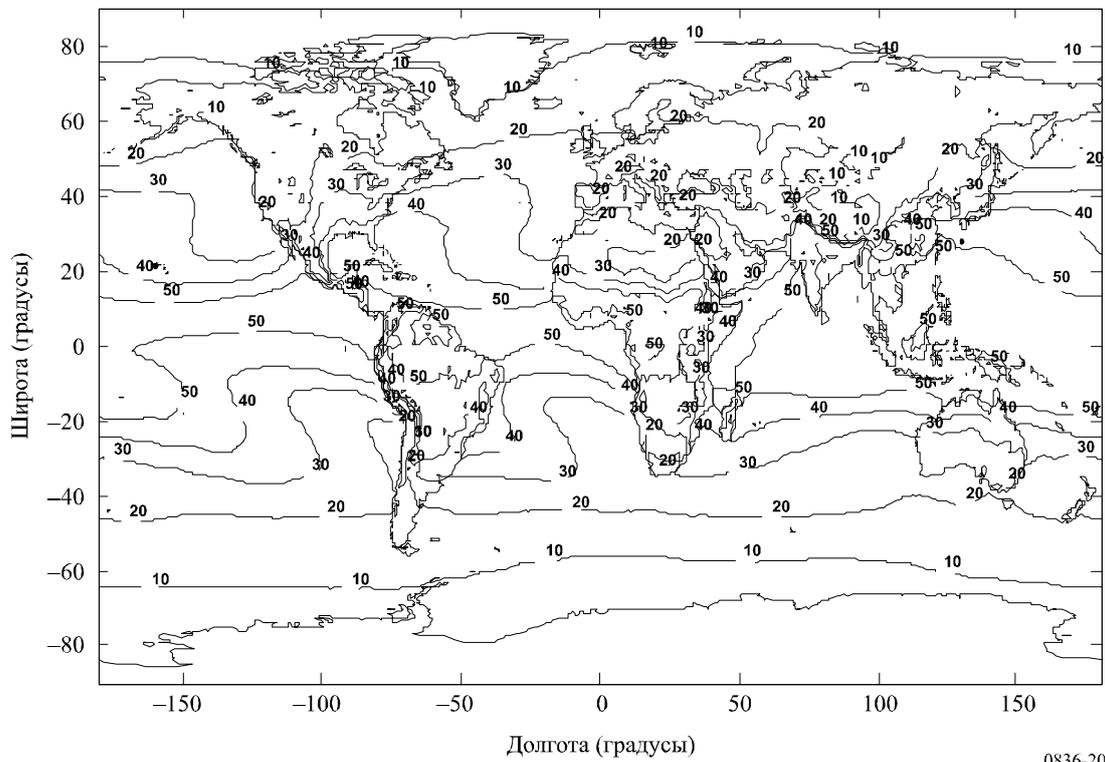
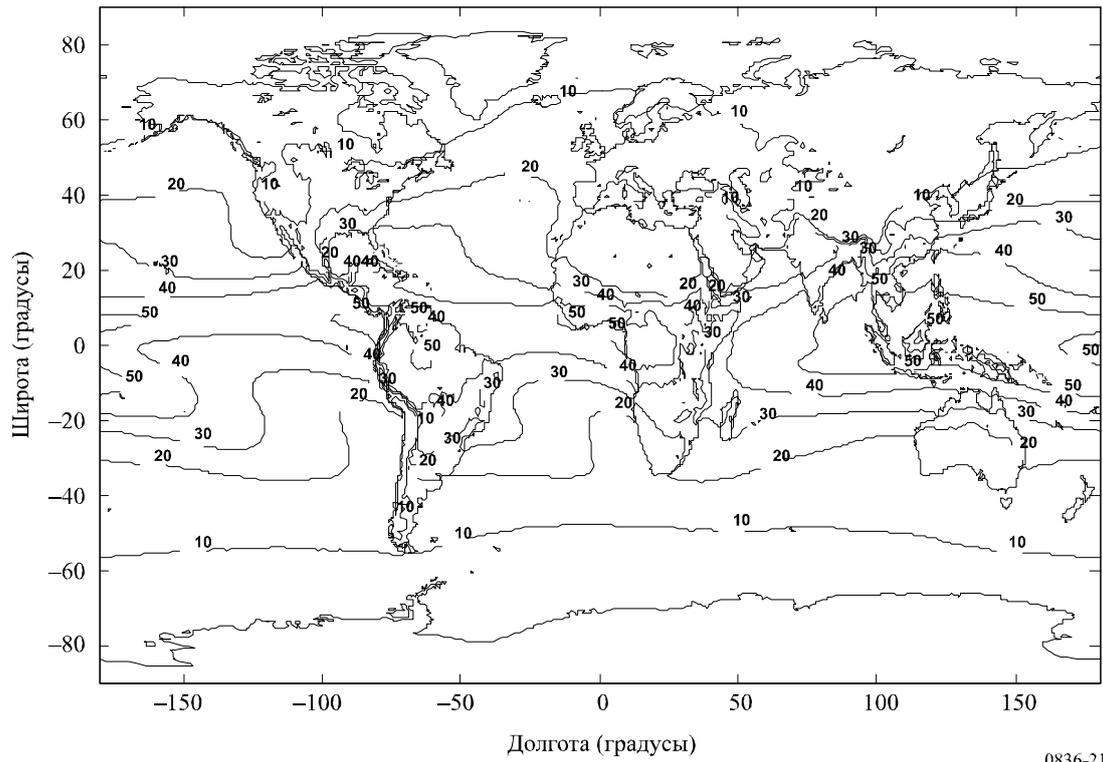
Объемное содержание водяных паров ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ), превышаемое для 20% времени года

РИСУНОК 21

Объемное содержание водяных паров ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ), превышаемое для 50% времени года

0836-21