

**МСЭ-R**

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R P.1546-6**  
(08/2019)

**Метод прогнозирования для трасс связи  
пункта с зоной для наземных служб в  
диапазоне частот от 30 МГц до 4000 МГц**

**Серия Р**  
**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-T/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-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
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
<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 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.1546-6

**Метод прогнозирования для трасс связи пункта с зоной  
для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 4000 МГц**

(2001-2003-2005-2007-2009-2013-2019)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации содержится описание метода прогнозирования распространения радиоволн для трасс связи пункта с зоной для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 4000 МГц. Метод предназначен для использования в тропосферных радиоканалах над сухопутными трассами, морскими трассами и/или смешанными трассами, состоящими из сухопутных и морских участков, длиной до 1000 км для эффективной высоты передающей антенны менее 3000 м. Этот метод основан на интерполяции/экстраполяции по полученным эмпирическим путем кривым напряженности поля как функциям расстояния, высоты антенны, частоты и процента времени. Процедура расчета включает также внесение исправлений в результаты, полученные на основе интерполяции/экстраполяции, для того чтобы учесть угол просвета местности и мешающие отражения от препятствий в терминале.

**Ключевые слова**

Распространение, общее для всех трасс большой дальности, тропосферные трассы/каналы, кривые напряженности поля, изменчивость в зависимости от времени и местоположения, прогнозирование основных потерь передачи

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что необходимо предоставить инженерам руководство по планированию служб наземной радиосвязи в диапазонах ОВЧ и УВЧ;
- b) что для станций, работающих в том же или соседних частотных каналах, большое значение имеет определение минимального расстояния разнесения между ними, требующегося для исключения неприемлемых помех в результате распространения в тропосфере на большие расстояния;
- c) что кривые, приведенные в Приложениях 2, 3 и 4, получены с помощью статистического анализа экспериментальных данных,

*отмечая,*

- a) что в Рекомендации МСЭ-R P.528 приведено руководство по прогнозированию основных потерь передачи на трассе связи пункта с зоной для воздушной подвижной службы для диапазона частот от 125 МГц до 15,5 ГГц и расстояний до 1800 км;
- b) что в Рекомендации МСЭ-R P.452 приведено руководство по подробной оценке микроволновых помех, возникающих между станциями на поверхности Земли на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц;
- c) что в Рекомендации МСЭ-R P.617 приведено руководство по прогнозированию основных потерь передачи на трассе связи пункта с пунктом для загоризонтных радиорелейных систем для диапазона частот выше 30 МГц и для расстояний в диапазоне от 100 км до 1000 км;
- d) что в Рекомендации МСЭ-R P.1411 приведено руководство по прогнозированию для наружных служб ближней радиосвязи (до 1 км);
- e) что в Рекомендации МСЭ-R P.530 приведено руководство по прогнозированию основных потерь передачи на трассе связи пункта с пунктом для наземных систем прямой видимости,

f) что в Рекомендации МСЭ-R P.2001 представлена модель наземного распространения радиоволн в широкой полосе частот 30 МГц – 50 ГГц с учетом статистических данных по замиранию и усилению,

*рекомендует,*

использованы процедуры, приведенные в Приложениях 1–8, для прогнозирования напряженности поля на трассах связи пункта с зоной для радиовещательной, сухопутной подвижной, морской подвижной и некоторых фиксированных служб (например, служб, использующих системы связи пункта со многими пунктами) для диапазона частот от 30 МГц до 4000 МГц и для расстояний до 1000 км.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Трассы распространения большой дальности могут также существовать в диапазоне ОВЧ при распространении через ионосферу. Эти режимы представлены в сводной форме в Рекомендации МСЭ-R P.844.

## Приложение 1

### Введение

#### 1 Кривые распространения

Кривые распространения, приведенные в Приложениях 2, 3 и 4, представляют значения напряженности поля для эффективной излучаемой мощности (э.и.м.) 1 кВт на номинальных частотах 100, 600 и 2000 МГц, соответственно, в зависимости от различных параметров; причем некоторые кривые относятся к сухопутным трассам, а другие – к морским трассам. Для получения значения напряженности поля для любой заданной частоты следует использовать интерполяцию или экстраполяцию значений, полученных для этих номинальных частот, по методу, приведенному в п. 6 Приложения 5.

Эти кривые основаны на данных измерений, относящихся главным образом к средним климатическим условиям в регионах с умеренным климатом с холодными и теплыми морями, например в регионе Северного моря и Средиземного моря. Кривые для сухопутных трасс построены на основе данных, полученных главным образом в условиях умеренного климата, характерного для Европы и Северной Америки. Кривые для морских трасс были построены на основе данных, полученных главным образом в регионах Северного и Средиземного моря. Широкие исследования показали, что условия распространения в некоторых ограниченных теплыми морями регионах с суперрефракцией существенно различаются.

Однако методы интерполяции и экстраполяции для семейств кривых напряженности поля носят общий характер. Поэтому при наличии семейств кривых для регионов с разным климатом, где преобладают существенно различающиеся условия распространения радиоволн, точную характеристику распространения радиоволн в этих регионах можно получить с использованием приведенных в настоящей Рекомендации методов.

Настоящая Рекомендация не предназначена для конкретной поляризации.

#### 2 Максимальная напряженность поля

Кривые дают верхние пределы возможных значений напряженности поля, которая может быть получена в любых условиях. Эти пределы определены в п. 2 Приложения 5 и показаны пунктирными линиями на графиках, приведенных в Приложениях 2, 3 и 4.

### **3 Компьютерные таблицы**

Хотя значения напряженности поля можно непосредственно считать по кривым, представленным на рисунках в Приложениях 2, 3 и 4 настоящей Рекомендации, для реализации этого метода с применением компьютера предполагается использовать таблицы напряженности поля, которые можно получить в Бюро радиосвязи. См. раздел веб-сайта МСЭ-R, который относится к 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

### **4 Пошаговый метод**

Подробная пошаговая процедура, которая должна использоваться при применении настоящей Рекомендации, приведена в Приложении 6.

### **5 Обозначение антенн**

В настоящей Рекомендации термин "передающая/базовая антенна" применяется одновременно для обозначения передающей антенны, используемой в радиовещательной службе, и антенны базовой станции, используемой в наземных подвижных службах. Аналогичным образом термин "приемная/подвижная антенна" применяется для обозначения приемной антенны, используемой в радиовещательной службе, и антенны подвижной станции, используемой в наземных подвижных службах. С более подробной информацией, касающейся обозначения терминалов можно ознакомиться в п. 1.1 Приложения 5.

### **6 Высота передающей/базовой антенны**

В этом методе учитывается эффективная высота передающей/базовой антенны, которая соответствует высоте антенны над высотой рельефа местности, усредненной для расстояний в диапазоне от 3 до 15 км в направлении приемной/подвижной антенны. Высоту передающей или базовой антенны  $h_1$  для расчетов получают с помощью метода, приведенного в п. 3 Приложения 5.

### **7 Используемая для кривых высота передающей/базовой антенны**

Кривые зависимости напряженности поля от расстояния в Приложениях 2, 3 и 4 и соответствующие таблицы приведены для значений  $h_1$ : 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 и 1200 м. Для любых значений  $h_1$  в диапазоне от 10 до 3000 м следует использовать интерполяцию или экстраполяцию по соответствующим двум кривым, как описано в п. 4.1 Приложения 5. Экстраполяция, используемая для  $h_1$  менее 10 м, приведена в п. 4.2 Приложения 5. Значения  $h_1$  могут быть отрицательными, и в этом случае следует использовать метод, приведенный в п. 4.3 Приложения 5.

### **8 Изменчивость во времени**

Кривые распространения представляют значения напряженности поля, превышаемые в течение 50%, 10% и 1% времени. Метод интерполяции между этими значениями приведен в п. 7 Приложения 5. Настоящая Рекомендация не действительна для значений напряженности поля, превышаемых в течение процентов времени за пределами диапазона от 1% до 50%.

### **9 Метод для смешанных трасс**

Если трасса радиосигнала проходит одновременно над сушей и морем, то оценку напряженности поля для смешанной трассы необходимо проводить по методу, приведенному в п. 8 Приложения 5.

### **10 Высота приемной/подвижной антенны**

Для сухопутных трасс кривые представляют значения напряженности поля при высоте приемной/подвижной антенны над землей  $h_2$  (м), равной либо репрезентативной высоте наземного покрова вокруг местоположения приемной/подвижной антенны, либо 10 м, в зависимости от того, какое значение больше. Для морских трасс кривые представляют значения напряженности поля при  $h_2 = 10$  м. Чтобы получить значения для величин  $h_2$ , отличающихся от представленных на кривых, следует применять поправку в соответствии со средой вокруг приемной/подвижной антенны. Метод расчета этой поправки приведен в п. 9 Приложения 5.

### **11 Воздействие передающей/базовой антенны, экранированной отражениями от местных препятствий**

Если передающая/базовая антенна находится выше или рядом с сушей, на которой имеются препятствия, следует применять поправку, приведенную в п. 10 Приложения 5, независимо от высоты над уровнем земли передающей/базовой антенны.

### **12 Поправка на угол просвета местности**

Для сухопутных трасс можно повысить точность прогнозируемой напряженности поля путем учета местности вблизи приемной/подвижной антенны, если имеются такие данные, при использовании угла просвета местности. При расчетах для смешанной трассы эту поправку следует вводить, если приемная/подвижная антенна находится рядом с сухопутным участком трассы. Более подробная информация о поправке на угол просвета местности приведена в п. 11 Приложения 5.

### **13 Изменчивость в зависимости от местоположения**

Кривые распространения представляют значения напряженности поля, превышаемые в 50% местоположений в пределах зоны. Более подробно изменчивость в зависимости от местоположения и метод расчета поправки, требуемой для процентов местоположений, отличных от 50%, описаны в п. 12 Приложения 5.

### **14 Поправка на тропосферное рассеяние**

В п. 13 Приложения 5 приведен метод учета тропосферного рассеяния, который следует использовать при наличии информации о рельефе местности. В принципе, кривые должны показывать любые значительные сигналы при тропосферном рассеянии, однако отсутствует уверенность в том, что проводились достаточные измерения на больших расстояниях, требуемые для определения этих эффектов. Приведенная в п. 13 Приложения 5 поправка предназначена для сведения к минимуму вероятности существенно заниженного прогноза напряженности поля в силу того, что кривые некорректного представляют воздействие тропосферного рассеяния.

### **15 Поправка на разность высот антенн**

В п. 14 Приложения 5 представлена поправка для учета разницы значений высоты над уровнем земли двух антенн.

### **16 Горизонтальные расстояния менее 1 км**

Кривые напряженности поля охватывают расстояния от 1 до 1000 км. В п. 15 Приложения 5 описан метод для горизонтальных расстояний менее 1 км.

### **17 Эквивалентные основные потери при передаче**

В п. 17 Приложения 5 приведен метод пересчета напряженности поля при э.и.м. 1 кВт в эквивалентные основные потери при передаче.

## 18 Изменчивость индекса рефракции атмосферы

Известно, что медианный уровень напряженности поля и его изменчивость во времени зависят от климатических условий в разных регионах. Приведенные в Приложениях 2, 3 и 4 кривые напряженности поля относятся к умеренному климату. В Приложении 7 приведен метод корректировки кривых для разных регионов мира на основе данных о вертикальном градиенте индекса рефракции атмосферы в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.453.

## 19 Соответствие с методом Окумура-Хата

В Приложении 8 приведены уравнения Хата для прогнозирования напряженности поля подвижных служб в городских районах и описаны условия, при которых настоящая Рекомендация дает сходные результаты.

# Приложение 2

## Диапазон частот от 30 МГц до 300 МГц

**1** Кривые зависимости напряженности поля от расстояния в настоящем Приложении приведены для частоты 100 МГц. Их можно применять для частот в диапазоне от 30 МГц до 300 МГц, но при этом для повышения точности следует использовать процедуру, описанную в п. 6 Приложения 5. Ту же процедуру необходимо использовать и для табулированных значений зависимости напряженности поля от расстояния (см. п. 3 Приложения 1).

**2** Кривые на рисунках 1–3 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% местоположений в пределах любой зоны размером приблизительно 500 м на 500 м в течение 50%, 10% и 1% времени для сухопутных трасс.

**3** Распределение напряженности поля в зависимости от процента местоположений можно рассчитать по данным, приведенным в п. 12 Приложения 5.

**4** Кривые на рисунках 4–8 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% местоположений в течение 50%, 10% и 1% времени для морских трасс, проходящих через холодное и теплое моря, например Северное и Средиземное море, соответственно.

**5** В регионах, в которых наблюдается ярко выраженный эффект суперрефрактивности, необходимо учитывать информацию, содержащуюся в п. 18 Приложения 1.

**6** Ионосфера, в первую очередь за счет эффекта спорадической ионизации в слое E, может оказывать влияние на распространение в нижней части диапазона ОВЧ, особенно на частотах ниже приблизительно 90 МГц. В некоторых случаях этот вид распространения может влиять на уровень напряженности поля, превышаемый в течение малых процентов времени на расстояниях меньше, скажем, свыше 500 км. Вблизи магнитного экватора и в авроральной зоне могут быть задействованы большие проценты времени. Однако для большинства применений, охватываемых настоящей Рекомендацией, этими ионосферными эффектами обычно можно пренебречь, и кривые в данном Приложении построены исходя из такого допущения. (Руководство по распространению в спорадическом слое E содержится в Рекомендации МСЭ-R P.534.)

РИСУНОК 1  
100 МГц, сухопутная трасса, 50% времени

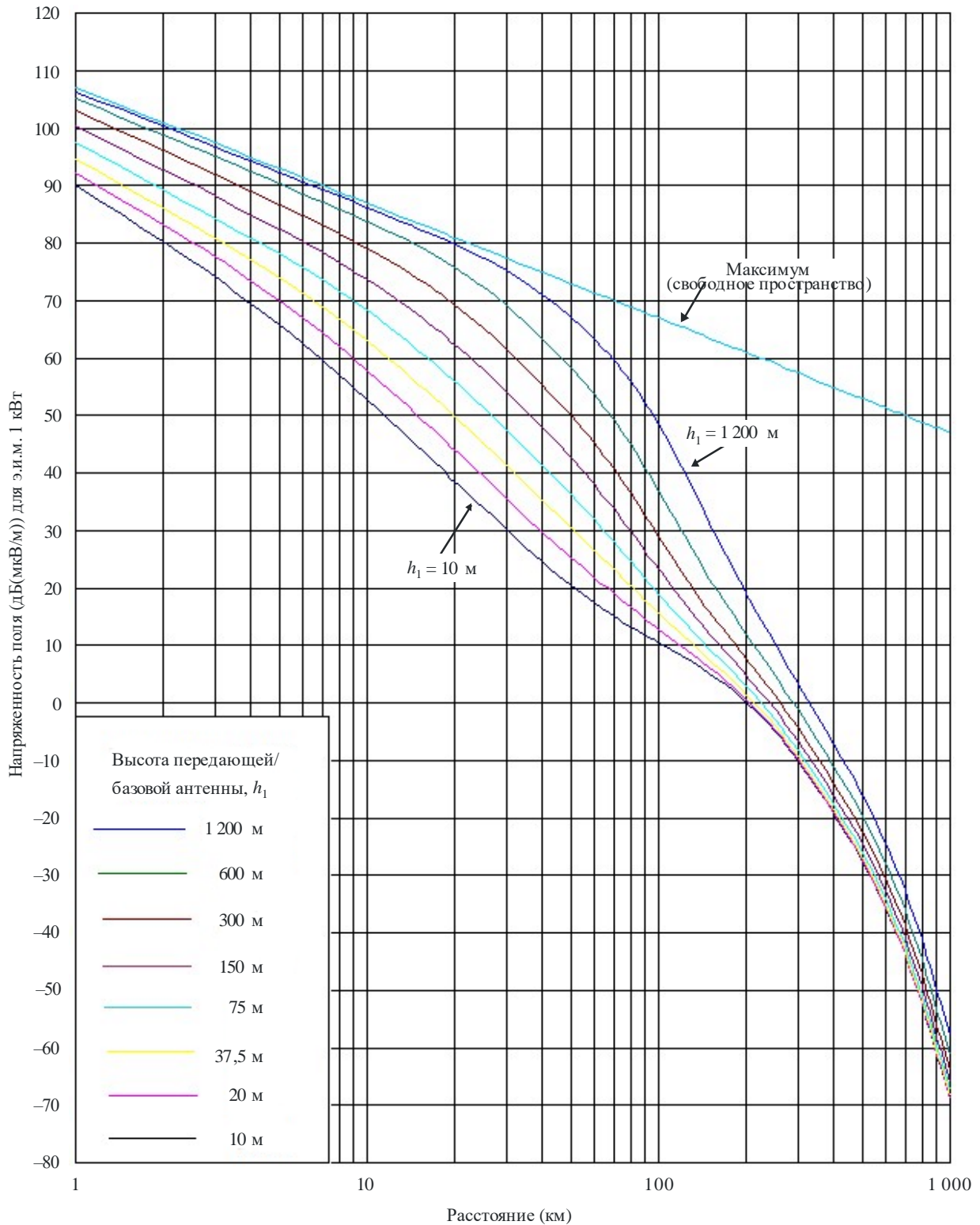
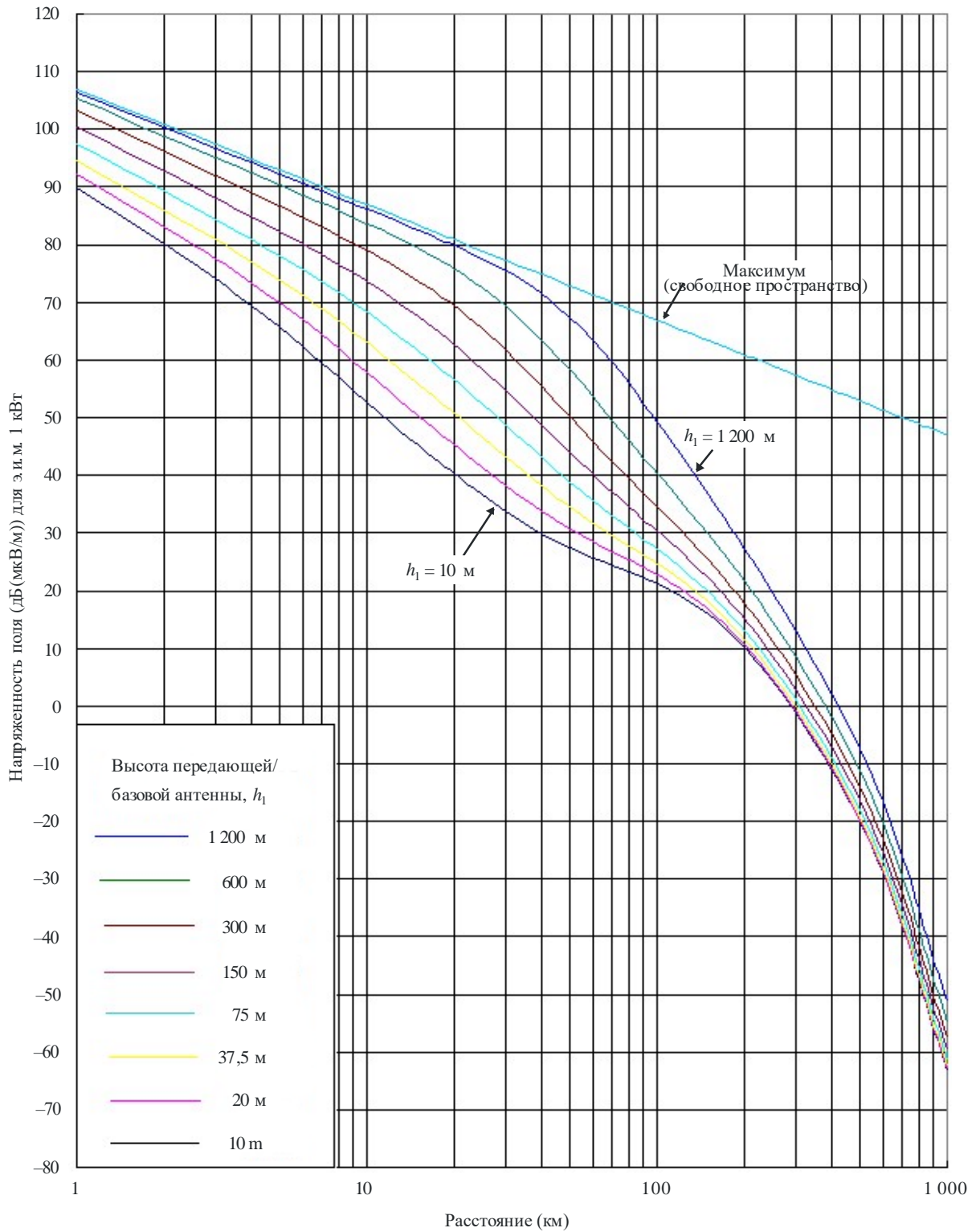




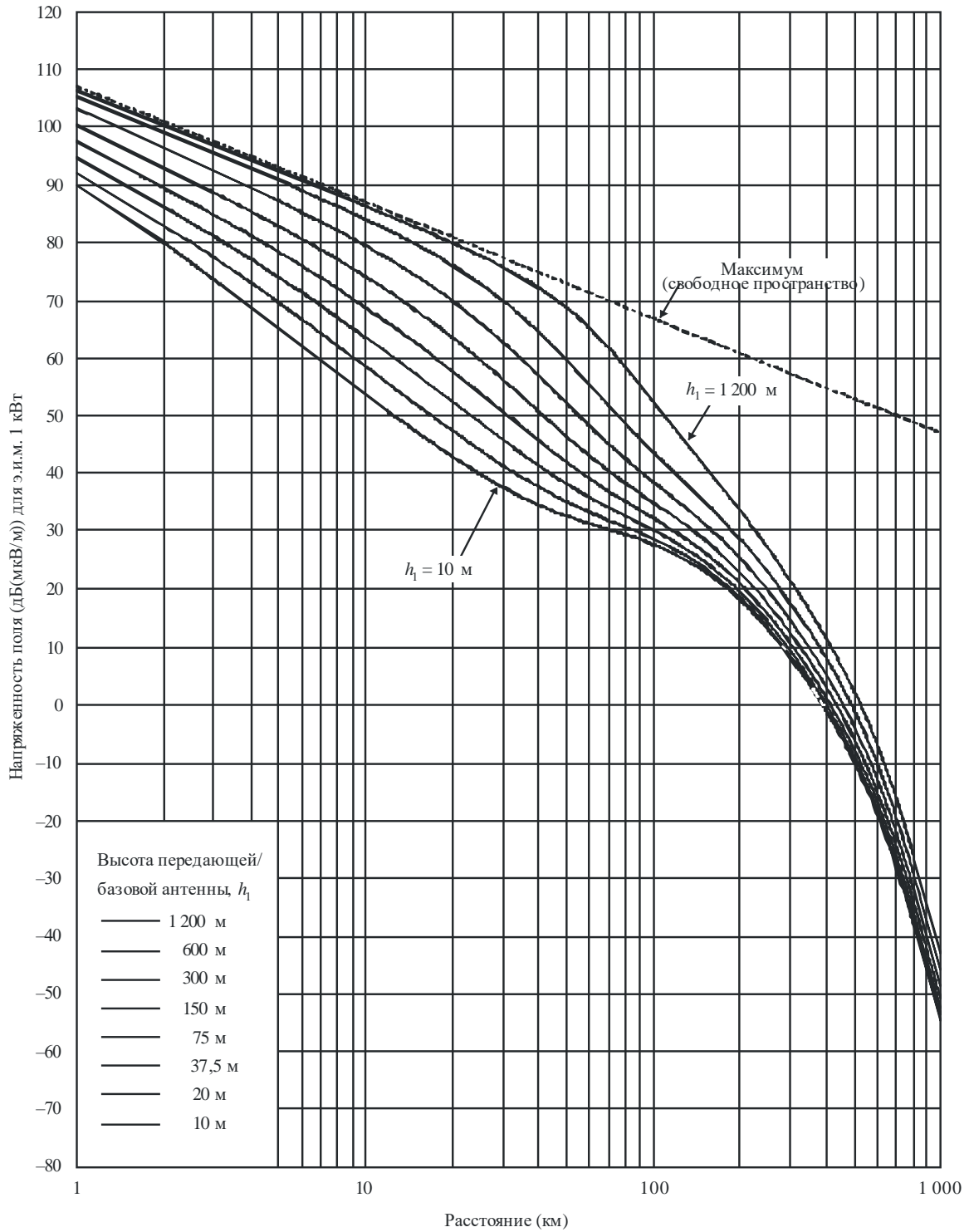
РИСУНОК 2  
100 МГц, сухопутная трасса, 10% времени



50% мест

$h_2$ : репрезентативная высота местного препятствия

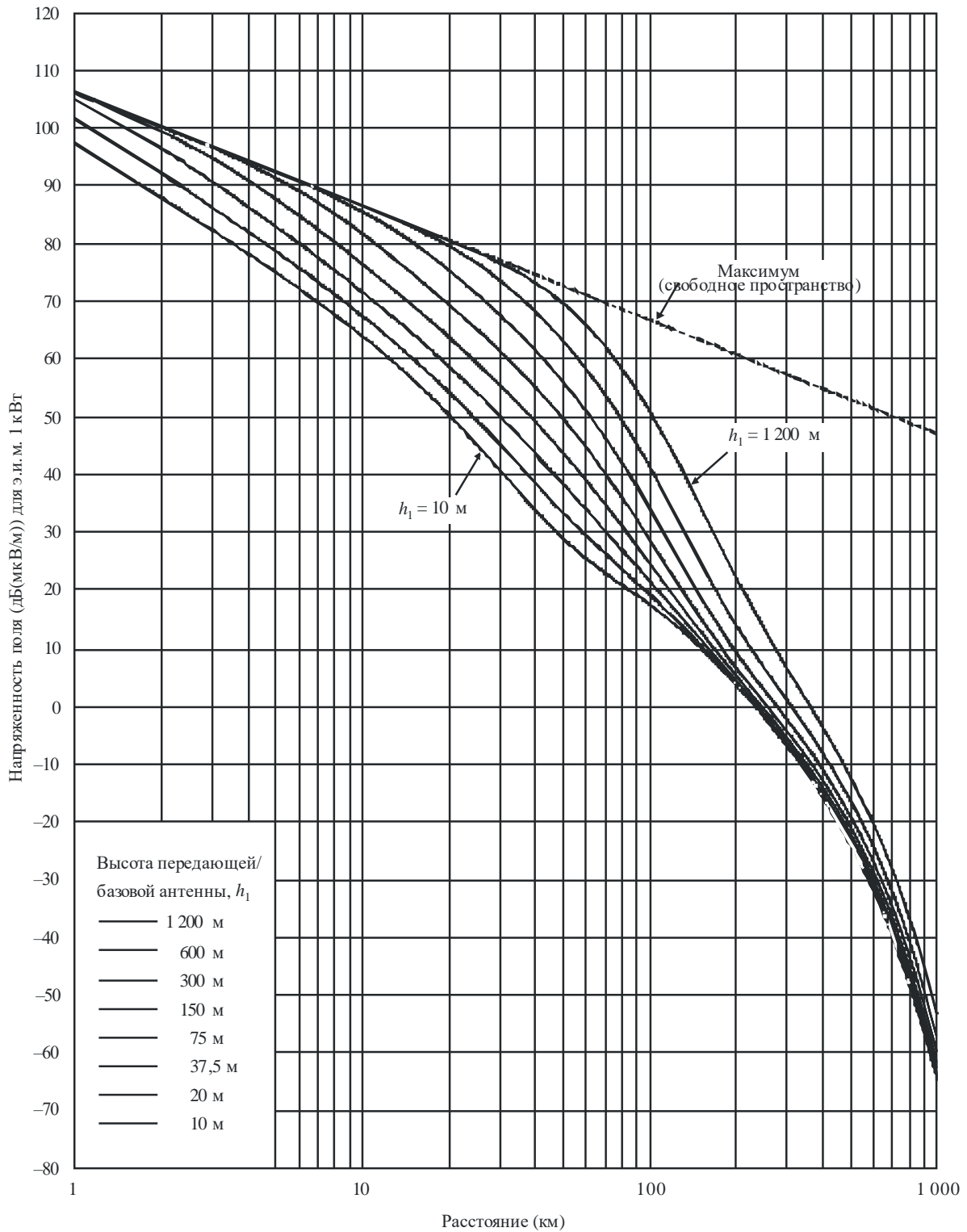
РИСУНОК 3  
100 МГц, сухопутная трасса, 1% времени



50% мест

$h_2$ : репрезентативная высота местного препятствия

РИСУНОК 4  
100 МГц, морская трасса, 50% времени

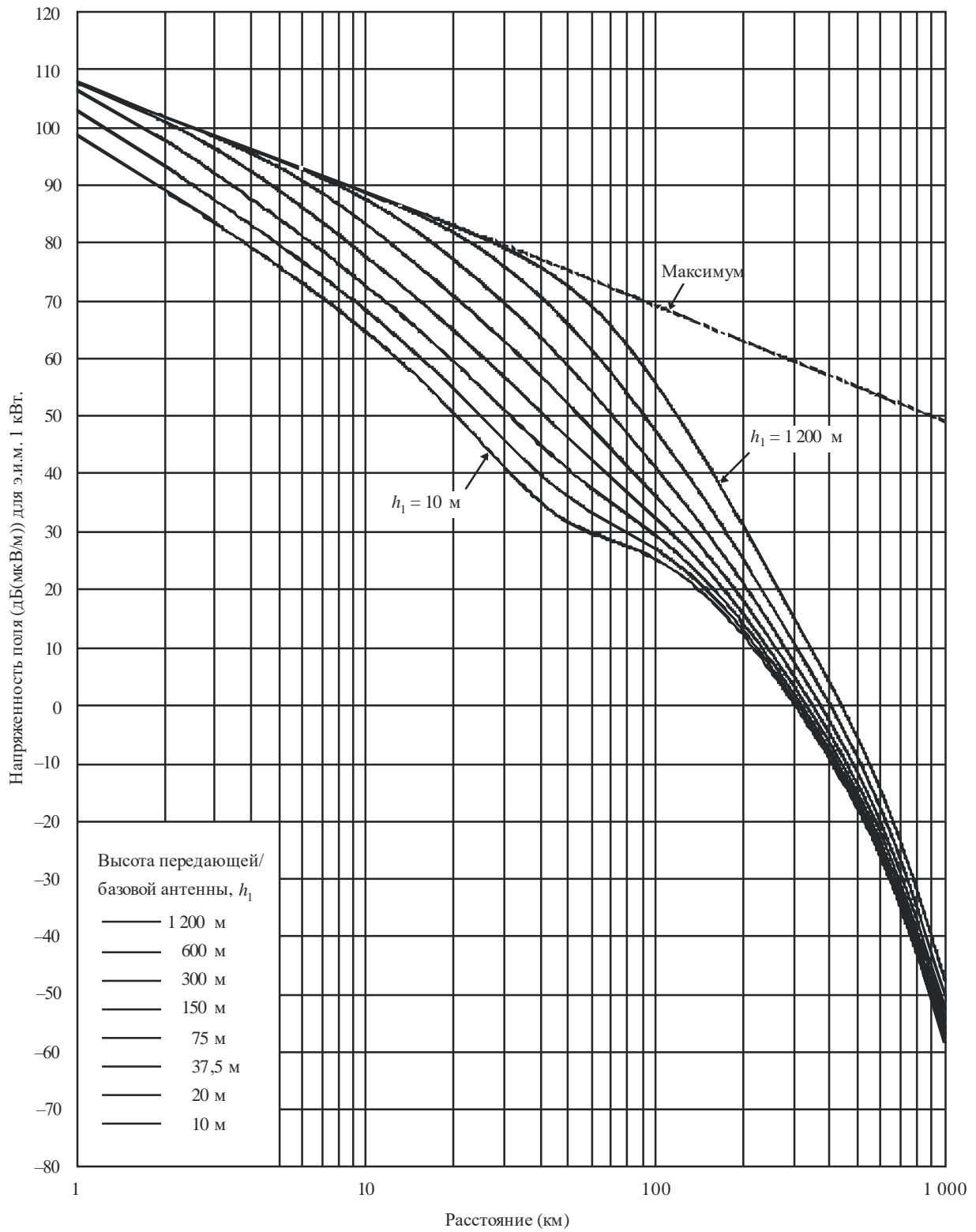


50% мест

$h_2 = 10$  м

РИСУНОК 5

100 МГц, трасса над холодным морем, 10% времени



50% мест

 $h_2 = 10$  м

РИСУНОК 6  
100 МГц, трасса над холодным морем, 1% времени

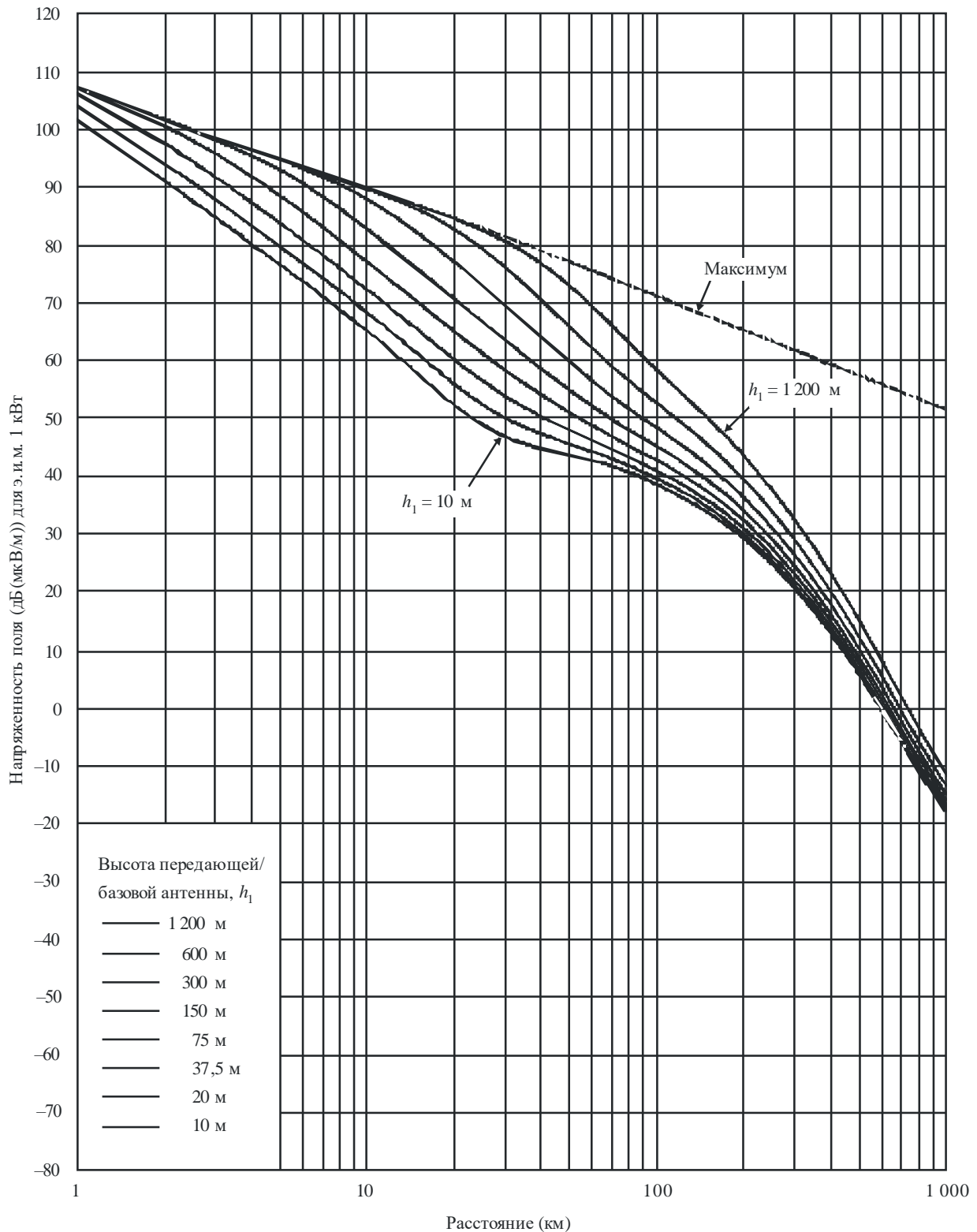
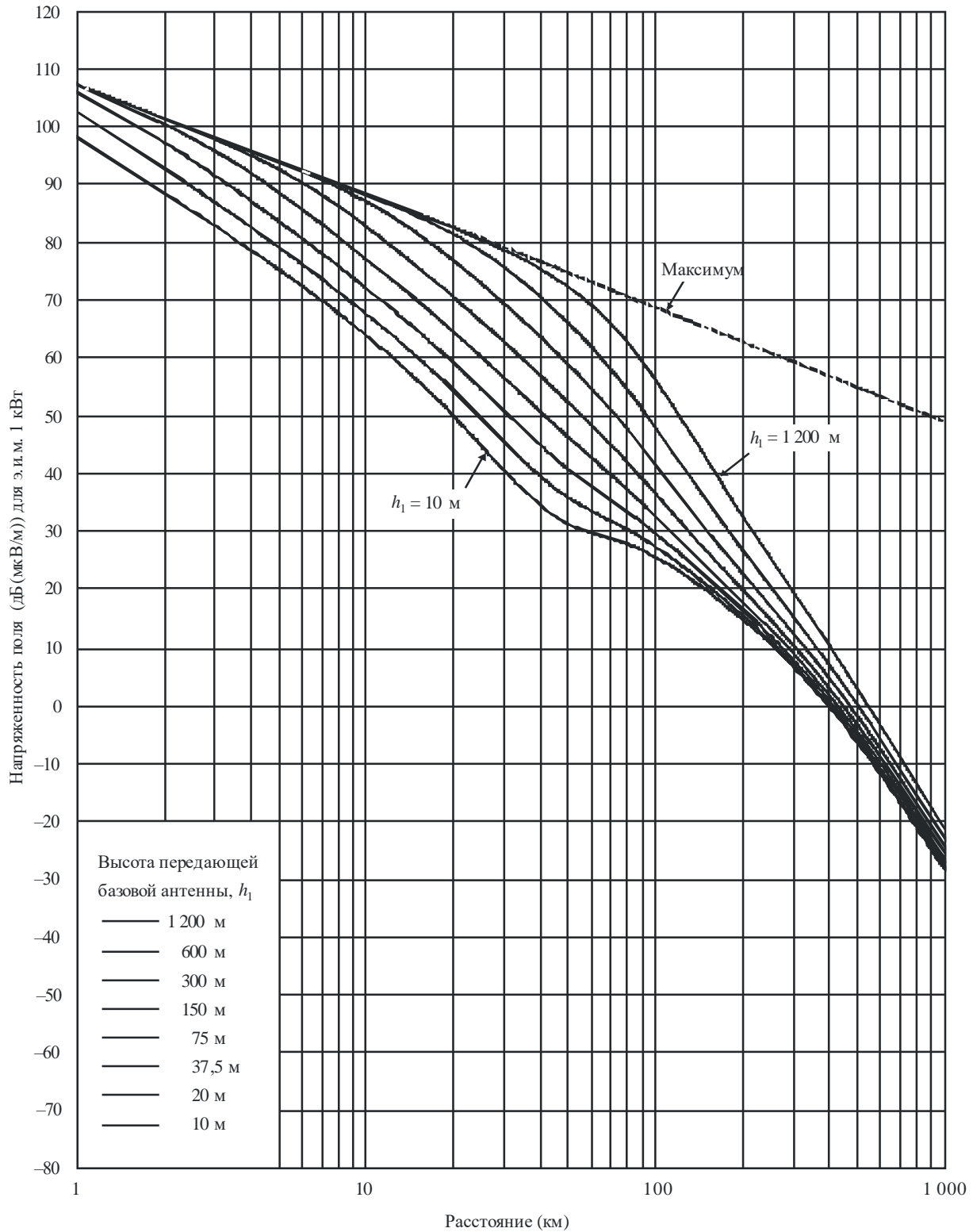


РИСУНОК 7

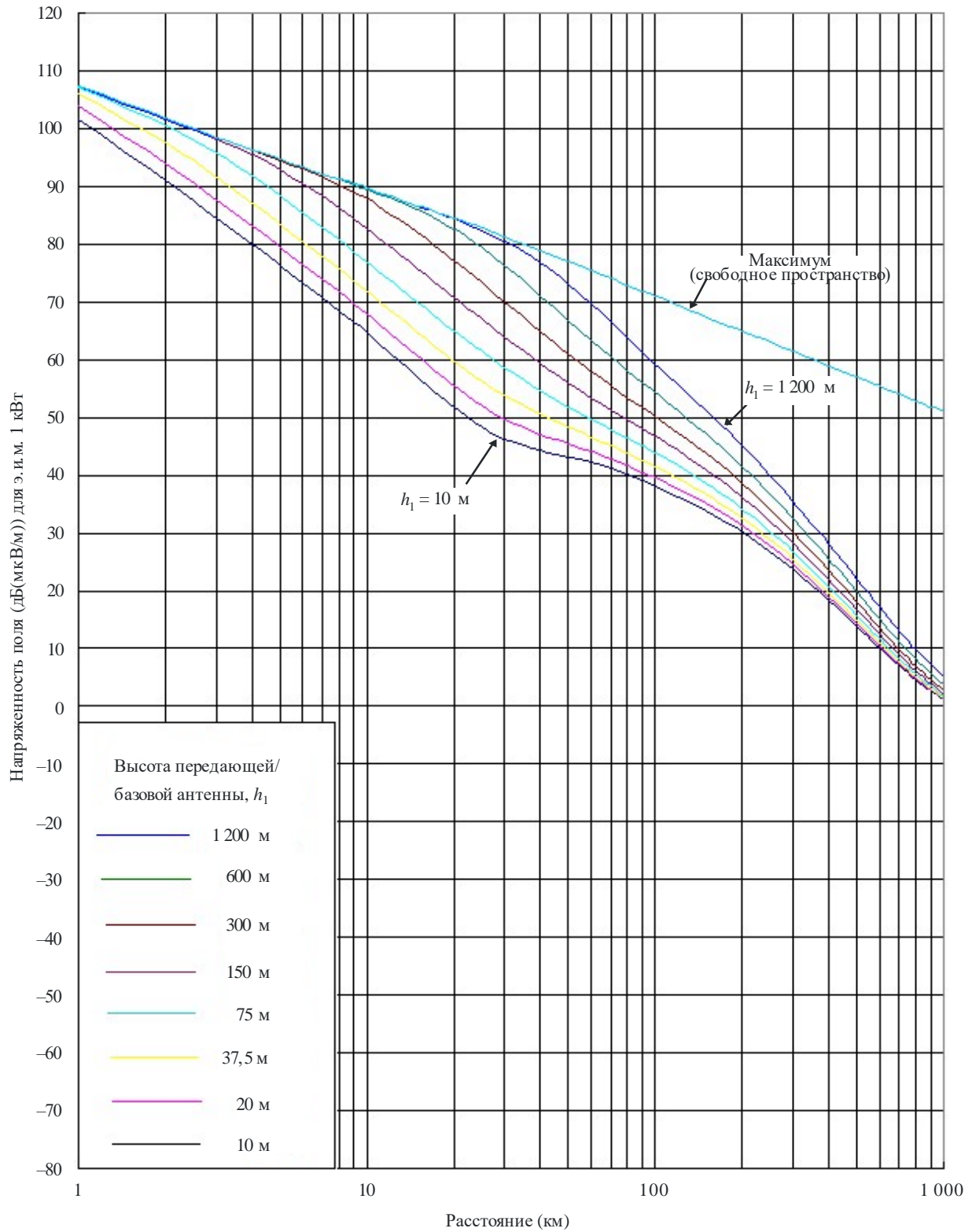
100 МГц, трасса над теплым морем, 10% времени



50% мест

 $h_2 = 10$  м

РИСУНОК 8  
100 МГц, трасса над теплым морем, 1% времени



50% мест

$h_2 = 10$  м

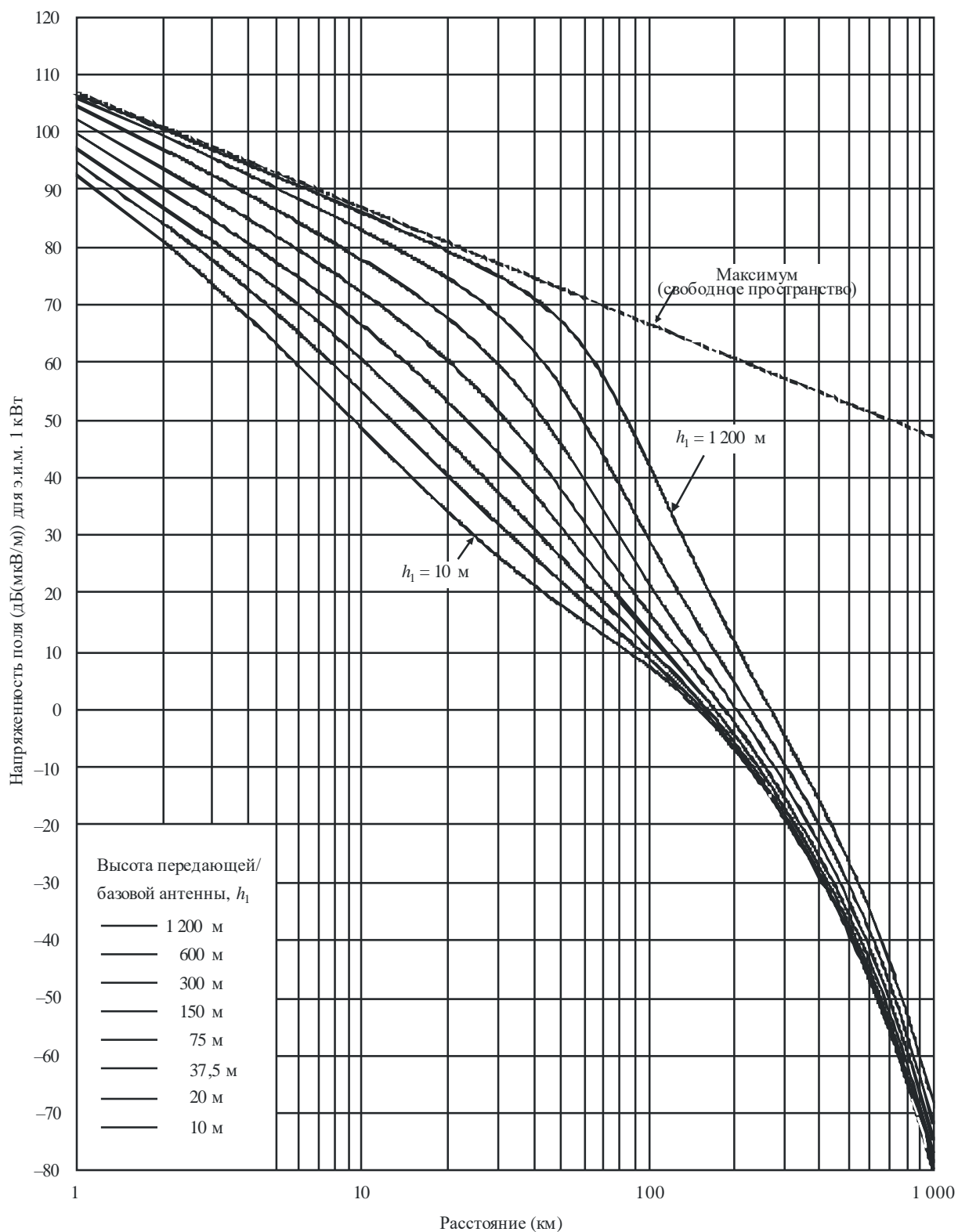
### Приложение 3

#### Диапазон частот от 300 МГц до 1000 МГц

- 1** Кривые зависимости напряженности поля от расстояния в настоящем Приложении приведены для частоты 600 МГц. Их можно применять для частот в диапазоне от 300 МГц до 1000 МГц, но при этом для повышения точности следует использовать процедуру, описанную в п. 6 Приложения 5. Ту же процедуру необходимо использовать и для табулированных значений зависимости напряженности поля от расстояния (см. п. 3 Приложения 1).
- 2** Кривые на рисунках 9–11 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% местоположений в пределах любой зоны размером приблизительно 500 м на 500 м и в течение 50%, 10% и 1% времени для сухопутных трасс.
- 3** Распределение напряженности поля в зависимости от процента местоположений можно рассчитать по данным, приведенным в п. 12 Приложения 5.
- 4** Кривые на рисунках 12–16 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% местоположений в течение 50%, 10% и 1% времени для морских трасс, проходящих через холодное и теплое моря, например Северное и Средиземное море, соответственно.
- 5** В регионах, в которых наблюдается ярко выраженный эффект суперрефрактивности, необходимо учитывать информацию, содержащуюся в п. 18 Приложения 1.



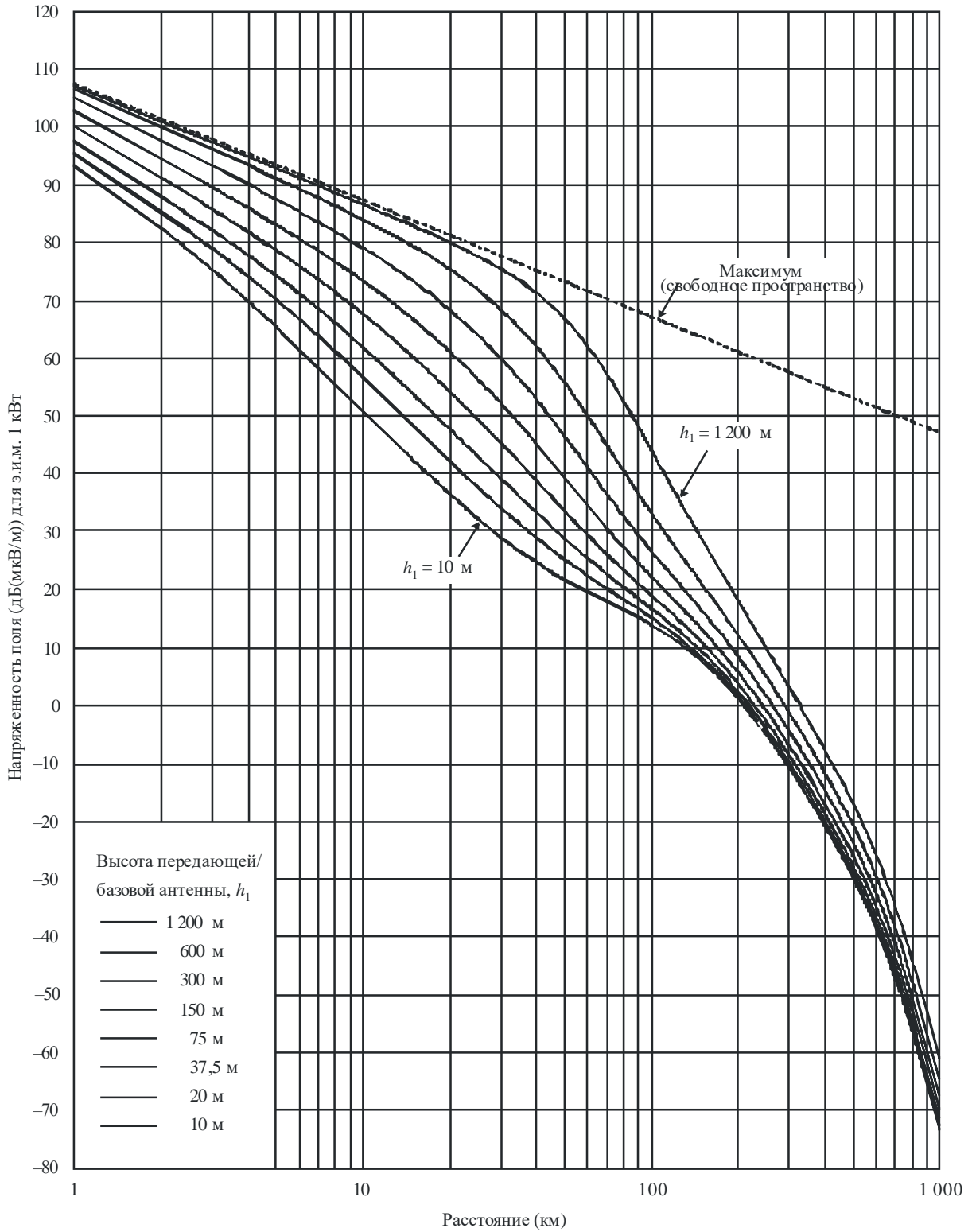
РИСУНОК 9  
600 МГц, сухопутная трасса, 50% времени



50% мест

$h_2$ : репрезентативная высота местного препятствия

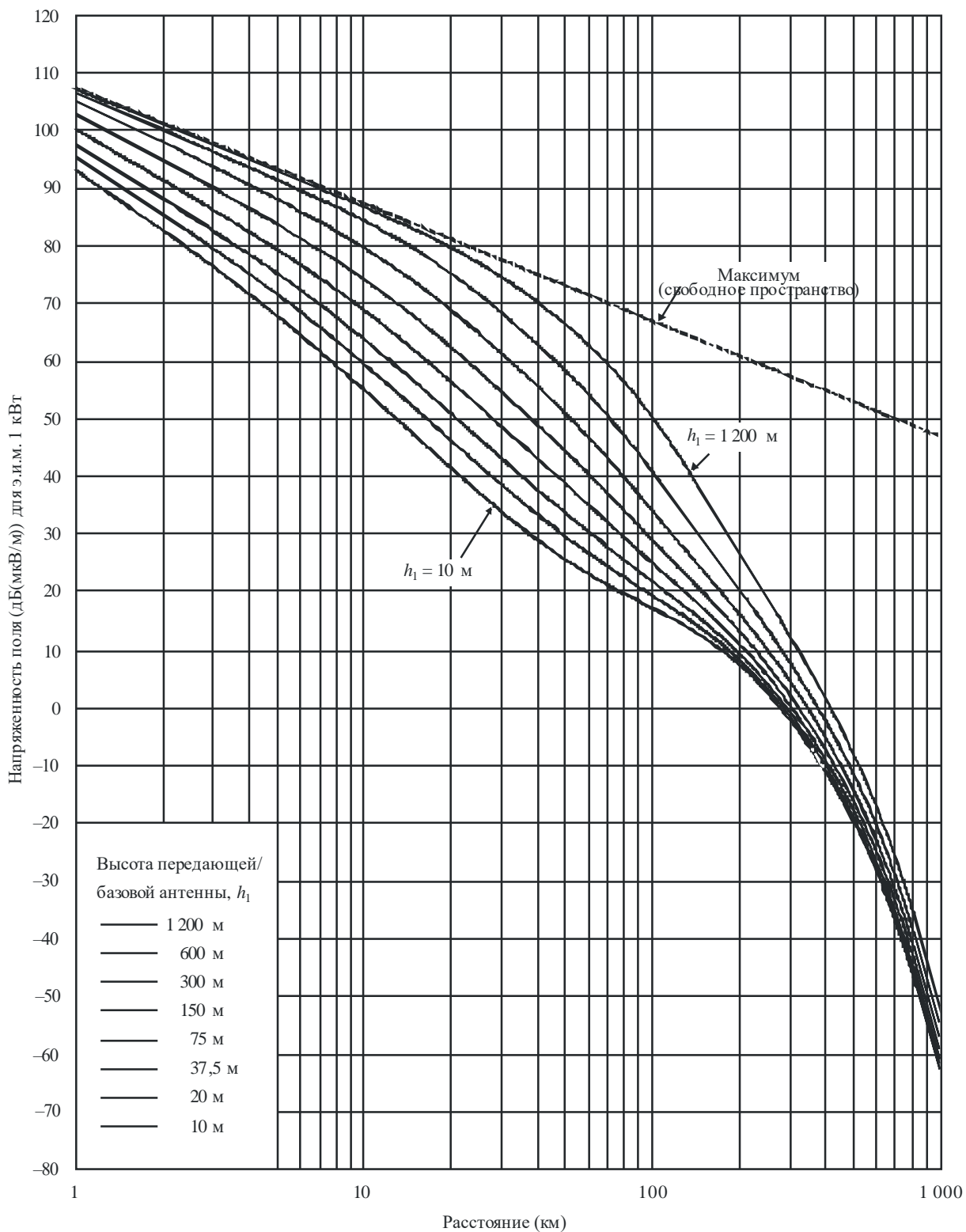
РИСУНОК 10  
600 МГц, сухопутная трасса, 10% времени



50% мест

$h_2$ : репрезентативная высота местного препятствия

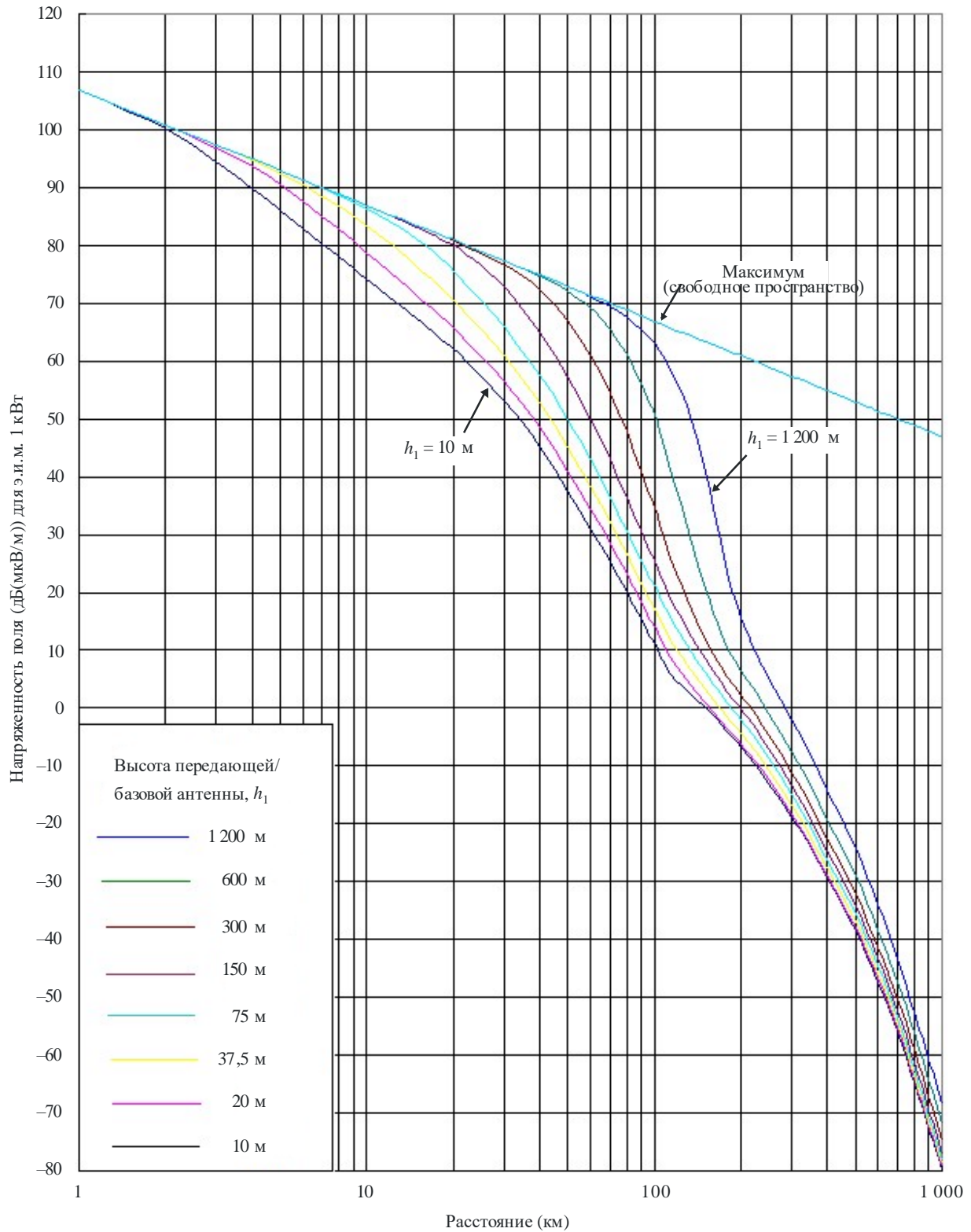
РИСУНОК 11  
600 МГц, сухопутная трасса, 1% времени



50% мест

$h_2$ : репрезентативная высота местного препятствия

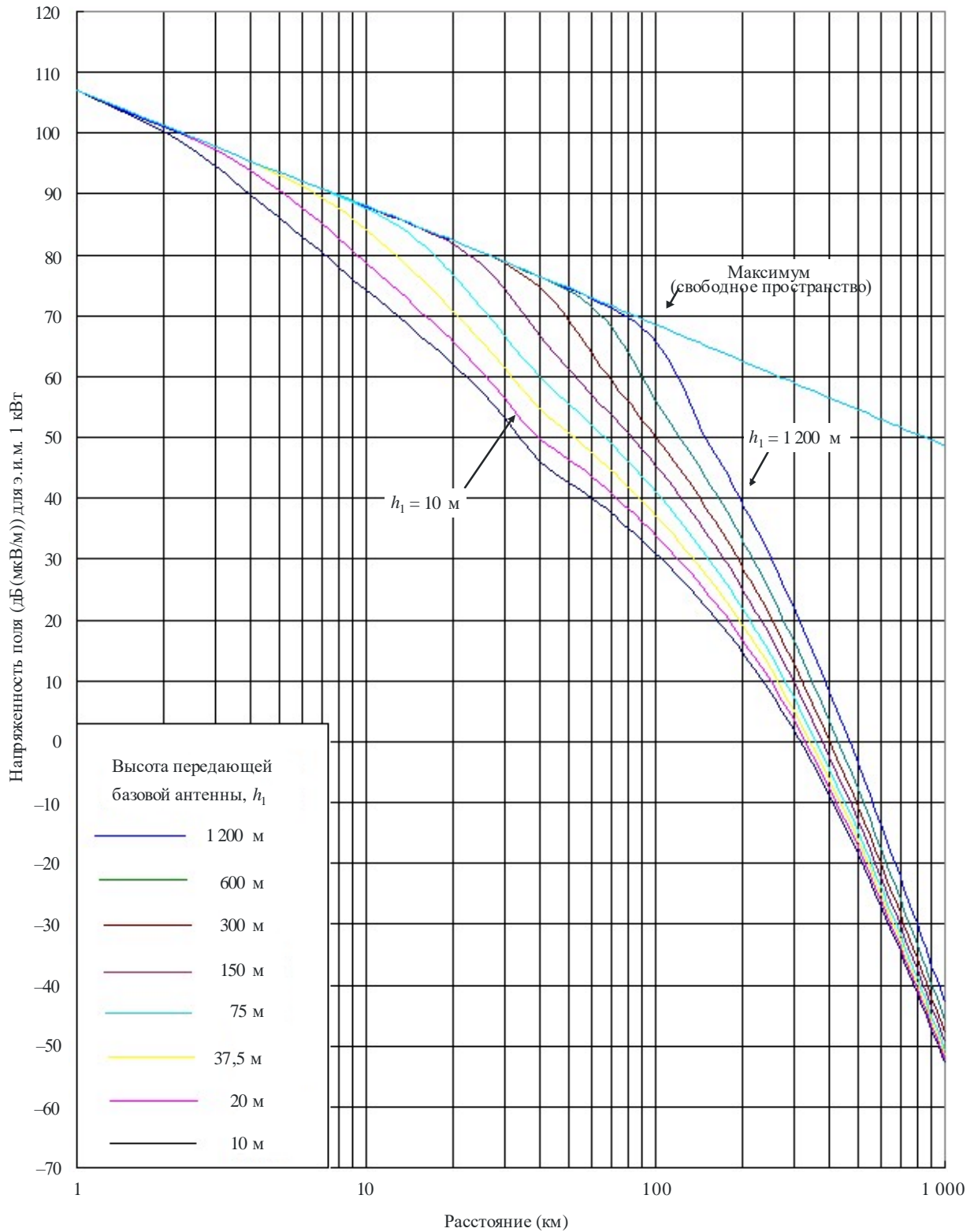
РИСУНОК 12  
600 МГц, морская трасса, 50% времени



50% мест

$h_2 = 10$  м

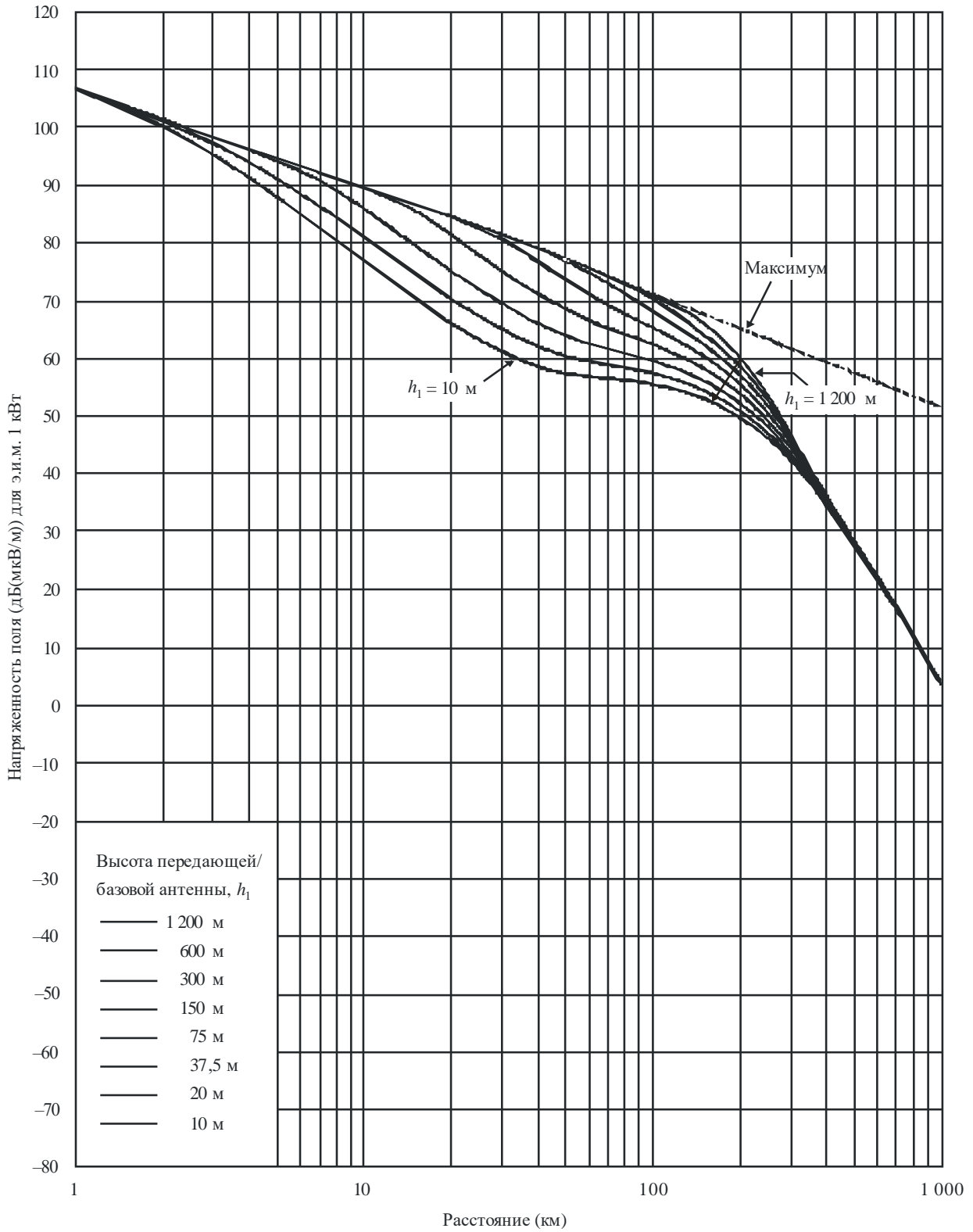
РИСУНОК 13  
600 МГц, трасса над холодным морем, 10% времени



50% мест

$h_2 = 10$  м

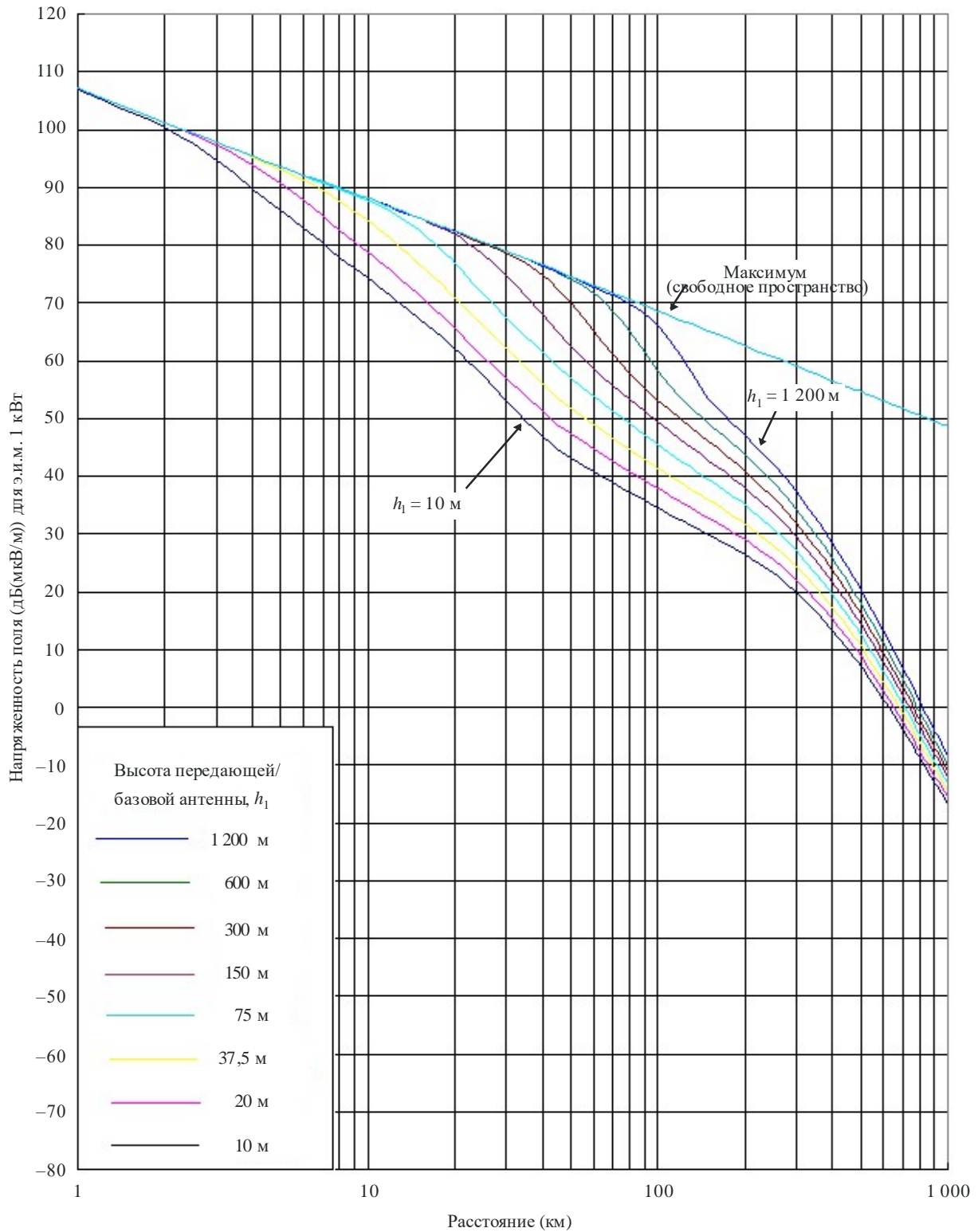
РИСУНОК 14  
600 МГц, трасса над холодным морем, 1% времени



50% мест

$h_2 = 10$  м

РИСУНОК 15  
600 МГц, трасса над теплым морем, 10% времени

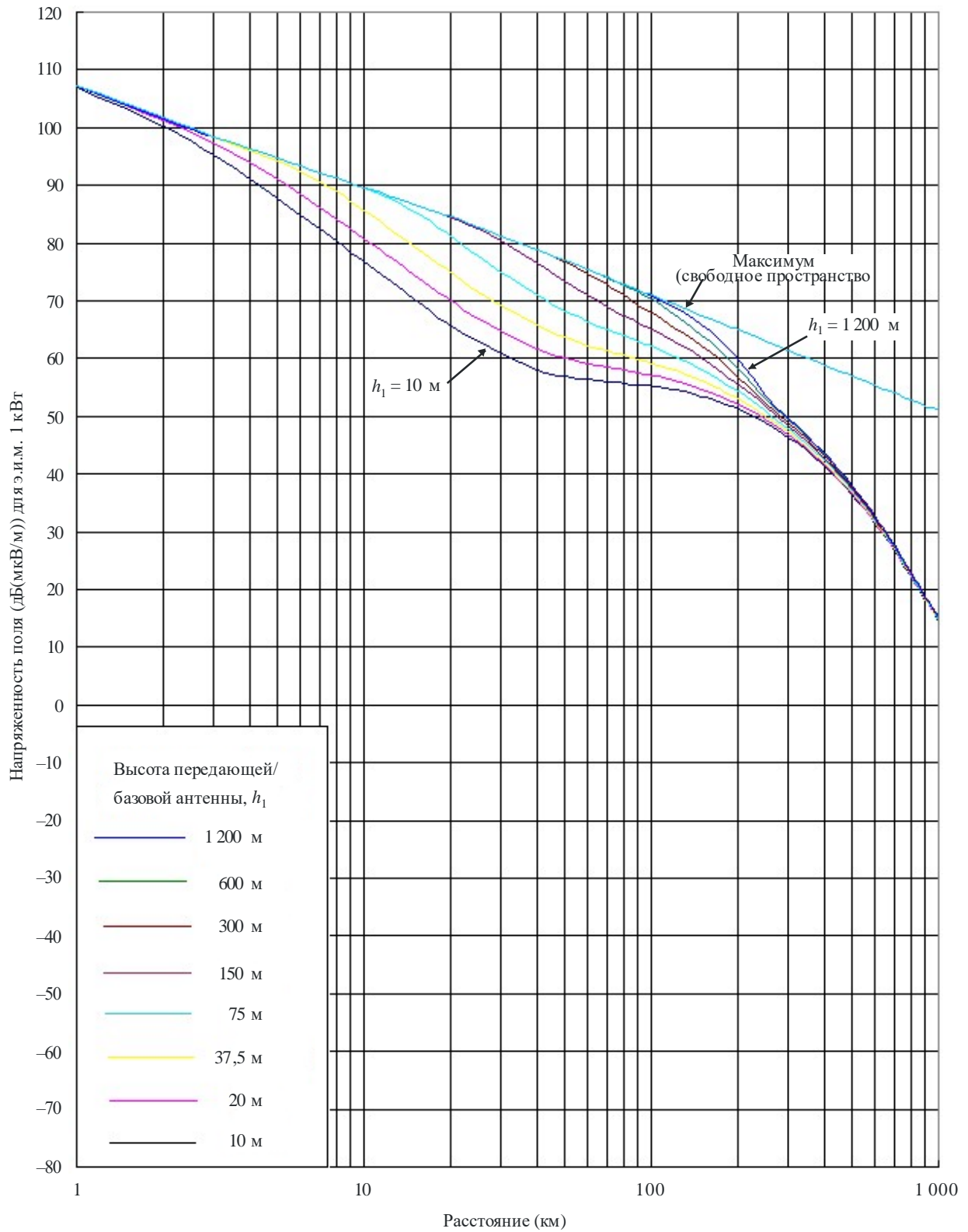


50% мест

$h_2 = 10$  м

РИСУНОК 16

600 МГц, трасса над теплым морем, 1% времени



50% мест

 $h_2 = 10$  м

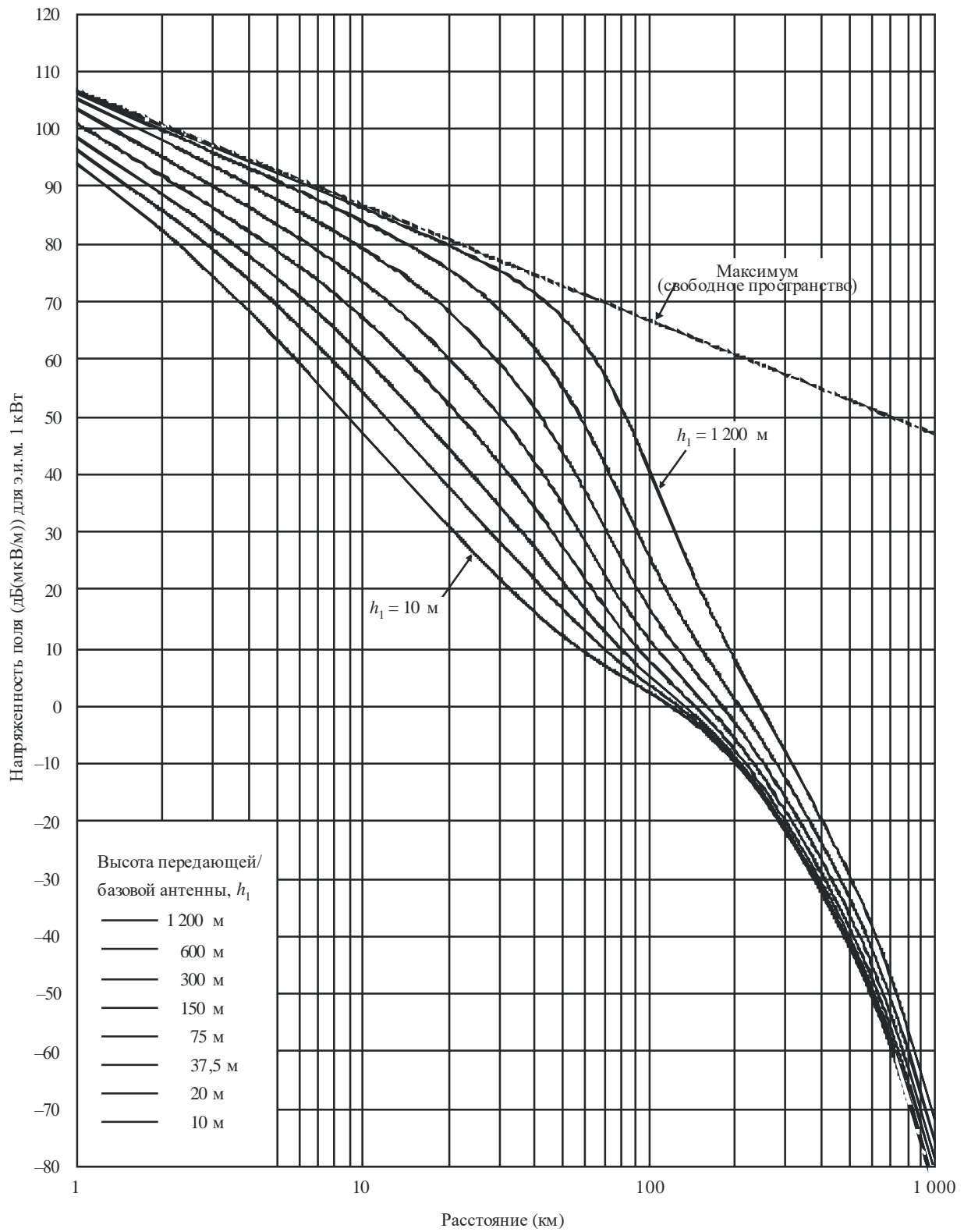


## Приложение 4

### Диапазон частот от 1000 МГц до 4000 МГц

- 1** Кривые зависимости напряженности поля от расстояния в настоящем Приложении приведены для частоты 2000 МГц. Их можно применять для частот в диапазоне от 1000 МГц до 4000 МГц, но при этом для повышения точности следует использовать процедуру, описанную в п. 6 Приложения 5. Ту же процедуру необходимо использовать и для табулированных значений зависимости напряженности поля от расстояния (см. п. 3 Приложения 1).
- 2** Кривые на рисунках 17–19 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% местоположений в пределах любой зоны размером приблизительно 500 м на 500 м в течение 50%, 10% и 1% времени для сухопутных трасс.
- 3** Распределение напряженности поля в зависимости от процента местоположений можно рассчитать по данным, приведенным в п. 12 Приложения 5.
- 4** Кривые на рисунках 20–24 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% местоположений в течение 50%, 10% и 1% времени для морских трасс, проходящих через холодное и теплое моря, например Северное и Средиземное море, соответственно.
- 5** В регионах, в которых наблюдается ярко выраженный эффект суперрефрактивности, необходимо учитывать информацию, содержащуюся в п. 18 Приложения 1.

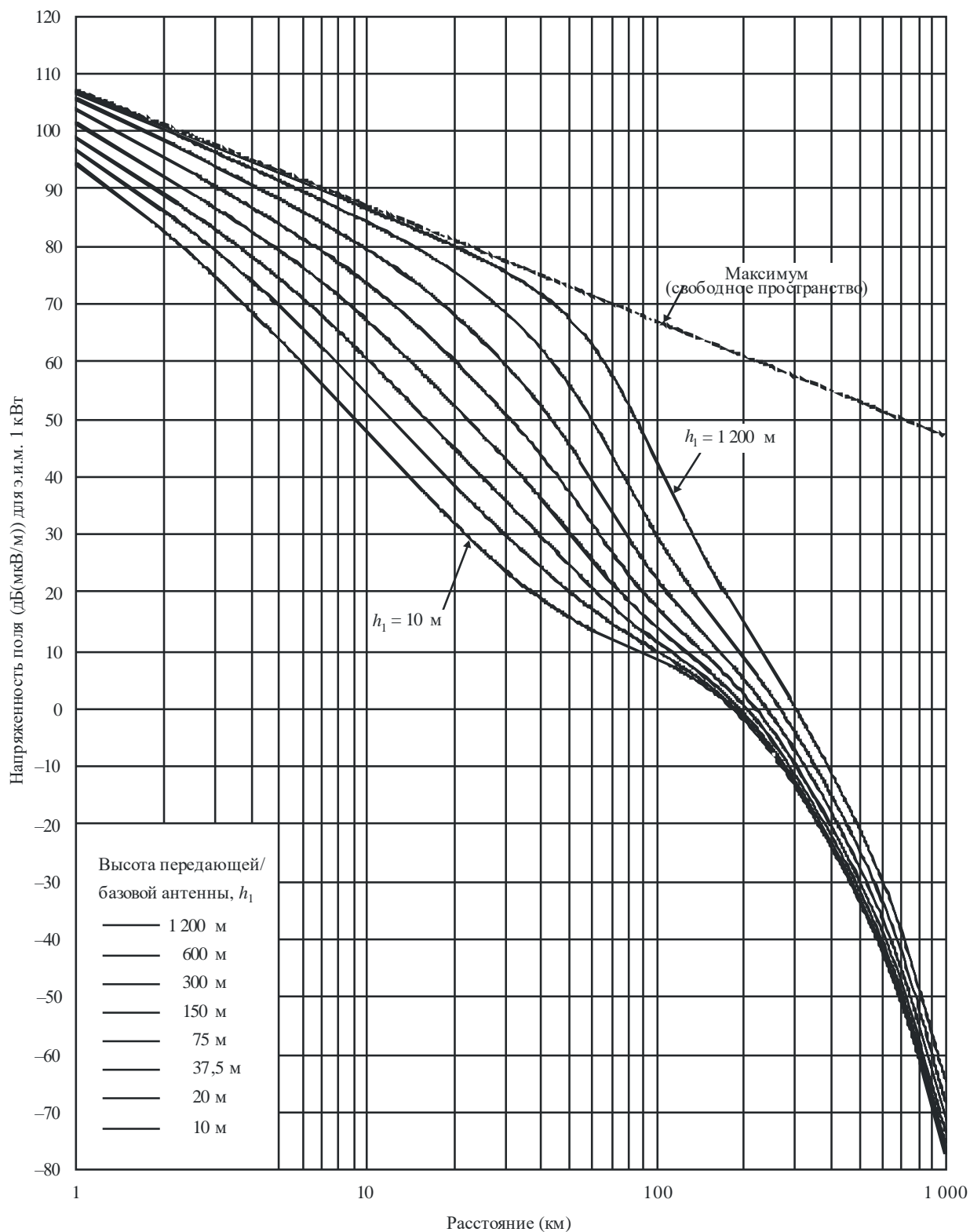
РИСУНОК 17  
2000 МГц, сухопутная трасса, 50% времени



50% мест

$h_2$ : репрезентативная высота местного препятствия

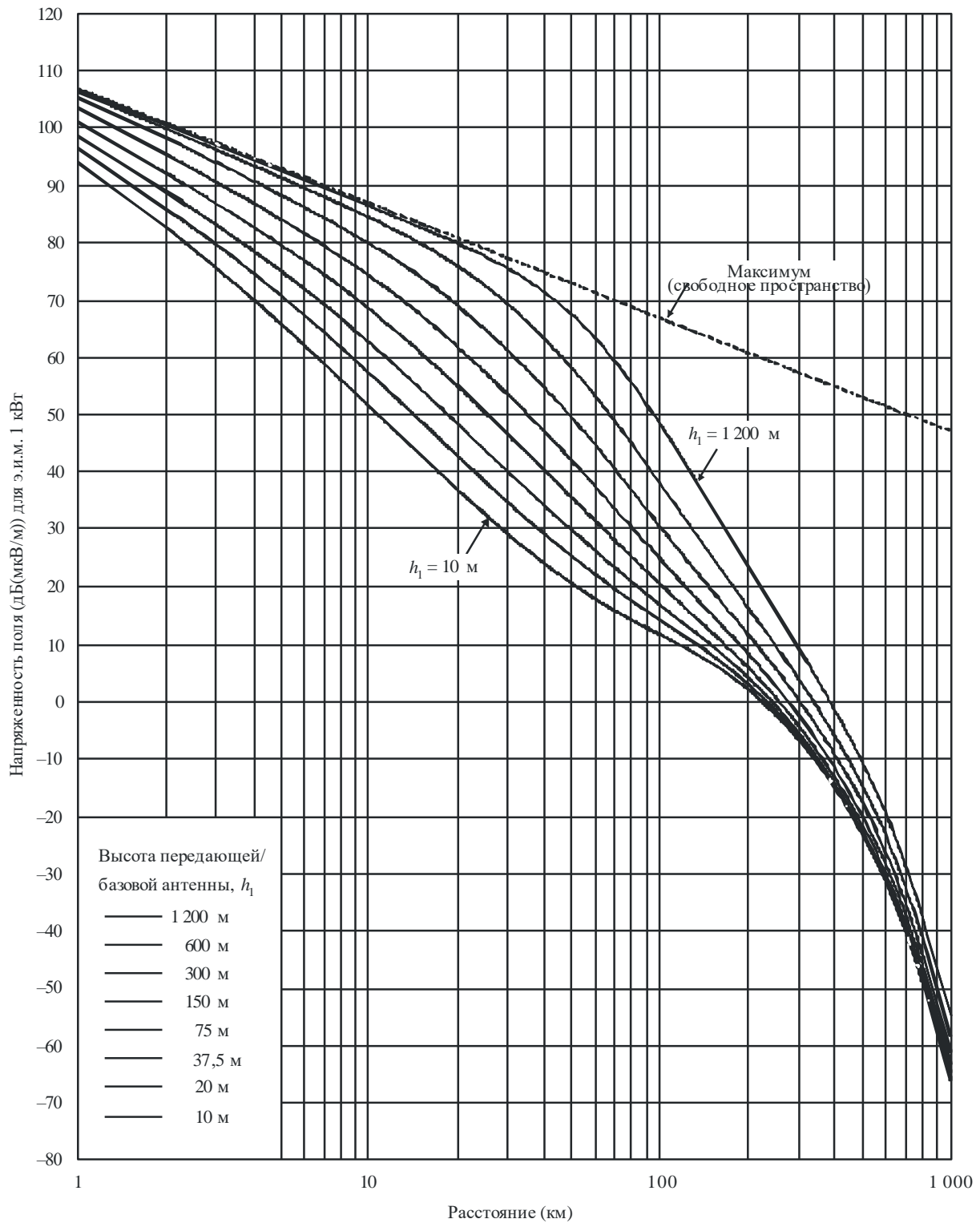
РИСУНОК 18  
2000 МГц, сухопутная трасса, 10% времени



50% мест

$h_2$ : репрезентативная высота местного препятствия

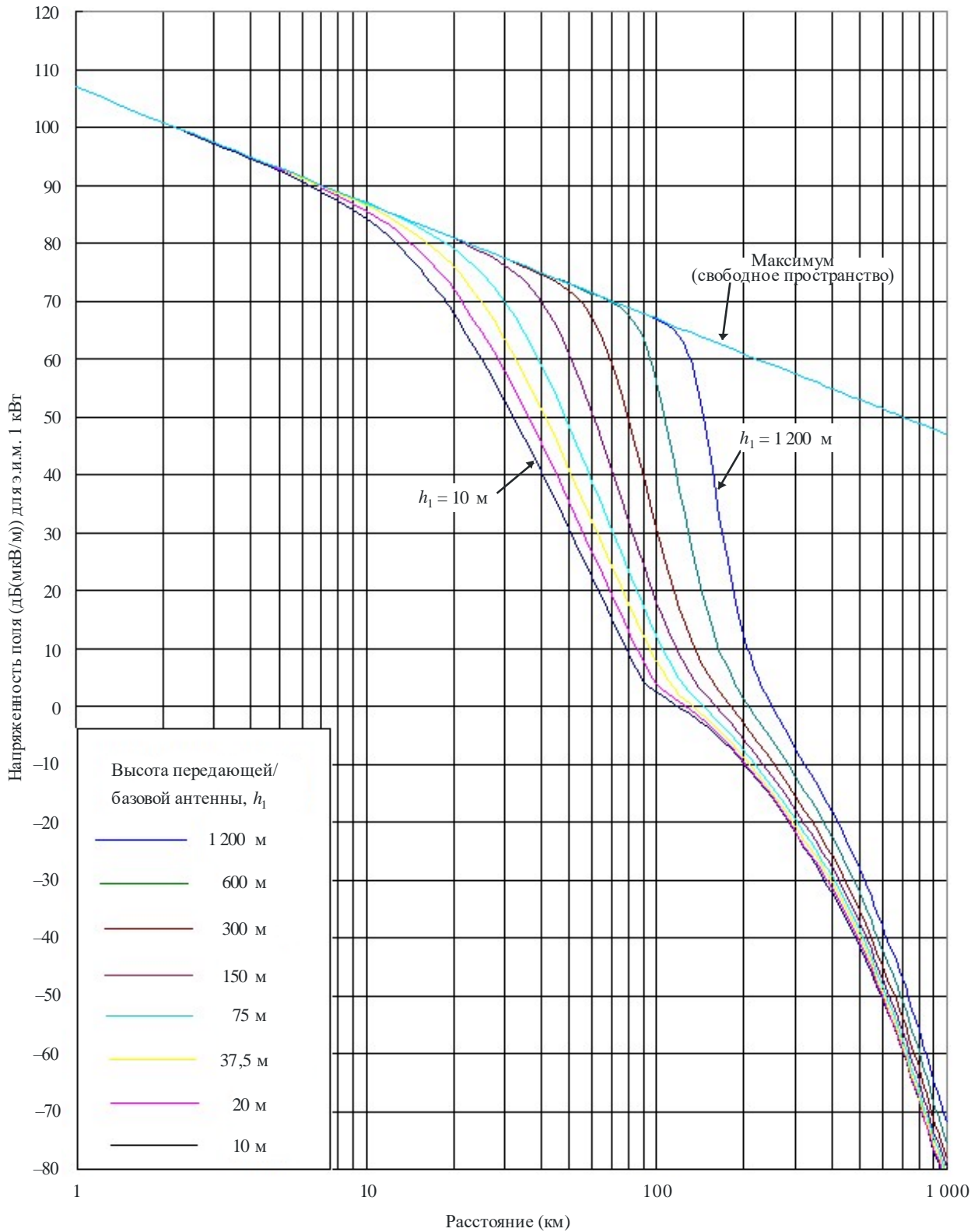
РИСУНОК 19  
2000 МГц, сухопутная трасса, 1% времени



50% мест

$h_2$ : репрезентативная высота местного препятствия

РИСУНОК 20  
2000 МГц, морская трасса, 50% времени

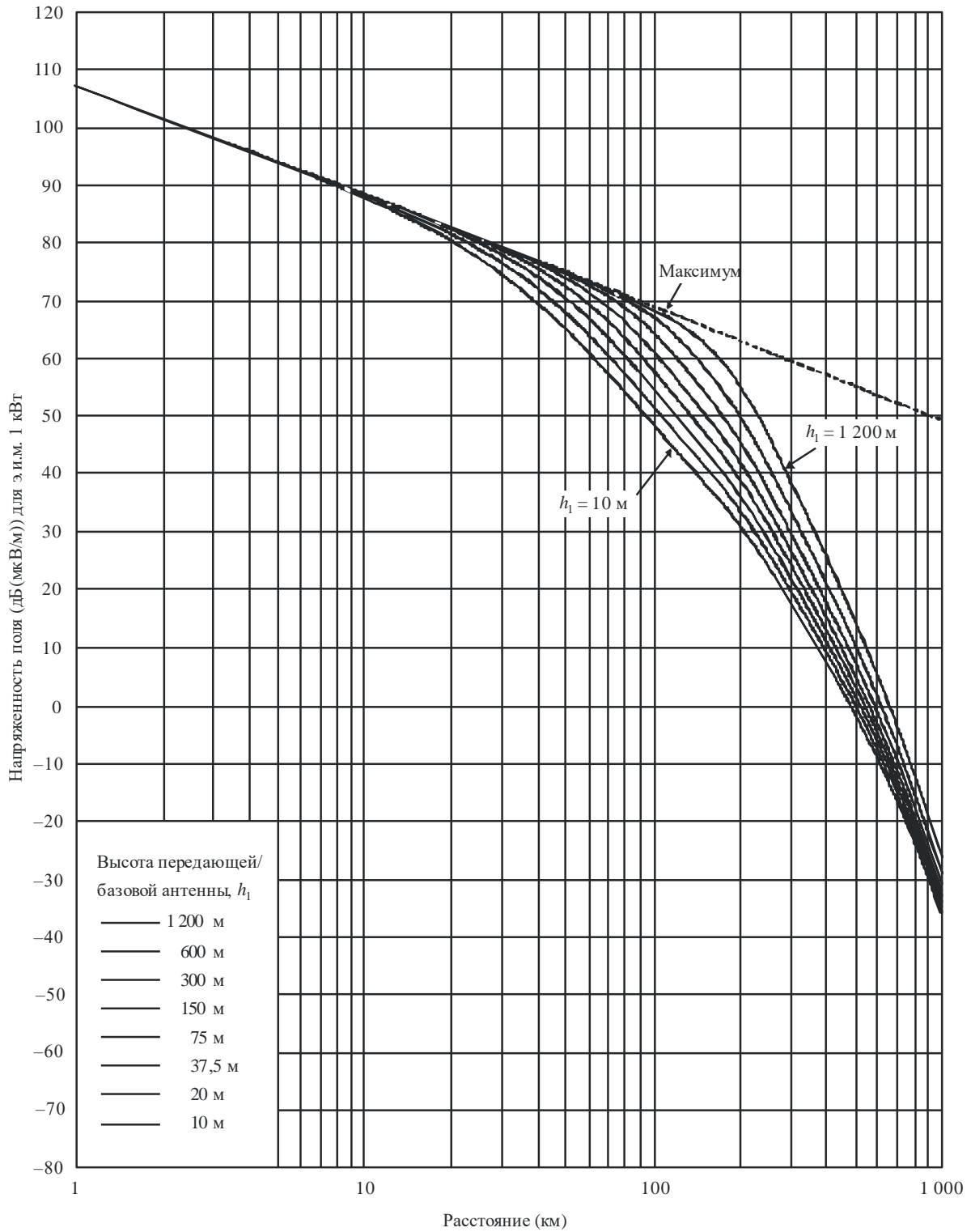


50% мест

$h_2 = 10$  м

РИСУНОК 21

2000 МГц, трасса над холодным морем, 10% времени

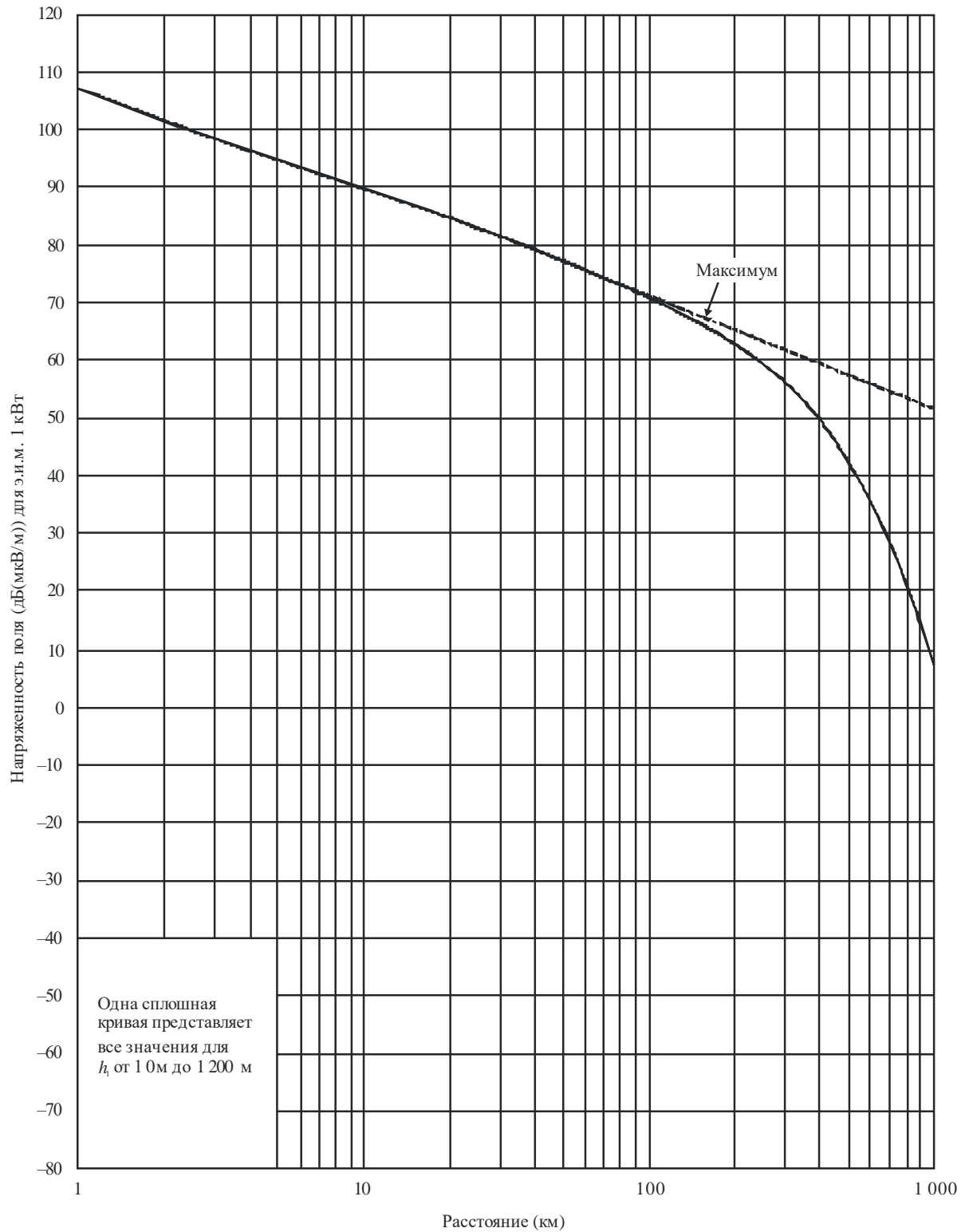


50% мест

$h_2 = 10$  м

РИСУНОК 22

2000 МГц, трасса над холодным морем, 1% времени

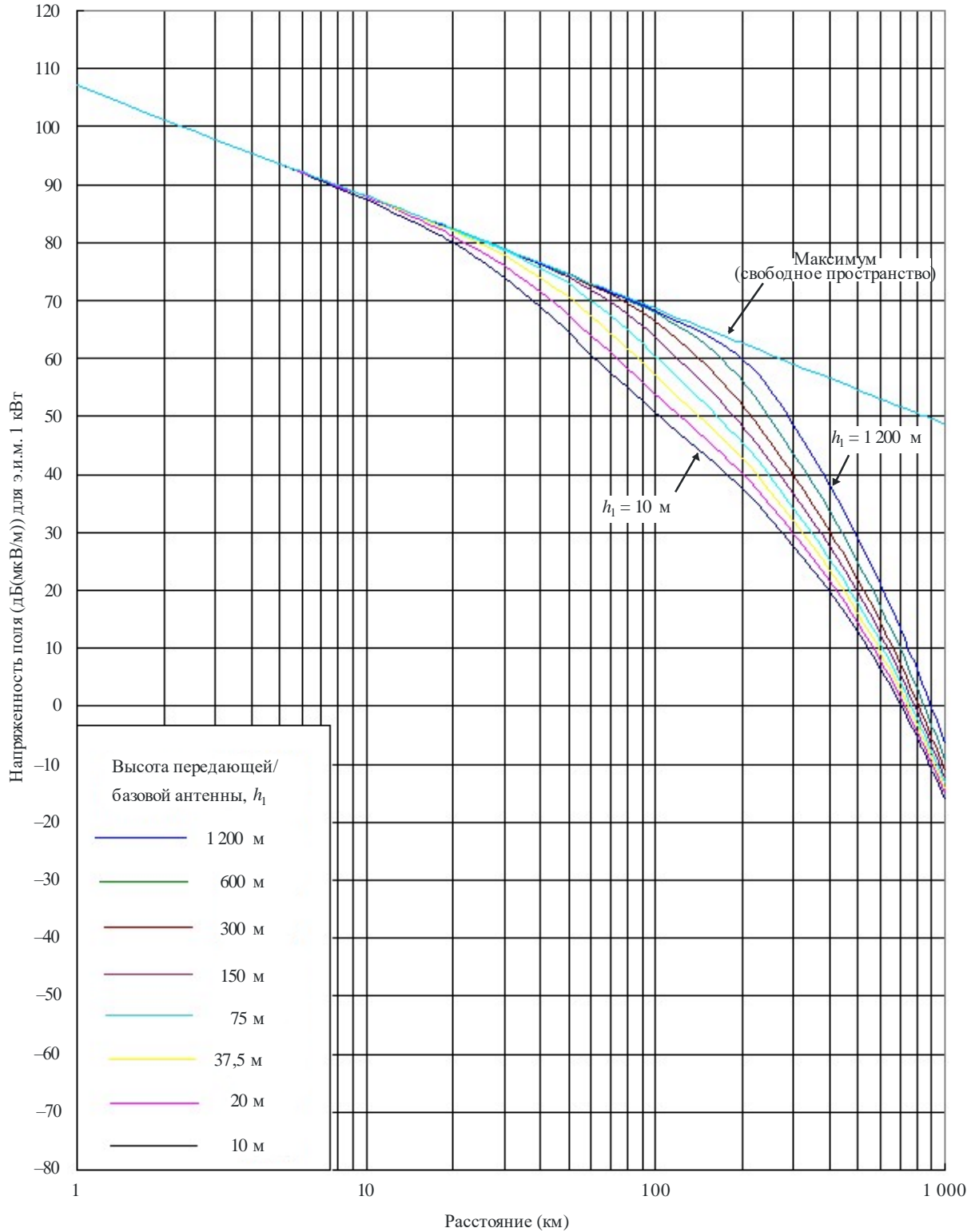


50% мест

 $h_2 = 10$  м

РИСУНОК 23

2000 МГц, трасса над теплым морем, 10% времени

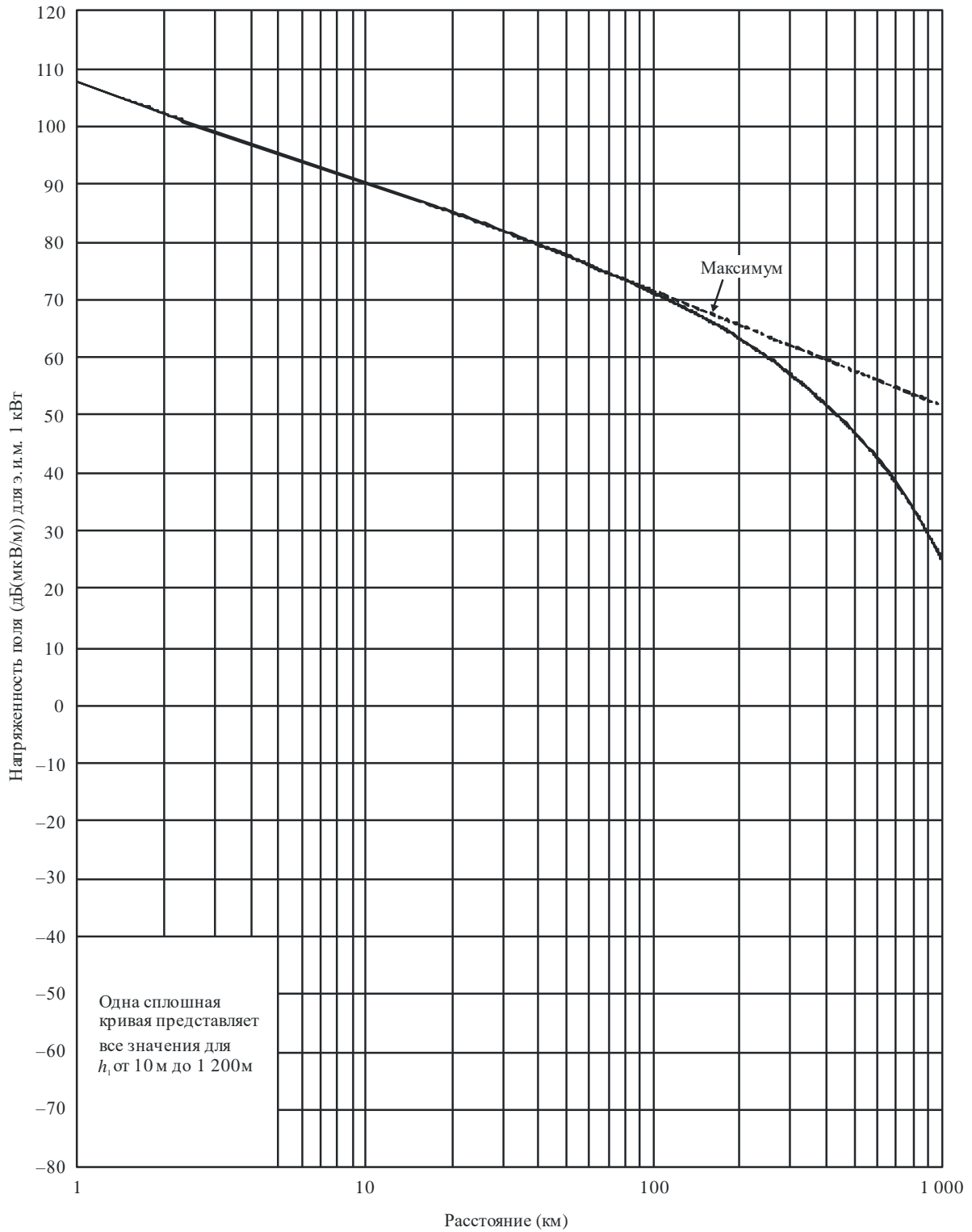


50% мест

 $h_2 = 10$  м



РИСУНОК 24  
2000 МГц, трасса над теплым морем, 1% времени



50% мест

$h_2 = 10$  м

## Приложение 5

### Дополнительная информация и методы для реализации метода прогнозирования

#### 1 Введение

В настоящем Приложении описываются отдельные стадии расчетов, не соблюдая порядок выполнения расчета. Последовательное описание всех шагов метода, которому необходимо следовать, приводится в Приложении 6.

В пп. 2–7 настоящего Приложения описываются методы получения напряженности поля из семейства кривых с помощью интерполяции для расстояния  $h_1$ , частоты и процента времени. В п. 8 приводится описание получения напряженности поля для смешанной трассы, состоящей из сухопутных и морских участков. В пп. 9–14 даются поправки, которые следует добавлять для повышения точности к прогнозируемому уровню напряженности поля. В п. 15 описан метод для трасс протяженностью менее 1 км. В пп. 16–18 содержится вспомогательная информация.

#### 1.1 Обозначения терминалов

Обозначения передающей/базовой станции и приемной(ого)/подвижной(ого) станции/терминала в настоящей Рекомендации не эквивалентны. Если данная Рекомендация используется для расчета зоны покрытия или для координации радиовещательных и/или базовых и подвижных станций, то существующая передающая/базовая станция должна рассматриваться в качестве "передающей/базовой". Для других случаев, когда априори отсутствуют какие-либо основания рассматривать какой-либо из терминалов в качестве "передающего/базового", предлагается следующий порядок выбора терминала для обозначения его в качестве "передающей/базовой" станции для целей настоящей Рекомендации:

- если оба терминала расположены на уровне или ниже уровней находящихся по соседству препятствий, в качестве "передающей/базовой" станции должен рассматриваться терминал с наибольшей высотой над уровнем земли;
- если один терминал расположен на открытой местности или над находящимися по соседству препятствиями, а другой терминал расположен на уровне или ниже уровня местный препятствий, в качестве "передающей/базовой" станции должен рассматриваться открытый/не подверженный влиянию местного препятствия терминал;
- если оба терминала открыты/не подвержены влиянию местного препятствия, в качестве "передающей/базовой" станции должен рассматриваться терминал, имеющий большую эффективную высоту.

#### 2 Максимальные значения напряженности поля

Напряженность поля не должна превышать максимального значения  $E_{max}$ , которое определяется следующим образом:

$$E_{max} = E_{fs} \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для сухопутных трасс} \quad (1a)$$

$$E_{max} = E_{fs} + E_{se} \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для морских трасс,} \quad (1b)$$

где  $E_{fs}$  – напряженность поля в свободном пространства для э.и.м. 1 кВт, определяемая как:

$$E_{fs} = 106,9 - 20 \log(d) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad (2)$$

и  $E_{se}$  – усиление, возникающее для кривых для морских трасс и определяемое как:

$$E_{se} = 2,38 \{1 - \exp(-d/8,94)\} \log(50/t) \quad \text{дБ,} \quad (3)$$

где:

- $d$ : расстояние (км);  
 $t$ : процент времени.

В принципе нельзя допускать, чтобы любая поправка, которая повышает напряженность поля, давала значения, превышающие эти пределы для рассматриваемого семейства кривых и расстояния. Однако ограничение максимальных значений следует применять только в случаях, указанных в Приложении 6.

### 3 Определение высоты передающей/базовой антенны, $h_1$

Используемая в расчетах высота передающей/базовой антенны,  $h_1$ , зависит от типа и длины трасса и от различных элементов данных о высоте, которые не всегда имеются.

Для морской трассы  $h_1$  соответствует высоте антенны над уровнем моря.

Для сухопутных трасс эффективная высота передающей/базовой антенны,  $h_{eff}$ , определяется как ее высота в метрах над средним уровнем земли на расстояниях 3–15 км от передающей/базовой антенны в направлении приемной/подвижной антенны. Если значение эффективной высоты передающей/базовой антенны,  $h_{eff}$ , не известно, эту высоту следует оценить из общей географической информации.

Значение  $h_1$ , которое должно использоваться в расчетах, получают с использованием метода, приведенного в пп. 3.1, 3.2 или 3.3, в зависимости от случая.

#### 3.1 Сухопутная трасса длиной менее 15 км

Для сухопутных трасс менее 15 км следует использовать один из приведенных ниже двух методов.

##### 3.1.1 Отсутствие информации о рельефе местности

В случае отсутствия информации о рельефе местности при составлении прогнозов распространения значение  $h_1$  рассчитывают в соответствии с длиной трассы  $d$  следующим образом:

$$h_1 = h_a \quad \text{м} \quad \text{для} \quad d \leq 3 \text{ км} \quad (4)$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a)(d - 3)/12 \quad \text{м} \quad \text{для} \quad 3 \text{ км} < d < 15 \text{ км}, \quad (5)$$

где  $h_a$  – высота антенны над землей (например, высота мачты).

##### 3.1.2 Наличие информации о рельефе местности

В случае наличия информации о рельефе местности при прогнозировании распространения:

$$h_1 = h_b \quad \text{м}, \quad (6)$$

где  $h_b$  – высота антенны над высотой рельефа местности, усредненной для расстояний в диапазоне  $0,2d$  и  $d$  км. Следует отметить, что использование этого метода для определения  $h_1$  может сопровождаться немонотонным моделированием в прогнозируемой напряженности поля при расстоянии свыше 15 км. Притом что в действительности это может быть так, такое моделирование с использованием данной модели может быть нежелательным для некоторых приложений. Учитывая, что следует избегать немонотонного моделирования, величина  $h_1$  должна быть установлена на уровне значения, характерного для таких случаев.

#### 3.2 Сухопутные трассы длиной 15 км и более

Для этих трасс:

$$h_1 = h_{eff} \quad \text{м}. \quad (7)$$

### 3.3 Морские трассы

Понятие  $h_1$  для полностью морских трасс определяют как физическую высоту антенны над поверхностью моря. Настоящая Рекомендация ненадежна для морской трассы при значениях  $h_1$  меньше приблизительно 3 м, и следует соблюдать абсолютный нижний предел в 1 м.

## 4 Применение высоты передающей/базовой антенны, $h_1$

Значение  $h_1$  определяет выбор кривой или кривых, из которых надо получить значения напряженности поля, а также экстраполяцию или интерполяцию, которая может потребоваться. При этом выделяют следующие случаи.

### 4.1 Высота передающей/базовой антенны, $h_1$ , в диапазоне 10–3000 м

Если значение  $h_1$  совпадает с одним из восьми значений высоты, для которых приведены кривые, а именно 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 или 1200 м, то требуемую напряженность поля можно получить непосредственно из приведенной на графике кривой или соответствующих табулированных значений. В противном случае требуемая напряженность поля должна быть интерполирована или экстраполирована из значений напряженности поля, полученных из двух кривых, с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(h_1 / h_{inf}) / \log(h_{sup} / h_{inf}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (8)$$

где:

$h_{inf}$ : 600 м, если  $h_1 > 1200$  м, в противном случае ближайшая номинальная эффективная высота меньше  $h_1$ ;

$h_{sup}$ : 1200 м, если  $h_1 > 1200$  м, в противном случае ближайшая номинальная эффективная высота больше  $h_1$ ;

$E_{inf}$ : значение напряженности поля для  $h_{inf}$  на требуемом расстоянии;

$E_{sup}$ : значение напряженности поля для  $h_{sup}$  на требуемом расстоянии.

Напряженность поля, получающаяся при экстраполяции для  $h_1 > 1200$  м, должна быть при необходимости ограничена так, чтобы она не превышала максимум, определенный в п. 2.

Настоящая Рекомендация не действительна для  $h_1 > 3000$  м.

### 4.2 Высота передающей/базовой антенны, $h_1$ , в диапазоне 0–10 м

Метод для  $h_1$  меньше 10 м зависит от того, проходит ли трасса над сушей или над морем.

*Для сухопутной трассы:*

Для сухопутной трассы напряженность поля на требуемом расстоянии  $d$  км для  $0 \leq h_1 < 10$  м рассчитывается с использованием уравнения:

$$E = E_{zero} + 0,1h_1(E_{10} - E_{zero}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (9)$$

где:

$$E_{zero} = E_{10} + 0,5(C_{1020} + C_{h1neg10}) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad (9a)$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20} \quad \text{дБ} \quad (9b)$$

$C_{h1neg10}$ : поправка  $C_{h1}$  в рассчитанной в дБ формуле (12), содержащейся в п. 4.3, ниже, на требуемом расстоянии для  $h_1 = -10$  м;

$E_{10}$  и  $E_{20}$ : напряженности поля в дБ(мкВ/м), рассчитанные согласно п. 4.1, выше, на требуемом расстоянии для  $h_1 = 10$  м и  $h_1 = 20$  м, соответственно.

Следует иметь в виду, что поправки  $C_{1020}$  и  $C_{h1neg10}$  должны стремиться к отрицательным величинам.

Для морской трассы:

Следует отметить, что для морской трассы  $h_1$  не должна быть меньше 1 м. Для этой процедуры требуется расстояние, при котором трасса имеет свободное от препятствий пространство в 0,6 первой зоны Френеля от поверхности моря. Это задается уравнением:

$$D_{h1} = D_{06}(f, h_1, 10) \quad \text{км}, \quad (10a)$$

где  $f$  – номинальная частота (МГц), а функция  $D_{06}$  определена в п. 15.

Если  $d > D_{h1}$ , то нужно также рассчитать расстояние просвета, составляющее 0,6 зоны Френеля, для морской трассы при высоте передающей/базовой антенны 20 м, которое определяется следующим образом:

$$D_{20} = D_{06}(f, 20, 10) \quad \text{км}. \quad (10b)$$

Тогда напряженность поля для требуемого расстояния  $d$  и значения  $h_1$  определяется следующим образом:

$$E = E_{max} \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для} \quad d \leq D_{h1} \quad (11a)$$

$$= E_{Dh1} = (E_{D20} - E_{Dh1}) \log(d/D_{h1}) / \log(D_{20}/D_{h1}) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для} \quad D_{h1} < d < D_{20} \quad (11b)$$

$$= E'(1 - F_s) + E''F_s \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для} \quad d \geq D_{20}, \quad (11c)$$

где:

$E_{max}$ : максимальное значение напряженности поля для требуемого расстояния, определяемое в п. 2;

$E_{Dh1}$ :  $E_{max}$  для расстояния  $D_{h1}$  в соответствии с п. 2;

$E_{D20}$ :  $E_{10}(D_{20}) + (E_{20}(D_{20}) - E_{10}(D_{20})) \log(h_1/10) / \log(20/10)$ ;

$E_{10}(x)$ : напряженность поля для  $h_1 = 10$  м, интерполированная для расстояния  $x$ ;

$E_{20}(x)$ : напряженность поля для  $h_1 = 20$  м, интерполированная для расстояния  $x$ ;

$E'$ :  $E_{10}(d) + (E_{20}(d) - E_{10}(d)) \log(h_1/10) / \log(20/10)$ ;

$E''$ : напряженность поля для расстояния  $d$ , рассчитанная с помощью уравнения (9);

$F_s$ :  $(d - D_{20})/d$ .

### 4.3 Отрицательные значения высоты передающей/базовой антенны, $h_1$

Для сухопутных трасс эффективная высота передающей/базовой антенны,  $h_{eff}$ , может иметь отрицательное значение, поскольку ее получают на основе средней высоты рельефа местности на расстояниях 3–15 км. Поэтому  $h_1$  может оказаться отрицательной. В этом случае следует учитывать влияние дифракции, вызываемой близлежащими естественными препятствиями.

Процедура для отрицательных значений  $h_1$  состоит в получении значения напряженности поля для  $h_1 = 0$ , как описано в п. 4.2, и добавлении поправки  $C_{h1}$ , рассчитываемой приведенным ниже способом.

Влияние дифракционных потерь учитывается с помощью поправки,  $C_{h1}$ , которая определяется в случаях а) и б) следующим образом:

- а) В случае, если база данных о рельефе местности имеется, а потенциальная возможность перелома кривой при переходе вблизи  $h_1 = 0$  не имеет значения при применении данной Рекомендации, то угол просвета местности  $\theta_{eff}$  от передающей/базовой антенны необходимо рассчитывать как угол места для линии, которая как раз проходит, не задевая все препятствия на местности на расстоянии до 15 км от передающей/базовой антенны в направлении приемной/подвижной антенны (но не проходит за нее). Этот угол просвета, который должен иметь положительное значение, следует использовать вместо  $\theta_{ica}$  в уравнении (32с) в методе поправки на угол просвета местности, приведенном в п. 11, чтобы получить  $C_{h1d}$ . Следует иметь в виду, что применение этого метода может привести к перелому кривой напряженности поля при переходе вблизи  $h_1 = 0$ .

- б) В случае, если база данных о рельефе местности отсутствует, или если база данных о рельефе местности имеется, но данный метод не должен привести к перелому кривой напряженности поля при переходе вблизи  $h_1 = 0$ , то (положительный) эффективный угол просвета местности  $\theta_{eff2}$  можно рассчитать в предположении наличия препятствия высотой  $h_1$  на расстоянии 9 км от передающей/базовой антенны. Следует отметить, что этот метод используется для трасс любой длины, даже если они короче 9 км. Другими словами, местность считают приблизительно соответствующей неравномерному клину на расстоянии 3–15 км от передающей/базовой антенны, среднее значение для которого получается при 9 км, как показано на рисунке 25. Этот метод не так явно учитывает изменения рельефа, зато гарантирует также отсутствие перелома кривой напряженности поля при переходе вблизи  $h_1 = 0$ . Поправка, которая добавляется к напряженности поля в этом случае, рассчитывается по следующему уравнению:

$$C_{h_1} = 6,03 - J(v) \quad \text{дБ}, \quad (12)$$

где:

$$J(v) = \left[ 6,9 + 20 \log \left( \sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \right] \text{ при } v > -0,7806 \quad (12a)$$

$$J(v) = 0, \text{ иначе} \quad (12b)$$

$$v = K_v \theta_{eff2} \quad (12c)$$

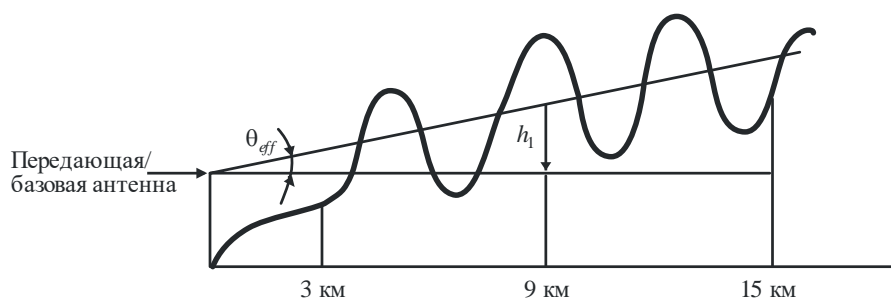
и

$$\theta_{eff2} = \arctan(-h_1 / 9\,000) \quad \text{градусы} \quad (12d)$$

$K_v = 1,35$	для 100 МГц
$K_v = 3,31$	для 600 МГц
$K_v = 6,00$	для 2000 МГц.

РИСУНОК 25

Эффективный угол просвета для  $h_1 < 0$



$\theta_{eff}$ : эффективный угол просвета местности (позитивный)  
 $h_1$ : использованная в расчетах высота передающей/  
базовой антенны

P.1546-25

Эту поправку, значение которой всегда меньше нуля, добавляют к значению напряженности поля, полученному для  $h_1 = 0$ .

## 5 Интерполяция напряженности поля в зависимости от расстояния

На рисунках 1–24 показаны графики зависимости напряженности поля от расстояния  $d$  в диапазоне 1–1000 км. Не требуется никакой интерполяции для расстояния, если значения напряженности поля считываются непосредственно по этим графикам. Для повышения точности и для предоставления возможности использования компьютера для расчетов значения напряженности поля следует получать из соответствующих таблиц (см. п. 3 Приложения 1). В этом случае, если только  $d$  не совпадает с одним из табулированных расстояний (таблица 1), напряженность поля  $E$  (дБ(мкВ/м)) необходимо линейно интерполировать по логарифму расстояния с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(d / d_{inf}) / \log(d_{sup} / d_{inf}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (13)$$

где:

- $d$ : расстояние, для которого требуется прогноз;
- $d_{inf}$ : ближайшее расстояние по таблице, меньшее чем  $d$ ;
- $d_{sup}$ : ближайшее расстояние по таблице, большее чем  $d$ ;
- $E_{inf}$ : значение напряженности поля для  $d_{inf}$ ;
- $E_{sup}$ : значение напряженности поля для  $d_{sup}$ .

Настоящая Рекомендация не действительна для значений  $d$  больше 1000 км.

## 6 Интерполяция и экстраполяция напряженности поля в зависимости от частоты

Значения напряженности поля для требуемой частоты следует получать путем интерполяции между значениями для номинальных частот в 100, 600 и 2000 МГц. Для частот ниже 100 МГц или выше 2000 МГц интерполяция должна быть заменена экстраполяцией от двух самых близких значений номинальной частоты. Для большинства трасс можно использовать интерполяцию или экстраполяцию логарифма частоты, но для некоторых морских трасс, когда требуемая частота ниже 100 МГц, необходимо использовать другой метод.

Для сухопутных трасс или для морских трасс, если требуемая частота выше 100 МГц, требуемая напряженность поля  $E$  рассчитывается следующим образом:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(f / f_{inf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (14)$$

где:

- $f$ : частота, для которой требуется прогноз (МГц);
- $f_{inf}$ : нижняя номинальная частота (100 МГц при  $f < 600$  МГц, в противном случае 600 МГц);
- $f_{sup}$ : верхняя номинальная частота (600 МГц при  $f < 600$  МГц, в противном случае 2000 МГц);
- $E_{inf}$ : значение напряженности поля для  $f_{inf}$ ;
- $E_{sup}$ : значение напряженности для  $f_{sup}$ .

Напряженность поля, получающаяся при экстраполяции для частоты выше 2000 МГц, должна быть при необходимости ограничена так, чтобы она не превышала максимального значения, приведенного в п. 2.

Для морских трасс с требуемой частотой меньше 100 МГц следует использовать другой метод на основе длины трассы, для которой 0,6 первой зоны Френеля как раз свободно от препятствий на поверхности моря. Метод приблизительного расчета этого расстояния приведен в п. 17.

Этот другой метод необходимо использовать, если выполняются все из перечисленных ниже условий:

- Трасса является морской.
- Требуемая частота ниже 100 МГц.

- Требуемое расстояние меньше расстояния, при котором морская трасса имеет просвет в 0,6 зоны Френеля на частоте 600 МГц, задаваемый с помощью  $D_{06}(600, h_1, 10)$ , как указано в п. 17.

Если не выполняется любое из приведенных выше условий, следует использовать стандартный метод интерполяции или экстраполяции, определяемый уравнением (14).

Если выполняются все приведенные выше условия, то требуемая напряженность поля должна рассчитываться следующим образом:

$$E = E_{max} \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для } d \leq d_f \quad (15a)$$

$$= E_{d_f} + (E_{d_{600}} - E_{d_f}) \log(d/d_f) / \log(d_{600}/d_f) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для } d > d_f, \quad (15b)$$

где:

- $E_{max}$ : максимальное значение напряженности поля на требуемом расстоянии в соответствии с п. 2;
- $E_{d_f}$ : максимальное значение напряженности поля на расстоянии  $d_f$  в соответствии с п. 2;
- $d_{600}$ : расстояние, на котором трасса имеет просвет в 0,6 зоны Френеля на частоте 600 МГц и которое рассчитывается как  $D_{06}(600, h_1, 10)$  в соответствии с п. 17;
- $d_f$ : расстояние, на котором трасса имеет просвет в 0,6 зоны Френеля на требуемой частоте и которое рассчитывается как  $D_{06}(f, h_1, 10)$  в соответствии с п. 17;
- $E_{d_{600}}$ : напряженность поля на расстоянии  $d_{600}$  и на требуемой частоте, рассчитываемая с помощью уравнения (14).

## 7 Интерполяция напряженности поля в зависимости от процента времени

Значения напряженности поля для заданного процента времени между 1% и 50% времени необходимо рассчитывать путем интерполяции между номинальными значениями для 1% и 10% или между номинальными значениями для 10% и 50% времени с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{sup} (Q_{inf} - Q_t) / (Q_{inf} - Q_{sup}) + E_{inf} (Q_t - Q_{sup}) / (Q_{inf} - Q_{sup}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (16)$$

где:

- $t$ : процент времени, для которого требуется прогноз;
- $t_{inf}$ : нижний номинальный процент времени;
- $t_{sup}$ : верхний номинальный процент времени;
- $Q_t$ :  $Q_i(t/100)$ ;
- $Q_{inf}$ :  $Q_i(t_{inf}/100)$ ;
- $Q_{sup}$ :  $Q_i(t_{sup}/100)$ ;
- $E_{inf}$ : значение напряженности поля для процента времени  $t_{inf}$ ;
- $E_{sup}$ : значение напряженности поля для процента времени  $t_{sup}$ .

где  $Q_i(x)$  – обратная дополнительная функция кумулятивного нормального распределения.

Настоящая Рекомендация действительна для значений напряженности поля, превышаемых только в течение процентов времени в диапазоне 1–50%. Интерполяция за пределами диапазона 1–50% времени неприменима.

Приближенное представление функции  $Q_i(x)$  приведено в п. 16 ниже.



ТАБЛИЦА 1

Значения расстояния (км), использованные в таблицах напряженности поля

1	14	55	140	375	700
2	15	60	150	400	725
3	16	65	160	425	750
4	17	70	170	450	775
5	18	75	180	475	800
6	19	80	190	500	825
7	20	85	200	525	850
8	25	90	225	550	875
9	30	95	250	575	900
10	35	100	275	600	925
11	40	110	300	625	950
12	45	120	325	650	975
13	50	130	350	675	1 000

## 8 Смешанные трассы

В приведенном ниже описании метода для смешанных трасс используются  $E_{land}(d)$  и  $E_{sea}(d)$  для обозначения напряженности поля на расстоянии  $d$  от передающей/базовой антенны при репрезентативной высоте местных препятствий на приемной/подвижной антенне,  $R_2$ , для полностью сухопутных и полностью морских трасс, соответственно, с интерполяцией/экстраполяцией при необходимости по высоте передающей/ базовой антенны  $h_1$ , частоте и проценту времени.

Для определения напряженности поля для любой смешанной трассы с сухопутными и морскими участками следует выполнить приведенные ниже шаги. Если трасса одновременно включает участки холодного и теплого моря, для расчета  $E_{sea}(d)$  следует использовать кривые для теплого моря. Значение  $h_1$  необходимо рассчитывать в соответствии с п. 3 Приложения 5, принимая высоту поверхности моря так, как это делается для суши. Обычно это значение  $h_1$  используют как для  $E_{land}(d)$ , так и для  $E_{sea}(d)$ . Однако при  $h_1$  меньше 3 м его следует по-прежнему использовать для  $E_{land}(d)$ , но для  $E_{sea}(d)$  надо использовать значение 3 м.

Напряженность поля для смешанной трассы,  $E$ , определяется следующим выражением:

$$E = (1 - A) \cdot E_{land}(d_{total}) + A \cdot E_{sea}(d_{total}) \quad (17)$$

с коэффициентом интерполяции для смешанной трассы  $A$ , определяемым следующим образом:

$$A = A_0 (F_{sea})^V, \quad (18)$$

где  $F_{sea}$  – доля трассы над морем, а  $A_0 (F_{sea})$  – базовый коэффициент интерполяции, приведенный на рисунке 26 и представленный уравнением:

$$A_0 (F_{sea}) = 1 - (1 - F_{sea})^{2/3}, \quad (19)$$

$V$  рассчитывается с помощью выражения:

$$V = \max \left[ 1, 0; 1, 0 + \frac{\Delta}{40, 0} \right] \quad (20)$$

с

$$\Delta = E_{sea}(d_{total}) - E_{land}(d_{total}) \quad (21)$$

Следующий текст, вплоть до уравнения (26), относится к методу прогнозирования распространения, утвержденному только Региональной конференцией радиосвязи РКР-06, а не к настоящей Рекомендации.

Данное руководство завершает обсуждение метода для смешанных трасс, использующего базовые кривые, приведенные в Приложениях 2–4. Однако соответствующий тип прибрежной полосы на картах районов прибрежной зоны, представленных на карте мира МСЭ в цифровой форме (IDWM), не следует истолковывать в качестве зон прибрежной полосы в следующем контексте.

Метод для смешанных трасс, приведенный в уравнении (17), носит общий характер. Его можно применять также к случаям, когда семейства кривых напряженности поля определены для разных зон распространения. (Например, различные зоны распространения можно было бы точно определить путем внесения изменений в базовые кривые напряженности поля, приведенные в Приложениях 2–4, используя метод, представленный в Приложении 7, или иной альтернативный метод определения зон, например тот, который был использован в Соглашении GE06. Эти различные определения зон, вероятно, могут включать зоны прибрежной полосы, однако они определены в качестве отдельных зон распространения с условиями распространения, которые больше подходят для морских трасс, чем для сухопутных.) Если к тому же необходимо рассчитать напряженность поля для смешанной трассы, пересекающей две или более различные зоны распространения, то рекомендуется использовать следующий метод для смешанной трассы:

- а) для всех частот и всех процентов времени при таких сочетаниях зон распространения, когда отсутствуют переходы между сушей и морем или сушей и прибрежной полосой, используется приведенная ниже процедура расчета напряженности поля:

$$E = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}), \quad (22)$$

где:

$E$ : напряженность поля для смешанной трассы (дБ(мкВ/м));

$E_i(d_{total})$ : напряженность поля для трассы в зоне  $i$ , равной по длине смешанной трассе (дБ(мкВ/м));

$d_i$ : длина трассы в зоне  $i$ ;

$d_{total}$ : длина всей трассы,

- б) для всех частот и всех процентов времени при таких сочетаниях зон распространения, при которых имеется только одна категория распространения по сухопутному участку и одна категория распространения в морской или в береговой зоне, используется уравнение (22);
- с) для всех частот и всех процентов времени при таких сочетаниях трех или более зон распространения, в которых имеется только одна граница между сушей и морем или между сушей и береговой зоной, используется приведенная ниже процедура расчета напряженности поля:

$$E = (1 - A) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{IT}} + A \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{sT}}, \quad (23)$$

где:

$E$ : напряженность поля для смешанной трассы (дБ(мкВ/м));

$E_{land,i}$ : напряженность поля для сухопутного участка трассы  $i$ , равного по длине смешанной трассе,  $i = 1, \dots, n_l$ ;  $n_l$  равно числу пересекаемых сухопутных зон (дБ(мкВ/м));

$E_{sea,j}$ : напряженность поля для морского и прибрежного участков трассы  $j$ , равного по длине смешанной трассе,  $j = 1, \dots, n_s$ ;  $n_s$  равно числу пересекаемых морских и береговых зон (дБ(мкВ/м));

$A$ : коэффициент интерполяции, приведенный в п. 8.1 Приложения 5 (отметим, что "доля трассы, проходящей над морем" рассчитывается как  $\frac{d_{sT}}{d_{total}}$ );

$d_i, d_j$ : длина трассы в зонах  $i, j$ ;

$d_{IT}$ : длина всего сухопутного участка трассы  $= \sum_{i=1}^{n_l} d_i$ ;

$d_{sT}$ : общая длина морского и прибрежного участков трассы  $= \sum_{j=1}^{n_s} d_j$ ;

$d_{total}$ : длина всей трассы распространения  $= d_{IT} + d_{sT}$ .

### 8.1 Коэффициент интерполяции $A$ для смешанной трассы, применимый для метода, который был утвержден РКР-06

Используются следующие обозначения:

$N_s$ : общее число морских и береговых зон;

$n$ : номер морской или береговой зоны трассы;  $n = 1, 2, \dots, N_s$ ;

$M_l$ : общее число сухопутных зон;

$m$ : номер сухопутной зоны трассы;  $m = 1, 2, \dots, M_l$ ;

$d_{sn}$ : расстояние, проходимое в морской или береговой зоне  $n$  (км);

$d_{lm}$ : расстояние, проходимое в сухопутной зоне  $m$  (км).

Тогда:

$$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn} : \text{общая длина проходимых морских и прибрежных участков трассы} \quad (24a)$$

$$d_{IT} = \sum_{m=1}^{M_l} d_{lm} : \text{общая длина проходимых сухопутных участков трассы} \quad (24b)$$

$$d_T = d_{sT} + d_{IT} : \text{длина всей трассы распространения.} \quad (24c)$$

Необходимы следующие значения напряженности поля:

$E_{sn}(d_{total})$ : значение напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для расстояния  $d_{total}$ , которое предполагается находящимся целиком в морской или береговой зоне типа  $n$ ;

$E_{lm}(d_{total})$ : значение напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для расстояния  $d_{total}$ , которое предполагается находящимся целиком в сухопутной зоне типа  $m$ .

Коэффициент интерполяции<sup>1</sup>,  $A$ , задается уравнениями (18)–(20), но когда доля трассы проходит над морем,  $F_{sea}$ , как показано на рисунке 26 и в уравнении (18), которая определяется уравнением

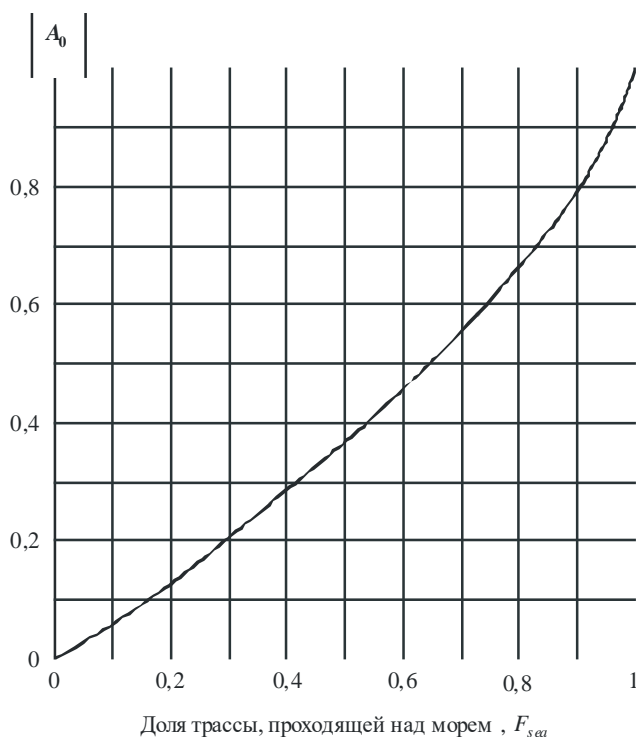
$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_{total}}, \quad (25)$$

$\Delta$ , используемая в уравнении (20), теперь определяется следующим выражением:

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_{total}) \frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_l} E_{lm}(d_{total}) \frac{d_{lm}}{d_{lT}} \quad (26)$$

На рисунке 26 приведен  $A_0(F_{sea})$ , который применим для всех процентов времени.

РИСУНОК 26  
Базовый коэффициент интерполяции,  $A_0$ ,  
для смешанной трассы распространения



P.1546-26

*Окончание текста, относящегося к методу прогнозирования распространения, утвержденному только Региональной конференцией радиосвязи РКР-06.*

<sup>1</sup> Коэффициент интерполяции пригоден для всех частот и всех процентов времени. Необходимо отметить, что интерполяция применяется только к:

- смешанным морским и сухопутным трассам;
  - смешанным прибрежным и сухопутным трассам;
  - к смешанным сухопутным и (морским + прибрежным) трассам,
- но не к:
- сочетанию сухопутных трасс;
  - или любым сочетаниям морских и/или прибрежных трасс.

## 9 Поправка на высоту приемной/подвижной антенны

Значения напряженности поля, даваемые кривыми для сухопутных трасс и соответствующими таблицами в настоящей Рекомендации, предназначены для эталонной приемной/подвижной антенны с высотой, равной или выше высоты наземного покрова вокруг приемной/подвижной антенны,  $R_2$ , и 10 м. Примерами эталонной высоты могут служить 15 м для городского района, 20 м для городского района плотной застройки и 10 м для пригородного района. Для морских трасс номинальным значением  $R_2$  является 10 м.

Если приемная/подвижная антенна находится на суше, то прежде всего надо учесть угол места падающего луча путем расчета модифицированной репрезентативной высоты местного препятствия  $R_2'$  (м), определяемой следующим выражением:

$$R_2' = (1000 d R_2 - 15 h_1) / (1000 d - 15) \quad \text{м}, \quad (27)$$

где  $h_1$  и  $R_2$  выражены в м, а горизонтальное расстояние  $d$  – в км. Репрезентативная высота местного препятствия  $R_2'$  рассчитывается таким образом, что представляет эталонную точку высоты для приемника, расположенного на расстоянии 15 м за препятствием на пути скользящего падения луча от передатчика.

Репрезентативная высота  $R_2'$  представляет эталонную высоту, на которой приемник будет испытывать воздействие скользящего падения ( $v = 0$ ).

Необходимо отметить, что  $R_2' \approx R_2$  при  $h_1 < 6,5d + R_2$ .

При необходимости значение  $R_2'$  должно быть ограничено так, чтобы оно было не меньше 1 м.

Если приемная/подвижная антенна находится в городском районе, то тогда поправка задается следующим выражением:

$$\text{Поправка} = 6,03 - J(v) \quad \text{дБ} \quad \text{для} \quad h_2 < R_2' \quad (28a)$$

$$= K_{h_2} \log(h_2 / R_2') \quad \text{дБ} \quad \text{для} \quad h_2 \geq R_2', \quad (28b)$$

где  $J(v)$  определяется уравнением (12a),

и

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif2} \theta_{clur2}} \quad (28c)$$

$$h_{dif2} = R_2' - h_2 \quad \text{м} \quad (28d)$$

$$\theta_{clur2} = \arctan(h_{dif2} / 27) \quad \text{градусы} \quad (28e)$$

$$K_{h_2} = 3,2 + 6,2 \log(f) \quad (28f)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad (28g)$$

$f$ : частота (МГц).

В городском районе в случаях, когда  $R_2'$  меньше 10 м, поправка, задаваемая уравнением (28a) или (28b), должна быть уменьшена на  $K_{h_2} \log(10/R_2')$ .

Когда приемная/подвижная антенна находится на суше в сельском районе или в открытой местности, поправка задается уравнением (28b) для всех значений  $h_2$ , установив  $R_2'$  равным 10 м.

В приводимом ниже тексте выражение "рядом с морем" относится к тем случаям, когда приемная/подвижная антенна находится либо над морем, либо в непосредственной близости к морю без существенных препятствий в направлении передающей/базовой станции.

Когда приемная/подвижная антенна рядом с морем имеет  $h_2 \geq 10$  м, поправку следует рассчитывать с помощью уравнения (28b), установив  $R_2'$  равным 10 м.

Когда приемная/подвижная антенна рядом с морем имеет  $h_2 < 10$  м, следует использовать другой метод, основанный на длине трассы, для которой 0,6 зоны Френеля как раз проходит над препятствиями на поверхности моря. Метод приблизительного расчета этого расстояния приведен в п. 18.

Расстояние  $d_{10}$ , на котором трасса как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для требуемого значения  $h_1$  и для  $h_2 = 10$  м, следует рассчитать как  $D_{06}(f, h_1, 10)$  в п. 18.

Если требуемое расстояние равно или больше чем  $d_{10}$ , то вновь поправку к требуемому значению  $h_2$  необходимо рассчитать с помощью уравнения (28b), установив  $R_2'$  равным 10 м.

Если требуемое расстояние меньше чем  $d_{10}$ , то поправку, которую надо добавить к значению напряженности поля  $E$ , необходимо рассчитать следующим образом:

$$\text{Поправка} = 0,0 \quad \text{дБ} \quad \text{для} \quad d \leq d_{h_2} \quad (29a)$$

$$= C_{10} \log(d/d_{h_2})/\log(d_{10}/d_{h_2}) \quad \text{дБ} \quad \text{для} \quad d_{h_2} < d < d_{10}, \quad (29b)$$

где:

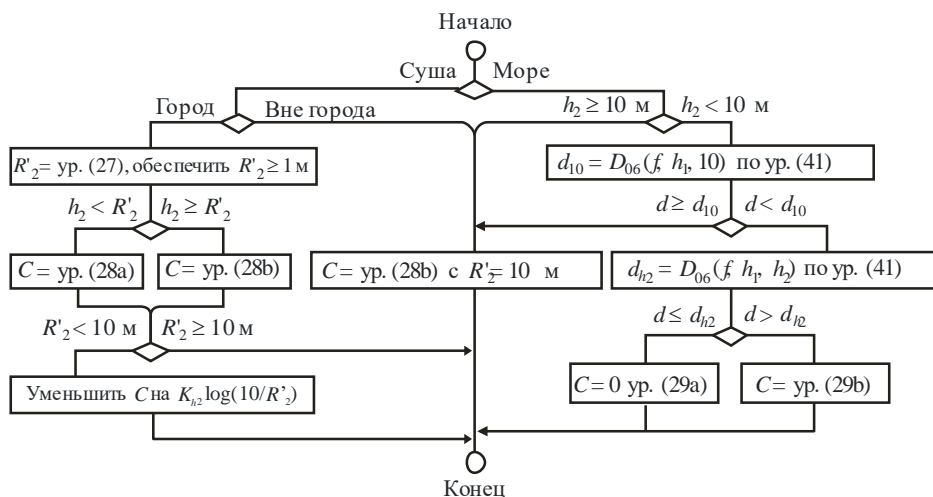
- $C_{10}$ : поправка для требуемого значения  $h_2$  на расстоянии  $d_{10}$  по уравнению (28b) при  $R_2'$  равном 10 м;
- $d_{10}$ : расстояние, на котором трасса как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для  $h_2 = 10$  м и которое рассчитывается как  $D_{06}(f, h_1, 10)$ , определяемое в п. 18;
- $d_{h_2}$ : расстояние, на котором канал как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для требуемого значения  $h_2$  и которое рассчитывается как  $D_{06}(f, h_1, h_2)$ , определяемое в п. 18.

Настоящая Рекомендация не действительна для высоты приемной/подвижной антенны,  $h_2$ , менее 1 м вблизи берега или меньше 3 м вблизи моря.

Вышеуказанная полная поправка для высоты приемной/подвижной антенны приведена на блок-схеме на рисунке 27.

РИСУНОК 27

Блок-схема для поправки к высоте приемной/подвижной антенны



## 10 Поправка на подверженный влиянию местных препятствий приемник

Эта поправка не применяется в случае, если приемник открыт/не подвержен влиянию местных препятствий. Поправку следует применять во всех иных случаях, в том числе в случае, если антенна находится выше высоты препятствия. Поправка равна нулю, если терминал выше, чем зависимая от частоты высота просвета над препятствием.

$$\text{Поправка} = -J(v) \quad \text{дБ}, \quad (30a)$$

где  $J(v)$  задается уравнением (12a) или (12b),

и

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif1} \theta_{clut1}} \quad \text{при } R_1 \geq h_a \quad (30b)$$

$$= -K_{nu} \sqrt{h_{dif1} \theta_{clut1}} \quad \text{иначе} \quad (30c)$$

$$h_{dif1} = h_a - R_1 \quad \text{м} \quad (30d)$$

$$\theta_{clut1} = \arctan(h_{dif1} / 27) \quad \text{градусы} \quad (30e)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad (30f)$$

$f$ : частота (МГц).

$R_1$  – высота препятствия, м, над поверхностью земли вблизи передающего базового терминала.

## 11 Поправка на угол просвета местности

Для сухопутных трасс в случае нахождения приемной/подвижной антенны на сухопутном участке смешанной трассы, если требуется более высокая точность для прогнозирования напряженности поля в условиях приема в конкретных зонах, например в небольшой зоне приема, можно ввести поправку на угол просвета местности. Угол просвета местности определяется выражением:

$$\theta_{ica} = \theta \quad \text{градусы}, \quad (31)$$

где  $\theta$  – угол места для линии от приемной/подвижной антенны, которая как раз проходит, не задевая всех препятствий на местности в направлении передающей/базовой антенны на расстоянии до 16 км, но не выходит за передающую/базовую антенну.

При расчете  $\theta$  не нужно учитывать кривизну поверхности Земли. Угол  $\theta_{ica}$  должен быть ограничен так, чтобы он был не менее  $+0,55^\circ$  или не более  $+40,0^\circ$ .

Когда имеется соответствующая информация об угле просвета местности, то поправка, добавляемая к напряженности поля, рассчитывается следующим образом:

$$\text{поправка} = J(v') - J(v) \quad \text{дБ}, \quad (32a)$$

где  $J(v)$  определяется уравнением (12a):

$$v' = 0,036 \sqrt{f}; \quad (32b)$$

$$v = 0,065 \theta_{ica} \sqrt{f}; \quad (32c)$$

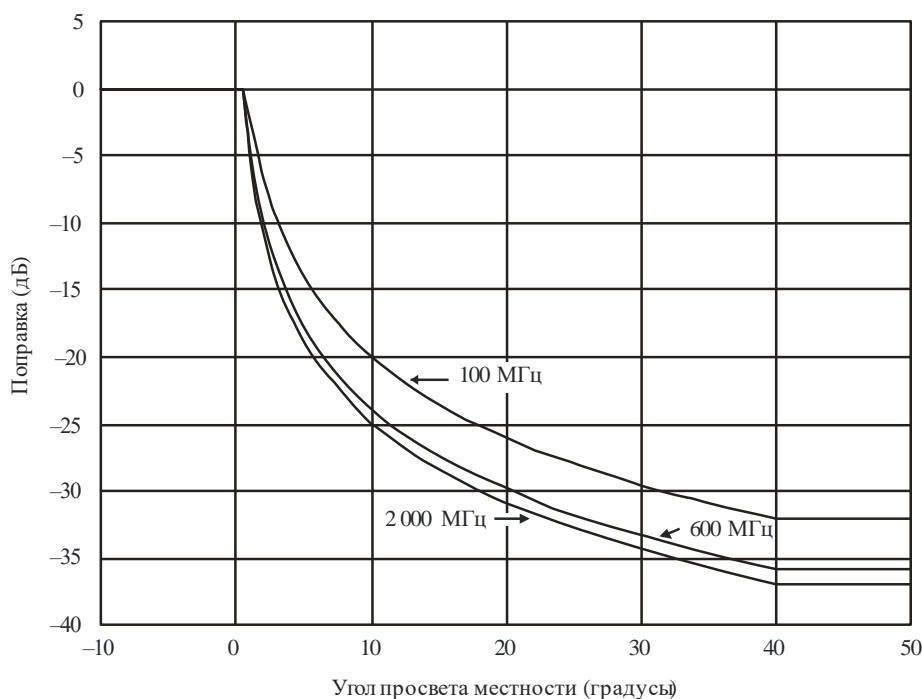
$\theta_{ica}$ : угол просвета местности (градусы);

$f$ : требуемая частота (МГц).

Следует отметить, что кривые напряженности поля для сухопутной трассы учитывают потери за счет типичного экранирования приемной/подвижной антенны плавно закругляющейся местностью. Поэтому поправки на угол просвета местности оказываются нулевыми при малом положительном угле, типичном для положений приемной/подвижной антенны.

На рисунке 28 иллюстрируется поправка на угол просвета местности для номинальных частот.

РИСУНОК 28  
Угол просвета местности (градусы)



P.1546-28

## 12 Изменчивость в зависимости от местоположения в прогнозах сухопутной зоны покрытия

Методы прогнозирования зоны покрытия предназначены для получения статистических данных об условиях приема в данной зоне, а не в какой-либо определенной точке. Интерпретация таких статистических данных зависит от размера рассматриваемой зоны.

Когда один терминал на трассе радиосигнала является стационарным, а другой перемещается, основные потери передачи на трассе будут непрерывно меняться в зависимости от местоположения в соответствии с совокупностью влияний на него. Такие влияния целесообразно подразделить на три основные категории:

*Изменения многолучевости:* изменения сигнала, возникающие в масштабе порядка длины волны за счет векторного сложения эффектов многолучевого распространения, например отражений от земной поверхности, зданий и т. д. Обычно статистика таких изменений, как установлено, подчиняется рэлеевскому распределению. Влияние таких эффектов зависит от системы и определяется шириной полосы, модуляцией и схемой кодирования. Руководство по моделированию этих эффектов приведено в Рекомендации МСЭ-R P.1406.

*Изменения трассы:* изменения сигнала, которые возникают за счет изменения геометрии всей трассы распространения, например при наличии холмов и т. п. Для всех трасс, кроме очень коротких, масштаб таких изменений обычно бывает существенно больше, чем при местных изменениях наземного покрова.



*Местные изменения наземного покрова:* изменения сигнала, возникающие за счет препятствий, создаваемых наземным покровом в непосредственной близости, например зданиями, деревьями и т. д., в масштабе, соответствующем размеру таких объектов. Масштаб таких изменений обычно бывает существенно больше, чем для изменений многолучевости.

В настоящей Рекомендации, как правило, изменчивость в зависимости от местоположения относится к пространственной статистике местных изменений наземного покрова. Эти данные полезны для масштабов, существенно превышающих изменения наземного покрытия и в которых изменения трассы оказываются незначительными. Поскольку изменчивость в зависимости от местоположения определяется без учета изменений многолучевости, то она не зависит от ширины полосы системы.

Изменчивость в зависимости от местоположения определяется по-разному. В некоторых текстах она определяется как связанная с колебанием дополнительных потерь на трассе по всей зоне обслуживания передатчика, включая, таким образом, полное влияние рельефа местности, помимо дополнительного влияния местного экранирования. Это определение справедливо, если для выполнения настоящей Рекомендации применяется п. 3.1.1 Приложения 5. Второе определение связано с колебанием напряженности поля на небольшой территории, обычно представленной в виде квадрата со стороной от 50 м до 1 км. Это определение справедливо, если для расчета  $h_l$  используется информация о рельефе местности согласно п. 3.1.2 Приложения 5.

Анализ обширных данных позволяет предположить, что распределение местных средних значений напряженности поля из-за изменчивости наземного покрытия является аппроксимативно логарифмически нормальным.

Так, при нахождении приемной/подвижной антенны в сухопутной зоне напряженность поля  $E$ , которая будет превышать для  $q\%$  местоположений, определяется следующим образом:

$$E(q) = E(\text{медиана}) + Q_i(q/100)\sigma_L \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (33)$$

где:

$Q_i(x)$ : обратное дополнительное кумулятивное нормальное распределение в зависимости от вероятности;

$\sigma_L$ : стандартная девиация гауссовского распределения местных средних значений в рассматриваемой зоне.

Приближенное представление функции  $Q_i(x)$  приведено в п. 16, ниже.

Значения стандартной девиации зависят от разрешающей способности прогнозирования и частоты, и эмпирические исследования показали наличие разброса. В случае если используется информация о рельефе местности и требуется отклонение в пределах небольшой зоны, характерные значения  $\sigma_L$  определяются по формуле (34). Характерные значения относятся к 50-му перцентилю кумулятивных распределений измеренной стандартной девиации изменчивости в зависимости от местоположения.

$$\sigma_L = \left( \frac{0,024f}{1\,000} + 0,52 \right) w_a^{0,28} \quad \text{дБ}, \quad (34)$$

где:

$f$ : требуемая частота (МГц);

$w_a$ : разрешающая способность прогнозирования (м).

Разрешающая способность прогнозирования – это длина стороны квадратной зоны, в которой применяется изменчивость.

При использовании настоящей Рекомендации без информации о рельефе местности более подходящим показателем может быть девиация  $\sigma_L$  в пределах зоны обслуживания. В этом случае не обнаруживается зависимость от частоты, однако тип среды будет влиять на стандартную девиацию значений изменчивости в зависимости от местоположения. Характерными значениями  $\sigma_L$  являются 8, 10 и 12 дБ для городских, пригородных и открытых зон, соответственно.

Процент местоположений  $q$  может меняться от 1 до 99. Настоящая Рекомендация не действительна для процентов местоположений менее 1% или более 99%. Значения, приведенные в таблице 2, были сочтены приемлемыми для планирования услуг цифрового наземного телевидения (ЦНТ), и, как было установлено, эквивалентны 93-му перцентилю функции кумулятивного распределения измерений для антенны на высоте крыши для зоны  $100 \times 100$  м.

ТАБЛИЦА 2

## Значения изменчивости, используемые в некоторых случаях планирования

	Стандартная девиация (дБ)		
	100 МГц	600 МГц	2000 МГц
Радиовещание, ЦНТ	5,5	5,5	5,5

## 13 Ограничение поля в силу тропосферного рассеяния

Существует вероятность того, что напряженность поля, рассчитанная с использованием методов, приведенных в пп. 1–12 настоящего Приложения, занижена, поскольку не было полностью учтено тропосферное рассеяние.

В случае наличия информации о рельефе местности предполагаемое значение поля, обусловленное тропосферным рассеянием, следует рассчитывать, прибегнув к следующей процедуре. Это предполагаемое значение может затем использоваться в качестве "минимального" для всего прогнозирования напряженности поля (см. шаг 13 в Приложении б).

Рассчитывается угол рассеяния на трассе в градусах,  $\theta_s$ , используя формулу:

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi k a} + \theta_{eff} + \theta \quad \text{градусы,} \quad (35)$$

где:

- $\theta_{eff}$ : угол просвета местности терминала  $h_1$  в градусах, рассчитанный с использованием метода, приведенного в подпункте а) п. 4.3, независимо от того, какое значение имеет  $h_1$ , положительное или отрицательное (градусы);
- $\theta$ : угол просвета местности терминала  $h_2$  в градусах, рассчитанный как показано в п. 11, имея в виду, что это угол места относительно местной горизонтали (градусы);
- $d$ : длина трассы (км);
- $a$ : 6370 км, радиус Земли;
- $k$ : 4/3, эффективный коэффициент радиуса Земли для медианных условий рефракции.

Если  $\theta_s$  меньше нуля, устанавливается  $\theta_s$ , равный нулю.

Рассчитывается напряженность поля, спрогнозированная для тропосферного рассеяния  $E_{ts}$ , с использованием формулы:

$$E_{ts} = 24,4 - 20 \log(d) - 10 \theta_s - L_f + 0,15 N_0 + G_t \quad \text{дБ(мкВ/м),} \quad (36)$$

где:

$$L_f = \text{потери, зависящие от частоты;} \\ = 5 \log(f) - 2,5(\log(f) - 3,3)^2 \quad (36a)$$

$N_0$ : 325, рефракция медианной поверхности, в единицах  $N$ , типичных для измерений в умеренном климате;

$$G_t: \text{усиление в зависимости от времени;} \\ = 10,1(-\log(0,02t))^{0,7}; \quad (36b)$$

$d$ : длина трассы или требуемое расстояние (км);

$f$ : требуемая частота (МГц);

$t$ : требуемый процент времени.

#### 14 Разница значений высоты антенн

Для учета разницы значений высоты двух антенн требуется поправка.

Эта поправка рассчитывается следующим образом:

$$\text{Поправка} = 20 \log \left( \frac{d}{d_{slope}} \right) \quad \text{дБ}, \quad (37)$$

где  $d$  – горизонтальное расстояние, а наклонное расстояние,  $d_{slope}$ , задается следующим образом.

Если имеется информация о рельефе местности, используется:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6} [(h_a + h_{тер}) - (h_2 + h_{тер})]^2} \quad \text{км.} \quad (37a)$$

Если информации о рельефе местности не имеется, используется:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6} (h_a - h_2)^2} \quad \text{км,} \quad (37b)$$

$h_{тер}$  и  $h_{тер}$  – высота местности в метрах над уровнем моря в местах размещения передающего/базового и приемного/подвижного терминалов, соответственно.

Обусловливаемая уравнением (37a) геометрия гипотенузы нереалистична для трасс, протяженность которых достаточно велика для того, чтобы стала значимой кривизна земной поверхности, но для таких протяженных трасс соответствующая ошибка является пренебрежимо малой. Задаваемая уравнением (37) поправка весьма мала, за исключением коротких трасс и высоких значений  $h_1$ , однако рекомендуется использовать эту поправку во всех случаях во избежание принятия произвольного решения в качестве точного.

#### 15 Расстояния менее 1 км

В предыдущих пп. 1–14 описан метод получения значений напряженности поля по семейству кривых для горизонтальных расстояний от 1 до 1000 км. Этот процесс включает интерполяцию и экстраполяцию, а также использование разных поправок. Если требуемое горизонтальное расстояние составляет 1 км и более, дальнейших расчетов не требуется.

Для трасс протяженностью менее 1 км модель расширяется до произвольно коротких горизонтальных расстояний следующим образом:

Если горизонтальное расстояние менее или равно 0,04 км, напряженность поля  $E$  определяется следующим образом:

$$E = 106,9 - 20 \log(d_{slope}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}. \quad (38a)$$

Иначе:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(d_{slope} / d_{inf}) \log(d_{sup} / d_{inf}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (38b)$$

где:

$d_{slope}$ : наклонное расстояние, задаваемое уравнением (37a) или (37b) для требуемого горизонтального расстояния  $d$ ;

$d_{inf}$ : наклонное расстояние, задаваемое уравнением (37a) или (37b) для  $d = 0,04$  км;

$d_{sup}$ : наклонное расстояние, задаваемое уравнением (37a) или (37b) для  $d = 1$  км;

$E_{inf}$ :  $106,9 - 20 \log(d_{inf})$ ;

$E_{sup}$ : напряженность поля, определяемая согласно пп. 1–14 для  $d = 1$  км.

Это расширение до произвольно короткого расстояния основано на предположении, что при уменьшении протяженности трассы до менее 1 км возрастает вероятность возникновения трассы с меньшими потерями вследствие обхода препятствий, а не прохода над ними. Для трасс с

горизонтальной протяженностью 0,04 км или менее предполагается, что между двумя терминалами существует прямая видимость с полным просветом зоны Френеля, и напряженность поля рассчитывается как значение для свободного пространства на основе наклонной дальности.

Если эти предположения не соответствуют требуемому сценарию малой дальности, следует произвести надлежащие корректировки, для того чтобы учесть такие воздействия, как распространение в "уличных каньонах", вход в здание, части трассы в помещении или влияние тела.

Это расширение до малых расстояний позволяет иметь трассы с крутым наклоном или даже вертикальные трассы, если  $h_a > h_b$ . Важно отметить, что прогнозируемая напряженность поля не учитывает диаграмму направленности в вертикальной плоскости передающей/базовой антенны. В направлении излучения напряженность поля соответствует величине 1 кВт э.и.м.

## 16 Аппроксимация для обратной дополнительной кумулятивной функции нормального распределения

Приведенная ниже аппроксимация для обратной дополнительной кумулятивной (интегральной) функции нормального распределения  $Q_i(x)$  пригодна для  $0,01 \leq x \leq 0,99$ :

$$Q_i(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{если } x \leq 0,5 \quad (39a)$$

$$Q_i(x) = -\{T(1-x) - \xi(1-x)\} \quad \text{если } x > 0,5, \quad (39b)$$

где:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \quad (39c)$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \quad (39d)$$

$$C_0 = 2,515517$$

$$C_1 = 0,802853$$

$$C_2 = 0,010328$$

$$D_1 = 1,432788$$

$$D_2 = 0,189269$$

$$D_3 = 0,001308.$$

Полученные с использованием указанных выше уравнений значения приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

### Значения для приближения обратного дополнительного кумулятивного нормального распределения

$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$
1	2,327	26	0,643	51	-0,025	76	-0,706
2	2,054	27	0,612	52	-0,050	77	-0,739
3	1,881	28	0,582	53	-0,075	78	-0,772
4	1,751	29	0,553	54	-0,100	79	-0,806
5	1,645	30	0,524	55	-0,125	80	-0,841
6	1,555	31	0,495	56	-0,151	81	-0,878
7	1,476	32	0,467	57	-0,176	82	-0,915
8	1,405	33	0,439	58	-0,202	83	-0,954

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$
9	1,341	34	0,412	59	-0,227	84	-0,994
10	1,282	35	0,385	60	-0,253	85	-1,036
11	1,227	36	0,358	61	-0,279	86	-1,080
12	1,175	37	0,331	62	-0,305	87	-1,126
13	1,126	38	0,305	63	-0,331	88	-1,175
14	1,080	39	0,279	64	-0,358	89	-1,227
15	1,036	40	0,253	65	-0,385	90	-1,282
16	0,994	41	0,227	66	-0,412	91	-1,341
17	0,954	42	0,202	67	-0,439	92	-1,405
18	0,915	43	0,176	68	-0,467	93	-1,476
19	0,878	44	0,151	69	-0,495	94	-1,555
20	0,841	45	0,125	70	-0,524	95	-1,645
21	0,806	46	0,100	71	-0,553	96	-1,751
22	0,772	47	0,075	72	-0,582	97	-1,881
23	0,739	48	0,050	73	-0,612	98	-2,054
24	0,706	49	0,025	74	-0,643	99	-2,327
25	0,674	50	0,000	75	-0,674		

### 17 Эквивалентные основные потери при передаче

При необходимости основные потери при передаче, эквивалентные заданной напряженности поля, определяются с помощью следующего выражения:

$$L_b = 139,3 - E + 20 \log f \quad \text{дБ}, \quad (40)$$

где:

- $L_b$ : основные потери при передаче (дБ);
- $E$ : напряженность поля (дБ(мкВ/м)) для э.и.м. 1 кВт;
- $f$ : частота (МГц).

### 18 Аппроксимация длины трассы с просветом в 0,6 зоны Френеля

Длина трассы, на которой как раз обеспечивается просвет в 0,6 первой зоны Френеля над гладкой поверхностью Земли для заданной частоты и высоты антенн  $h_1$  и  $h_2$ , приблизительно определяется следующим выражением:

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad \text{км}, \quad (41)$$

где

$$D_f: \text{зависящий от частоты член уравнения} \\ = 0,0000389 f h_1 h_2 \quad \text{км}; \quad (41a)$$

$$D_h: \text{асимптотический член, определяемый расстояниями до горизонта} \\ = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{км}; \quad (41b)$$

$f$ : частота (МГц);

$h_1, h_2$ : высота антенн над гладкой поверхностью Земли (м).

В приведенных выше уравнениях значение  $h_1$  должно быть при необходимости ограничено так, чтобы оно не было меньше нуля. Кроме того, результирующие значения  $D_{06}$  при необходимости должны быть ограничены так, чтобы они были не меньше 0,001 км.

## Приложение 6

### Процедура применения настоящей Рекомендации

Приведенная ниже пошаговая процедура предназначена для использования значений, полученных из таблиц зависимости напряженности поля от расстояния, которые предоставляет Бюро радиосвязи. Однако ее также можно использовать для значений, полученных по кривым, и в этом случае не нужна процедура интерполяции в зависимости от расстояния, приведенная на шаге 8.1.5. В таблице 4, ниже, представлен минимальный перечень входных параметров (и их пределы), которые служат основой для получения значений из таблиц зависимости напряженности поля от расстояния. Используется поэтапная процедура.

ТАБЛИЦА 4

#### Перечень входных параметров и их пределы

Параметр	Определение	Пределы
$f$ (МГц)	Рабочая частота	30–4 000 МГц
$d$ (км)	Горизонтальная длина трассы	Не более 1 000 км
$p$ (%)	Процент времени. Определен в п. 8 Приложения 1	1–50%
$h_1$ (м)	Высота передающей/базовой антенны, как показано на кривых. Определена в уравнениях (4)–(7), представленных в п. 3 Приложения 5. Пределы определены в п. 4.1	Суша – нижний предел не ограничен, верхний предел – 3000 м Море – нижний предел не менее 1 м, верхний предел – 3000 м
$h_a$ (м)	Высота передающей антенны над уровнем земли. Определена в п. 3.1.1 Приложения 5. Пределы определены в п. 3 Приложения 5	Более 1
$h_b$ (м)	Высота базовой антенны над высотой рельефа местности, усредненная для расстояний в диапазоне $0,2d - d$ км, где $d$ не превышает 15 км и где имеются данные о рельефе местности	Пределы отсутствуют – однако следует иметь в виду, что этот параметр существует только для сухопутных трасс, где $d < 15$ км
$h_2$ (м)	Высота приемной/подвижной антенны над землей. Определена в п. 10 Приложения 1	Суша – не менее 1 м, но менее 3 000 м Море – не менее 3 м, но менее 3 000 м
$R_1$ (м)	Репрезентативная высота местных препятствий (вокруг местоположения передатчика)	Пределы отсутствуют
$R_2$ (м)	Репрезентативная высота местных препятствий (вокруг местоположения приемника)	Пределы отсутствуют
$\theta_{lca}$ (град.)	Угол просвета местности	от $0,55^\circ$ до $40^\circ$
$\theta_{eff1} \theta_{eff2}$ (град.)	Эффективные углы просвета местности передающей/базовой антенны. Пункт 9 Приложения 5	Должны быть положительными

Если требуемое горизонтальное расстояние составляет 0,04 км и менее, начинать следует с шага 17. Если требуемое горизонтальное расстояние более 0,04 км, но менее 1 км, следует выполнить шаги 1–16 при значении  $d$ , установленном равным 1 км, после чего остальные шаги следует выполнять при значении  $d$ , установленном равным требуемой величине. Иначе, следует выполнить все шаги при значении  $d$ , установленном равным требуемой величине.

*Шаг 1:* Определяется тип трассы распространения как сухопутной, над холодным морем или над теплым морем. Если трасса смешанная, определяют два типа трасс, которые считают относящимися к первому и второму типу распространения. Если трассу можно представить с помощью одного типа, то ее считают относящейся к первому типу распространения, и метод для смешанных трасс на шаге 11 не требуется.

*Шаг 2:* Для любого заданного процента времени (в диапазоне от 1% до 50%) следующим образом определяются два номинальных процента времени:

- если требуемый процент времени  $>1$  и  $<10$ , то нижний и верхний номинальные проценты равны, соответственно, 1 и 10;
- если требуемый процент времени  $>10$  и  $<50$ , то нижний и верхний номинальные проценты равны, соответственно, 10 и 50.

Если требуемый процент времени равен 1% или 10%, или 50%, то это значение следует считать нижним номинальным процентом времени, и процесс интерполяции на шаге 10 не требуется.

*Шаг 3:* Для любой требуемой частоты (в диапазоне от 30 МГц до 3000 МГц) следующим образом определяются две номинальные частоты:

- если требуемая частота  $<600$  МГц, то нижняя и верхняя номинальные частоты равны, соответственно, 100 МГц и 600 МГц.
- если требуемая частота  $>600$  МГц, то нижняя и верхняя номинальные частоты равны, соответственно, 600 МГц и 2000 МГц.

Если требуемая частота равна 100, 600 или 2000 МГц, то это значение должно считаться нижней номинальной частотой, и процедура интерполяции и экстраполяции на шаге 9 не требуется.

*Шаг 4:* Из таблицы 1 определяют нижнее и верхнее номинальные значения расстояния, наиболее близкие к требуемому расстоянию. Если требуемое расстояние совпадает со значением в таблице 1, то его следует считать нижним номинальным расстоянием, и процедура интерполяции на шаге 8.1.5 не требуется.

*Шаг 5:* Для первого типа распространения выполняются шаги 6–11.

*Шаг 6:* Для нижнего номинального процента времени выполняются шаги 7–10.

*Шаг 7:* Для нижней номинальной частоты выполняются шаги 8–9.

*Шаг 8:* Определяется напряженность поля, превышаемая в 50% местоположений, для приемной/подвижной антенны при репрезентативной высоте местного препятствия,  $R_2$ , над землей для требуемого расстояния и высоты передающей/базовой антенны с использованием следующих шагов:

*Шаг 8.1:* Для высоты передающей/базовой антенны  $h_1$ , равной или превышающей 10 м, выполняются шаги 8.1.1–8.1.6.

*Шаг 8.1.1:* Определяются нижнее и верхнее номинальные значения  $h_1$  с помощью метода, приведенного в п. 4.1 Приложения 5. Если  $h_1$  совпадает с одним из номинальных значений 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 или 1200 м, его следует считать нижним номинальным значением для  $h_1$ , и процедура интерполяции на шаге 8.1.6 не требуется.

*Шаг 8.1.2:* Для нижнего номинального значения  $h_1$  выполняются шаги 8.1.3–8.1.5.

*Шаг 8.1.3:* Для нижнего номинального значения расстояния выполняется шаг 8.1.4.

*Шаг 8.1.4:* Определяется напряженность поля, превышаемая в 50% местоположений, для приемной/подвижной антенны при репрезентативной высоте местного препятствия,  $R_2$ , для требуемых значений расстояния,  $d$ , и высоты передающей/базовой антенны,  $h_1$ .

*Шаг 8.1.5:* Если требуемое расстояние не совпадает с нижним номинальным значением расстояния, то повторяют шаг 8.1.4 для верхнего номинального значения расстояния и интерполируют два значения напряженности поля к нужному расстоянию с использованием метода, приведенного в п. 5 Приложения 5.

*Шаг 8.1.6:* Если требуемая высота передающей/базовой антенны,  $h_1$ , не совпадает с одним из номинальных значений, повторяют шаги 8.1.3–8.1.5 и интерполируют/экстраполируют напряженность поля для  $h_1$  с помощью метода, приведенного в п. 4.1 Приложения 5. При необходимости результат ограничивают максимальным значением, приведенным в п. 2 Приложения 5.

*Шаг 8.2:* Для высоты передающей/базовой антенны  $h_1$  менее 10 м определяется напряженность поля для требуемой высоты и расстояния с помощью метода, приведенного в п. 4.2 Приложения 5. Если  $h_1$  меньше нуля, то следует использовать метод, приведенный в п. 4.3 Приложения 5.

*Шаг 9:* Если требуемая частота не совпадает с нижней номинальной частотой, повторяют шаг 8 для верхней номинальной частоты и интерполируют/экстраполируют два значения напряженности поля с использованием метода, приведенного в п. 6 Приложения 5. При необходимости результат ограничивают максимальным значением напряженности поля, приведенным в п. 2 Приложения 5.

*Шаг 10:* Если требуемый процент времени не совпадает с нижним номинальным процентом временем, то повторяют шаги 7–9 для верхнего номинального процента времени и интерполируют два значения напряженности поля с использованием метода, приведенного в п. 7 Приложения 5.

*Шаг 11:* При прогнозировании для смешанной трассы выполняется пошаговая процедура, приведенная в п. 8 Приложения 5. Для этого требуется использовать шаги 6–10 для трасс с каждым типом распространения. Следует отметить, что при наличии различных участков трассы, относящихся как к теплому, так и к холодному морю, все морские участки необходимо классифицировать как относящиеся к теплому морю.

*Шаг 12:* Если имеется информация об угле просвета местности для приемной/подвижной антенны рядом с сушей, в напряженность поля вводят поправку на угол просвета местности для приемной/подвижной антенны с использованием метода, приведенного в п. 11 Приложения 5.

*Шаг 13:* Рассчитывается предполагаемая напряженность поля, обусловленная тропосферным рассеянием, с использованием метода, представленного в п. 13 Приложения 5, и берется максимальное значение  $E$  и  $E_{fs}$ .

*Шаг 14:* Корректируется напряженность поля для высоты приемной/подвижной антенны  $h_2$  с использованием метода, приведенного в п. 9 Приложения 5.

*Шаг 15:* Если вокруг передающего/базового терминала имеется препятствие, даже на меньшей высоте над уровнем земли по сравнению с антенной, следует внести поправку для учета воздействия этого препятствия, используя метод, приведенный в п. 10 Приложения 5.

*Шаг 16:* Применяется поправка для наклонной трассы, приведенная в п. 14 Приложения 5.

*Шаг 17:* В п. 15 Приложения 5 представлен метод для трасс протяженностью менее 1 км. Как указано в тексте, следующем непосредственно после текста шага 1, выше, вначале может потребоваться выполнение шагов 1–16 при  $d = 1$  км.

*Шаг 18:* Если на приемной/подвижной антенне рядом с сушей требуется напряженность поля, превышаемая для процента местоположений, отличного от 50%, значение напряженности поля для требуемого процента местоположений получают путем внесения поправки с использованием метода, приведенного в п. 12 Приложения 5.

*Шаг 19:* При необходимости результирующую напряженность поля ограничивают максимальным значением, приведенным в п. 2 Приложения 5. При проведении расчетов для смешанной трассы для процента времени менее 50% необходимо рассчитать максимальное значение напряженности поля путем интерполяции между значениями для полностью сухопутных и полностью морских трасс. Это определяется следующим выражением:

$$E_{max} = E_{fs} + d_s E_{se} / d_{total} \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (42)$$



где:

- $E_{fs}$ : напряженность поля в свободном пространстве, определяемая уравнением (2) в п. 2 Приложения 5;
- $E_{se}$ : усиление при малых процентах времени для морской трассы, определяемое уравнением (3) в п. 2 Приложения 5;
- $d_s$ : общее расстояние в морской зоне (км);
- $d_{total}$ : общее расстояние для сухопутной зоны (км).

*Шаг 20:* При необходимости напряженность поля пересчитывается в эквивалентные основные потери при передаче для трассы с использованием метода, приведенного в п. 17 Приложения 5.

## Приложение 7

### Корректировка для разных климатических регионов

Кривые, приведенные в Приложениях 2, 3 и 4, основаны на измерениях для умеренного климата. В регионах мира, где вертикальный градиент индекса рефракции атмосферы значительно отличается, напряженность поля в общем случае нельзя прогнозировать столь же точно.

Для введения поправок к кривым Приложений 2, 3 и 4, чтобы их можно было применять в любом регионе мира, можно использовать приведенный ниже метод учета информации о вертикальном градиенте индекса рефракции из Рекомендации МСЭ-R P.453. В массивах данных в Рекомендации МСЭ-R P.453 градиенты индекса рефракции приведены в единицах  $N/\text{км}$  для нижних 65 м атмосферы в виде отрицательных значений.

Для такой корректировки кривых в Приложениях 2, 3 и 4 принимают следующие опорные значения для градиента  $dN_0$ :

$$\text{Для полей, превышаемых в течение 50\% времени: } dN_0 = -43,3 \quad \text{ед. } N/\text{км} \quad (43a)$$

$$\text{Для полей, превышаемых в течение 10\% времени: } dN_0 = -141,9 \quad \text{ед. } N/\text{км} \quad (43b)$$

$$\text{Для полей, превышаемых в течение 1\% времени: } dN_0 = -301,3 \quad \text{ед. } N/\text{км} \quad (43c)$$

Для корректировки семейства кривых напряженности поля в разных радиоклиматических регионах мира рассчитывают разность  $\Delta N$  градиента следующим образом:

$$\Delta N = dN_0 - dN, \quad (44)$$

где:

- $dN$ : градиент, превышаемый в течение заданного для корректируемых кривых процента времени и получаемый из файлов данных DNDZ\_50.TXT, DNDZ\_10.TXT, DNDZ\_01.TXT в Рекомендации МСЭ-R P.453 для в 50%, 10% и 1% времени, соответственно;
- $dN_0$ : опорный градиент для процента времени для кривой, которая должна корректироваться с помощью уравнения (43).

Если  $dN$  меньше  $-301,3$ , то для любого расстояния  $d$  (км) к максимальному значению напряженности поля добавляется следующая поправка:

$$\delta E_{max} = 0,007(-301,3 - dN)\{1 - \exp(-d/50)\}\exp(-d/6000) \quad \text{дБ.} \quad (45)$$

Следует отметить, что в максимальные значения напряженности поля не вносятся никаких изменений, если  $dN$  больше или равно  $-301,3$ .

Масштабный коэффициент  $K$  рассчитывают с помощью следующего выражения:

$$K = 14,94 - 6,693 \times 10^{-6} (1494 - \Delta N)^2 \quad \Delta N > 0 \quad (46a)$$

$$= 0,08 \Delta N \quad \Delta N \leq 0. \quad (46b)$$

Для самой нижней кривой в корректируемом семействе, то есть для  $h_1 = 10$  м, вносят поправку  $\delta E_1$ , определяемую как:

$$\delta E_1 = K\{1 - \exp(-d/50)\}\exp(-d/6000) \quad \text{дБ.} \quad (47)$$

При необходимости значение  $\delta E_1$  должно быть ограничено следующим образом.

- $\delta E_1$  должно быть ограничено так, чтобы скорректированная напряженность поля не превышала максимального значения напряженности поля с поправкой.
- Если  $\Delta N$  больше нуля,  $\delta E_1$  должна быть ограничена так, чтобы разность между максимальным значением напряженности поля с поправкой и напряженностью поля для  $h_1 = 10$  м не превышала эту разность для кривых без корректировки. Следует отметить, что это условие не должно использоваться при  $\Delta N$  меньше нуля.

Напряженность поля для других значений  $h_1$  корректируется так, чтобы она занимала то же относительное положение между максимальным значением напряженности поля и напряженностью поля для  $h_1 = 10$  м, что и соответствующая напряженность поля на кривых без корректировки, с использованием следующего выражения:

$$E'_n = E'_1 + (E_n - E_1)(E'_{max} - E'_1) / (E_{max} - E_1), \quad (48)$$

где

$E_1$ : напряженность поля для  $h_1 = 10$  м;

$E_n$ : напряженность поля для значений  $h_1$  больше 10 м;

$E_{max}$ : максимальное значение напряженности поля

и штрих обозначает скорректированные значения.

## Приложение 8

### Сравнение с методом Окумура-Хата

В методе Окумура-Хата используется следующее уравнение:

$$E = 69,82 - 6,16 \log f + 13,82 \log H_1 + a(H_2) - (44,9 - 6,55 \log H_1)(\log d)^b, \quad (49)$$

где:

$E$ : напряженность поля (дБ(мкВ/м)) для э.и.м. 1 кВт;

$f$ : частота (МГц);

$H_1$ : эффективная высота антенны базовой станции над уровнем земли (м) в диапазоне 30–200 м;

$H_2$ : высота антенны подвижной станции над уровнем земли (м) в диапазоне 1–10 м;

$d$ : расстояние (км);

$$a(H_2) = (1,1 \log f - 0,7) H_2 - (1,56 \log f - 0,8);$$

$$b = 1 \text{ для } d \leq 20 \text{ км};$$

$$b = 1 + (0,14 + 0,000187 f + 0,00107 H_1) (\log [0,05 d])^{0,8} \quad \text{для } d > 20 \text{ км},$$

где:

$$H'_1 = H_1 / \sqrt{1 + 0,000007 H_1^2}.$$

Настоящая Рекомендация дает сходные с методом Окумура-Хата результаты для расстояний до 10 км,  $h_2 = H_2 = 1,5$  м,  $R = 15$ .