

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1546-2

**Метод прогнозирования для трасс "точка-зона" для наземных служб
в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц**

(2001-2003-2005)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что необходимо предоставить инженерам руководство в области планирования служб наземной радиосвязи в диапазонах ОВЧ и УВЧ;
- b) что для станций, работающих в одном и том же или соседних частотных каналах, большое значение имеет определение минимального расстояния разнесения между ними, требующегося для исключения неприемлемых помех за счет 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 потерь на трассе "точка-зона" для воздушной подвижной службы для диапазона частот от 125 МГц до 30 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 0,7 ГГц;
- c) что в Рекомендации МСЭ-R P.617 приведено руководство по прогнозированию потерь на трассе "точка-точка" 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 потерь на трассе "точка-точка" для наземных систем прямой видимости,

рекомендует,

1 чтобы процедуры, приведенные в Приложениях 1–8, были приняты для прогнозирования напряженности поля на трассах "точка-зона" для радиовещательной, сухопутной подвижной, морской подвижной и некоторых фиксированных служб (например, служб, использующих системы связи "точка-множество точек") для диапазона частот от 30 МГц до 3000 МГц и для расстояний в диапазоне 1 км до 1000 км.

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 Рекомендаций, для реализации этого метода с применением компьютера предполагается использовать таблицы напряженности поля, которые можно получить в Бюро радиосвязи. См. раздел Web-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.

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. Для сухопутных трасс короче 15 км, если имеются соответствующие данные, в этом методе также учитывается высота передающей/базовой антенны над высотой репрезентативных местных препятствий (то есть наземного покрова) в месте нахождения передающей/базовой станции. 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 репрезентативной высоте наземного покрова вокруг места расположения приемной/подвижной антенны. Минимальная репрезентативная высота наземного покрова составляет 10 м. 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 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. 10 Приложения 5.

12 Изменчивость в зависимости от места

Кривые распространения представляют значения напряженности поля, превышаемые в 50% мест в пределах зоны, как правило, размером 500 м на 500 м. Более подробно изменчивость в зависимости от места и метод расчета поправки, требующейся для процентов мест, отличных от 50%, приведены в п. 12 Приложения 5.

13 Эквивалентные базовые потери при передаче

В п. 14 Приложения 5 приведен метод пересчета напряженности поля при э.и.м. 1 кВт в эквивалентные базовые потери при передаче.

14 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 8 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.

15 Соответствие с методом Окумура–Хата

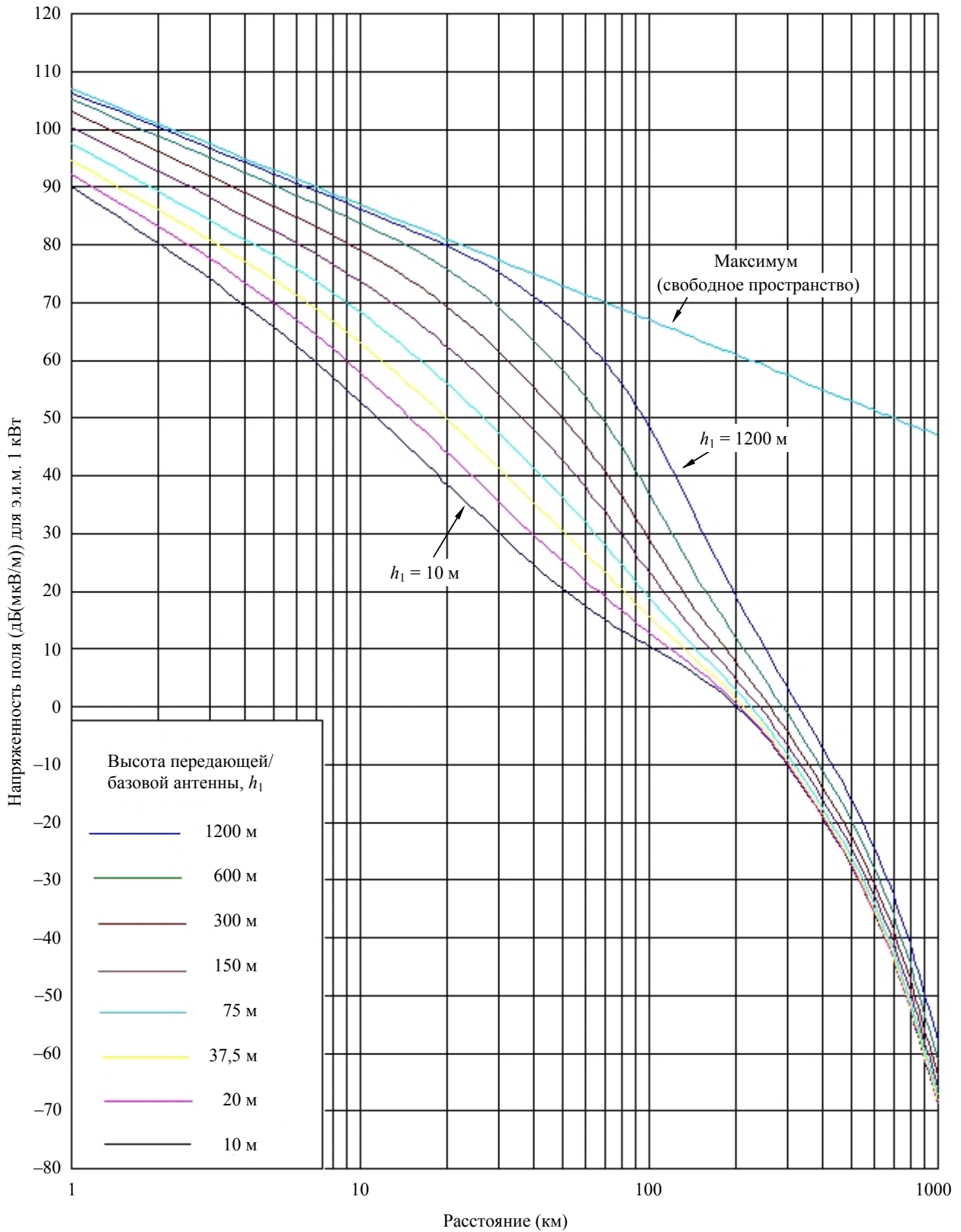
В Приложении 7 приведены уравнения Хата для прогнозирования напряженности поля подвижных служб в городских районах и описаны условия, при которых настоящая Рекомендация дает сходные результаты.

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% мест 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 мест можно рассчитать по данным, приведенным в п. 12 Приложения 5.
- 4** Кривые на рисунках 4–8 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% мест 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. 14 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 бóльшие 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

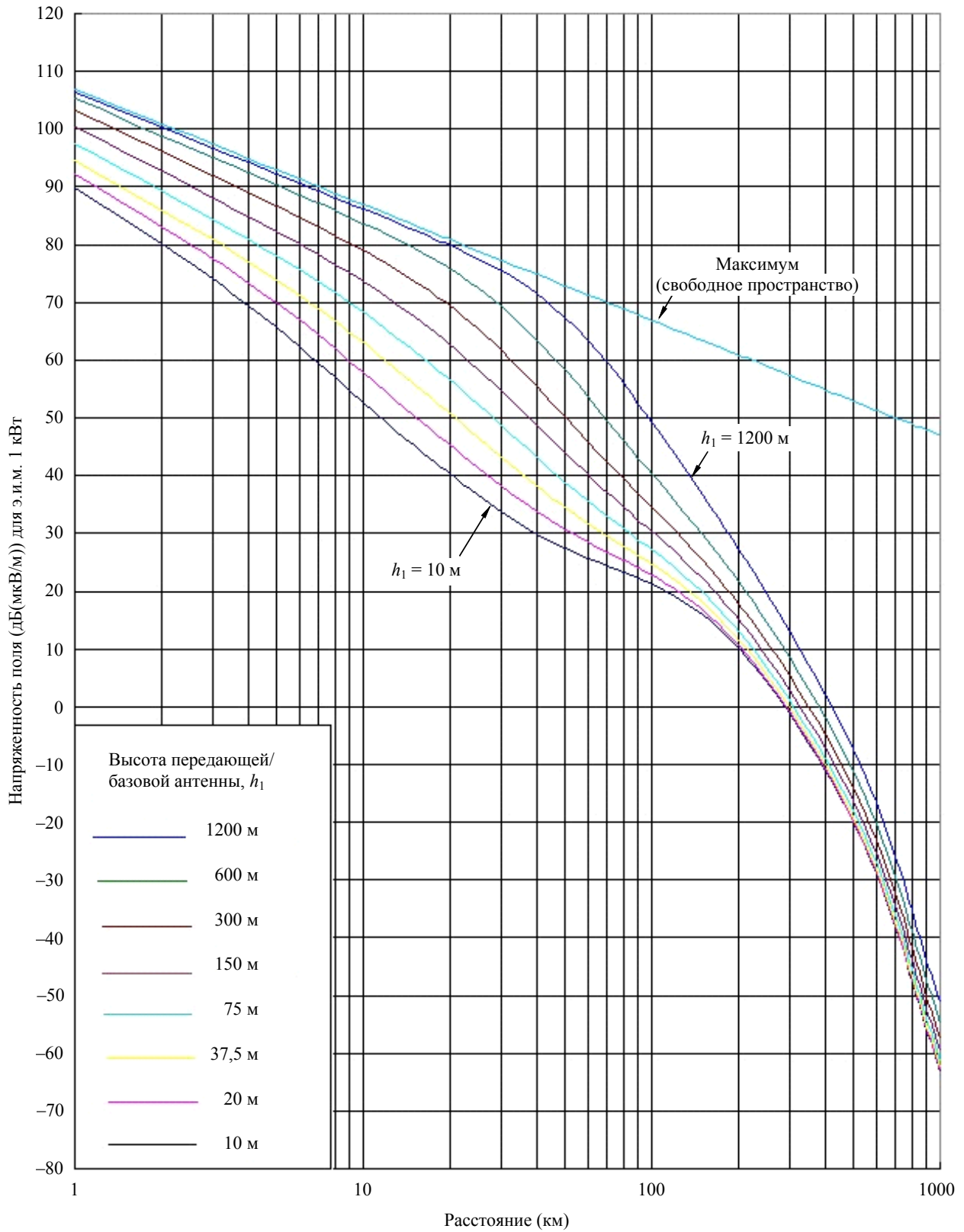


50% мест

h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

1546-01

РИСУНОК 2
100 МГц, сухопутная трасса, 10% времени

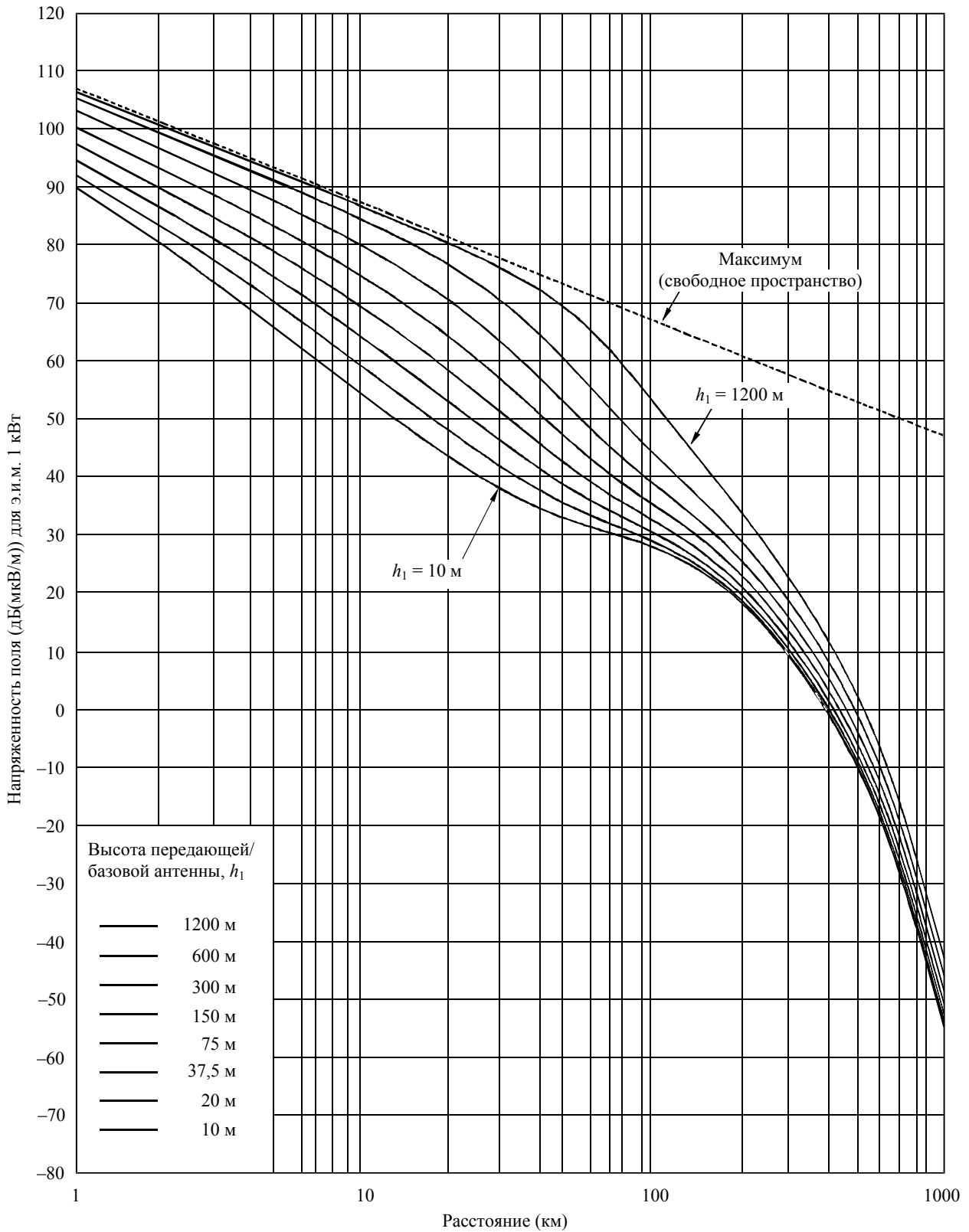


50% мест

h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

1546-02

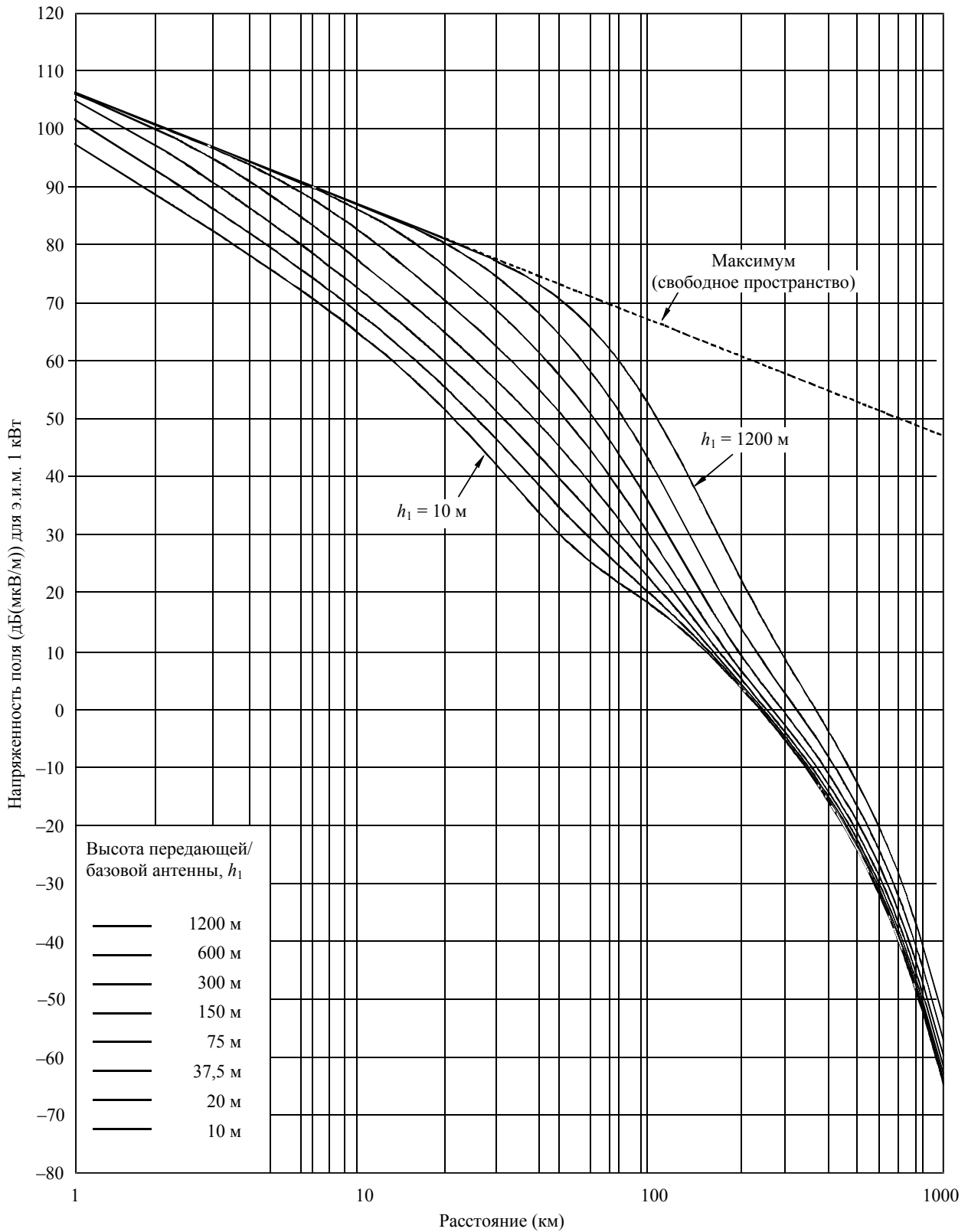
РИСУНОК 3
100 МГц, сухопутная трасса, 1% времени



50% мест

h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

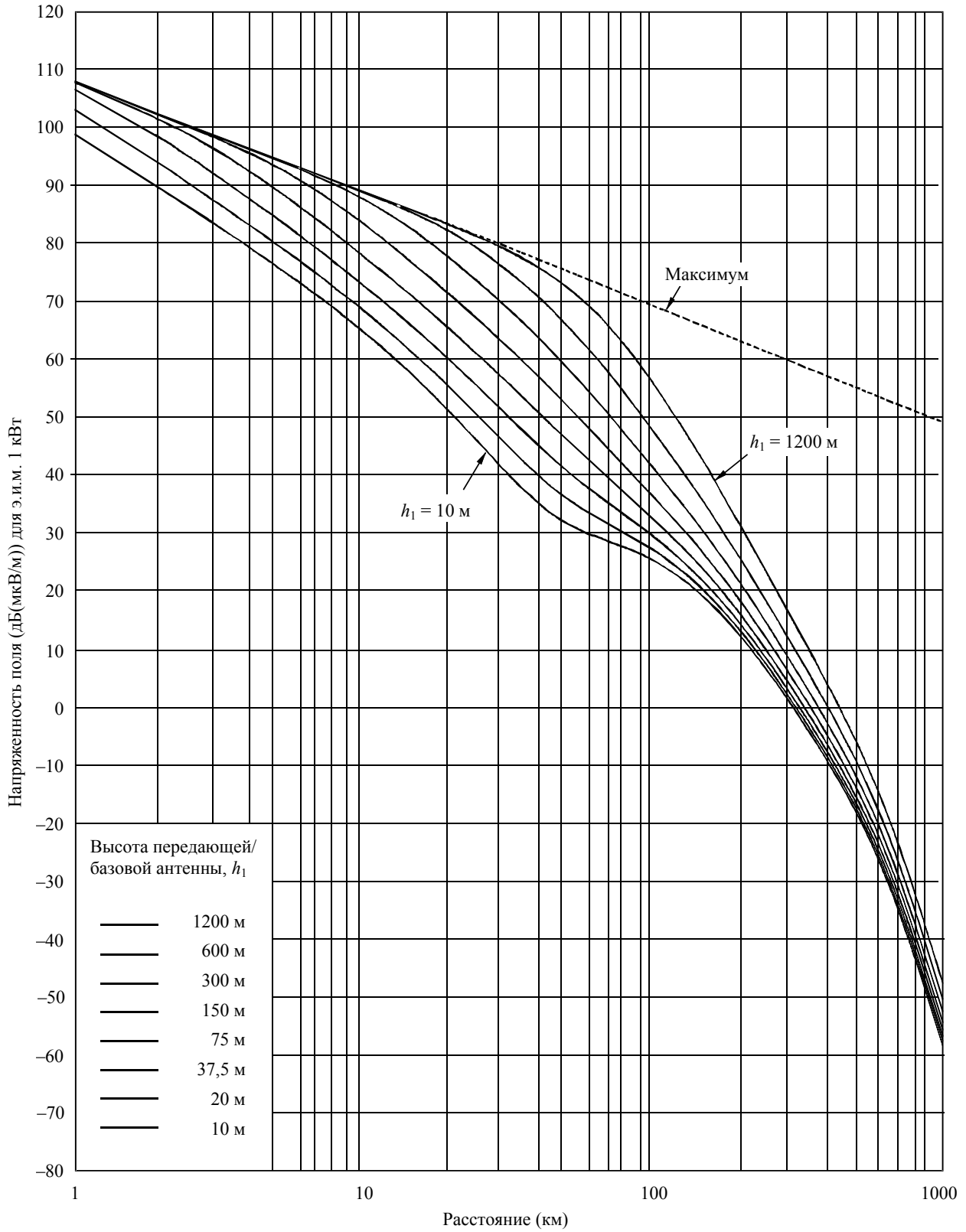
РИСУНОК 4
100 МГц, морская трасса, 50% времени



50% мест
 $h_2 = 10$ м

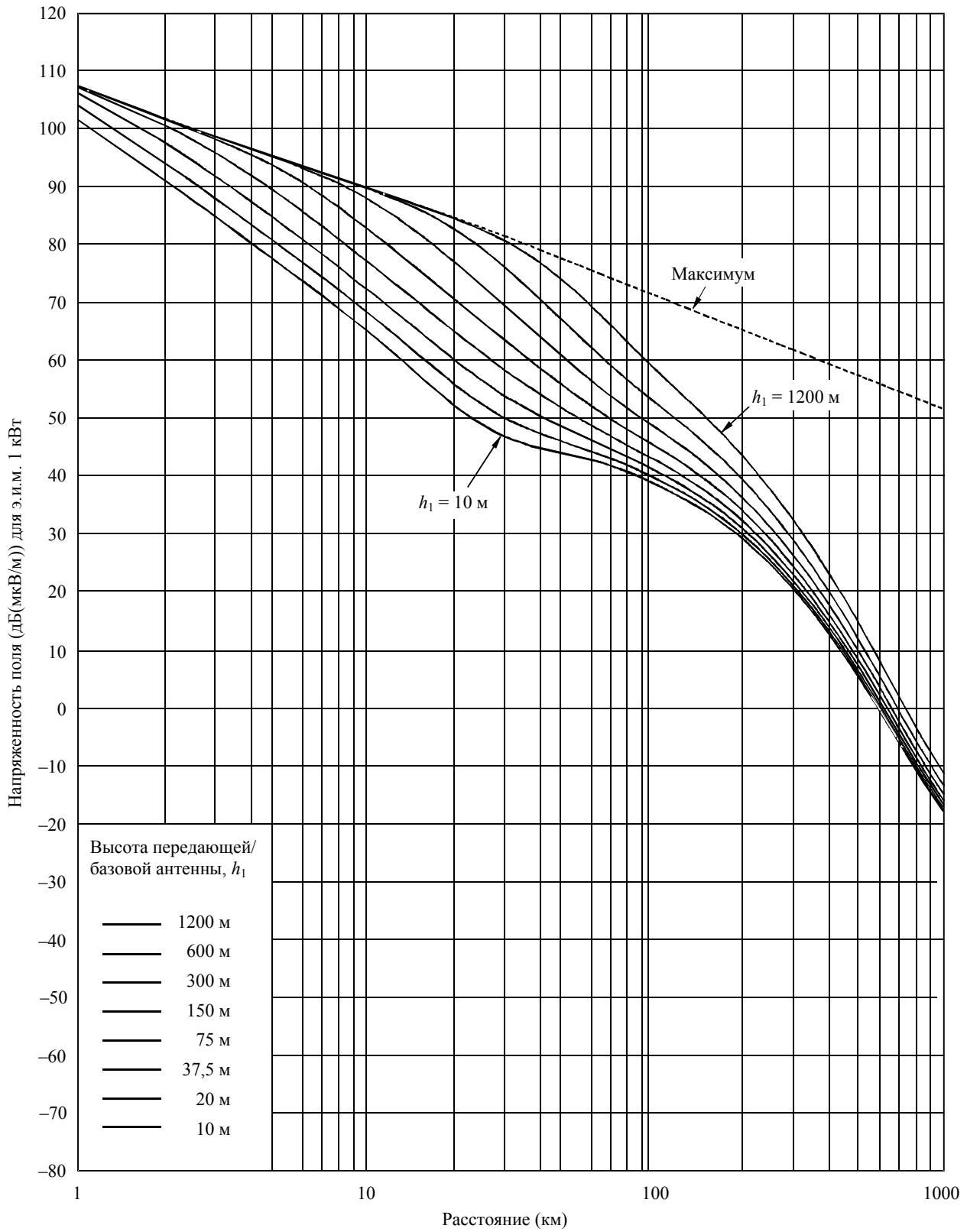
1546-04

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

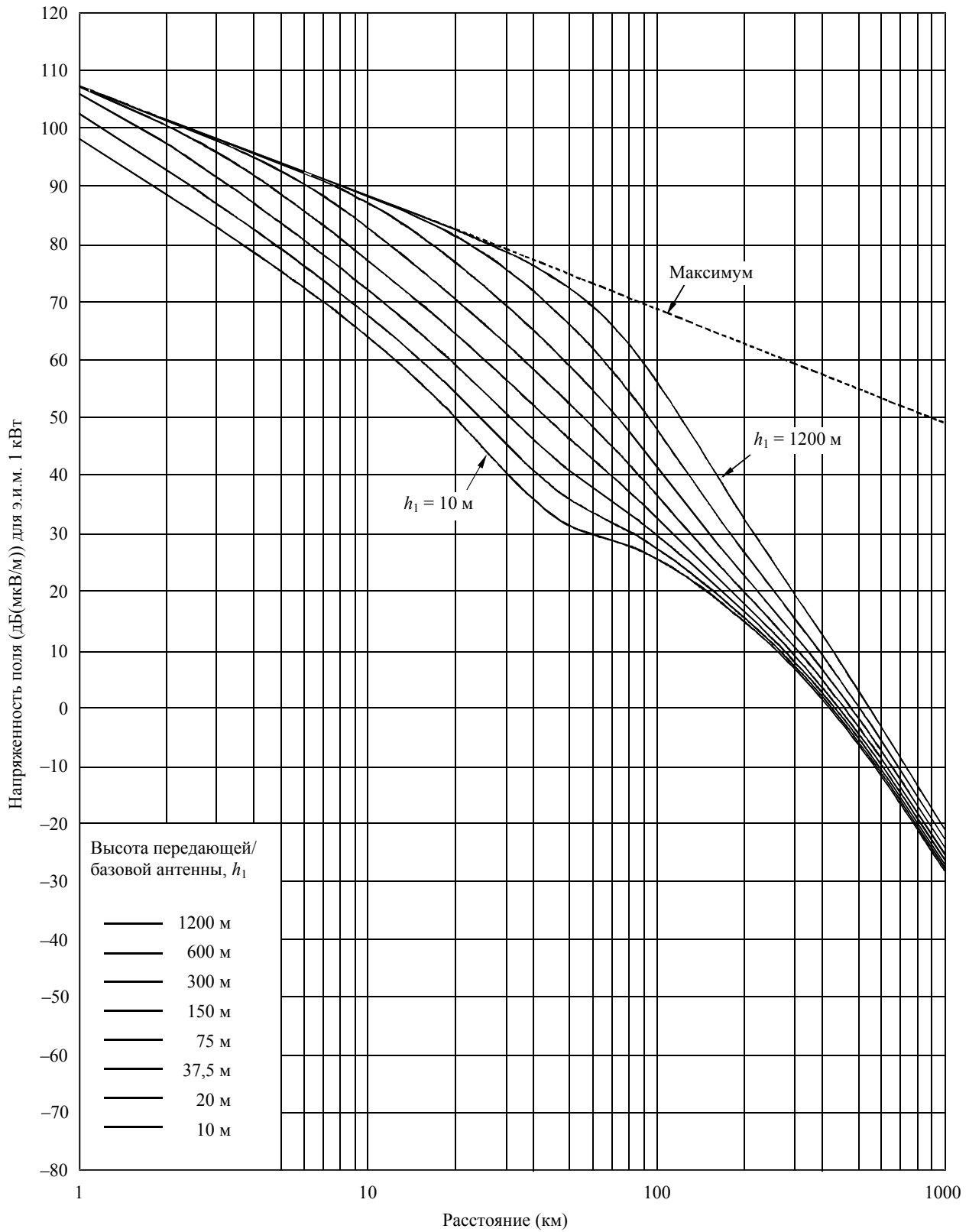


50% мест

 $h_2 = 10$ м

1546-06

РИСУНОК 7
100 МГц, грасса над теплым морем, 10% времени

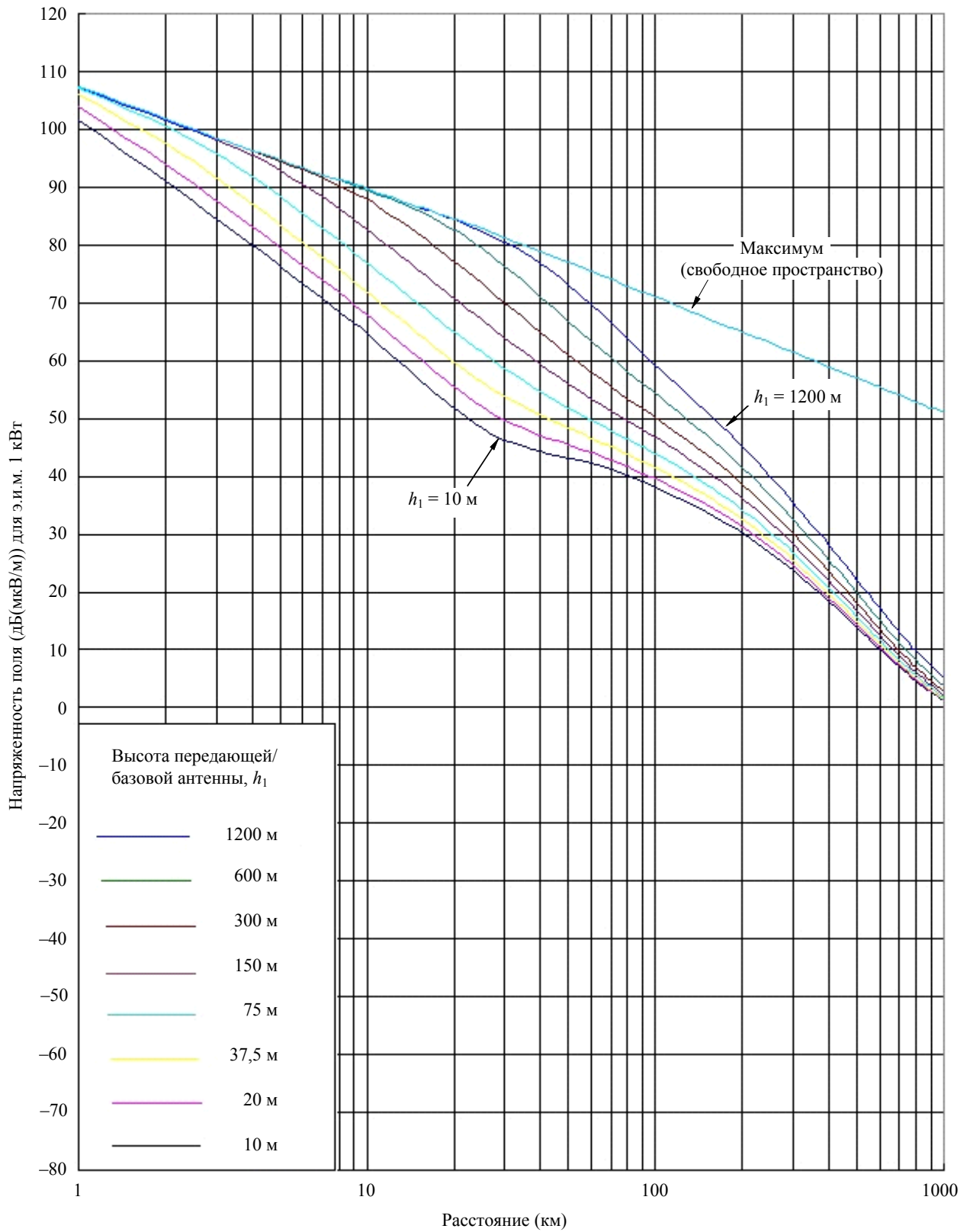


50% мест

 $h_2 = 10$ м

1546-07

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



50% мест

 $h_2 = 10$ м

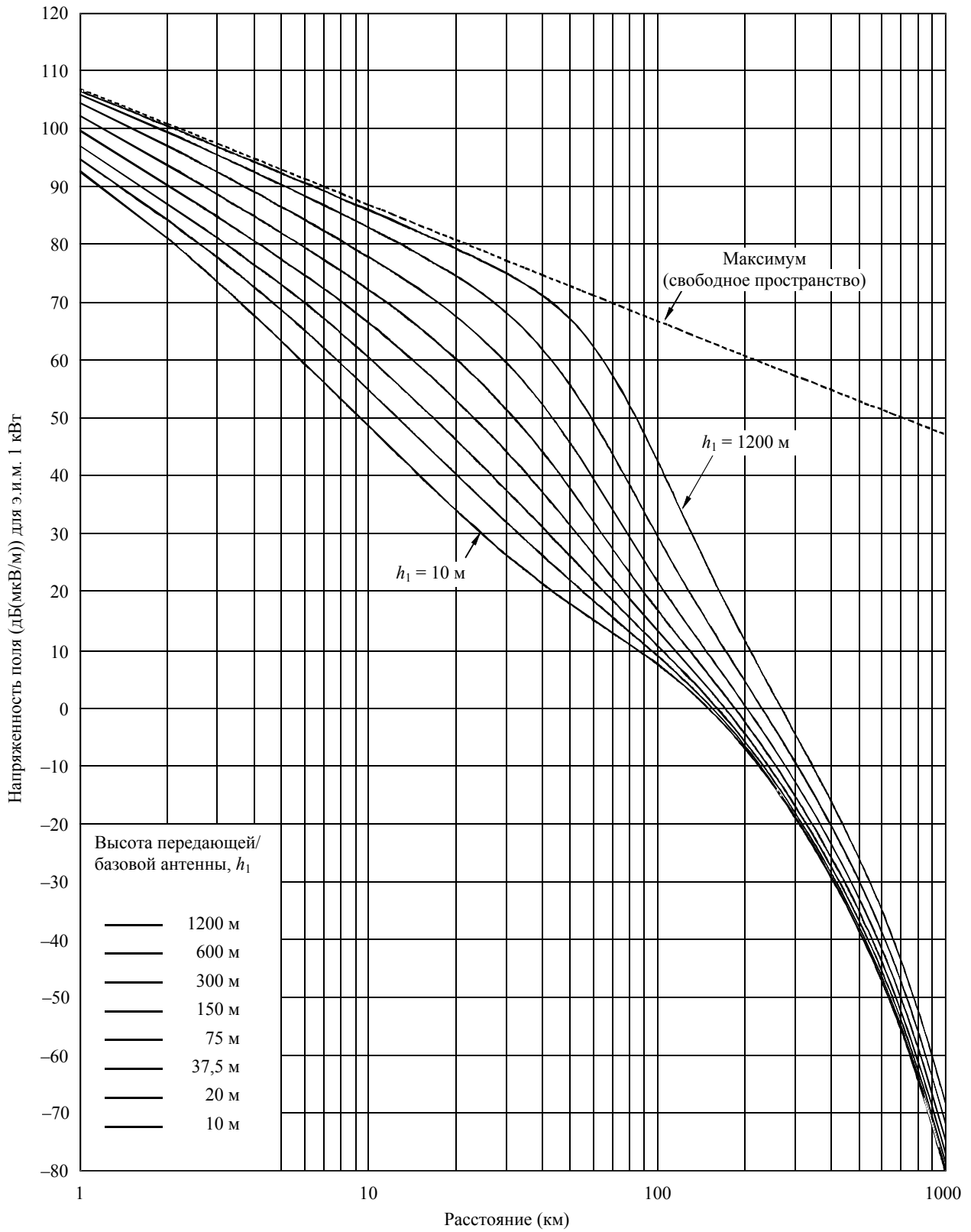
1546-08

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% мест 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 мест можно рассчитать по данным, приведенным в п. 12 Приложения 5.
- 4 Кривые на рисунках 12–16 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% мест 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. 14 Приложения 1.

РИСУНОК 9
600 МГц, сухопутная трасса, 50% времени

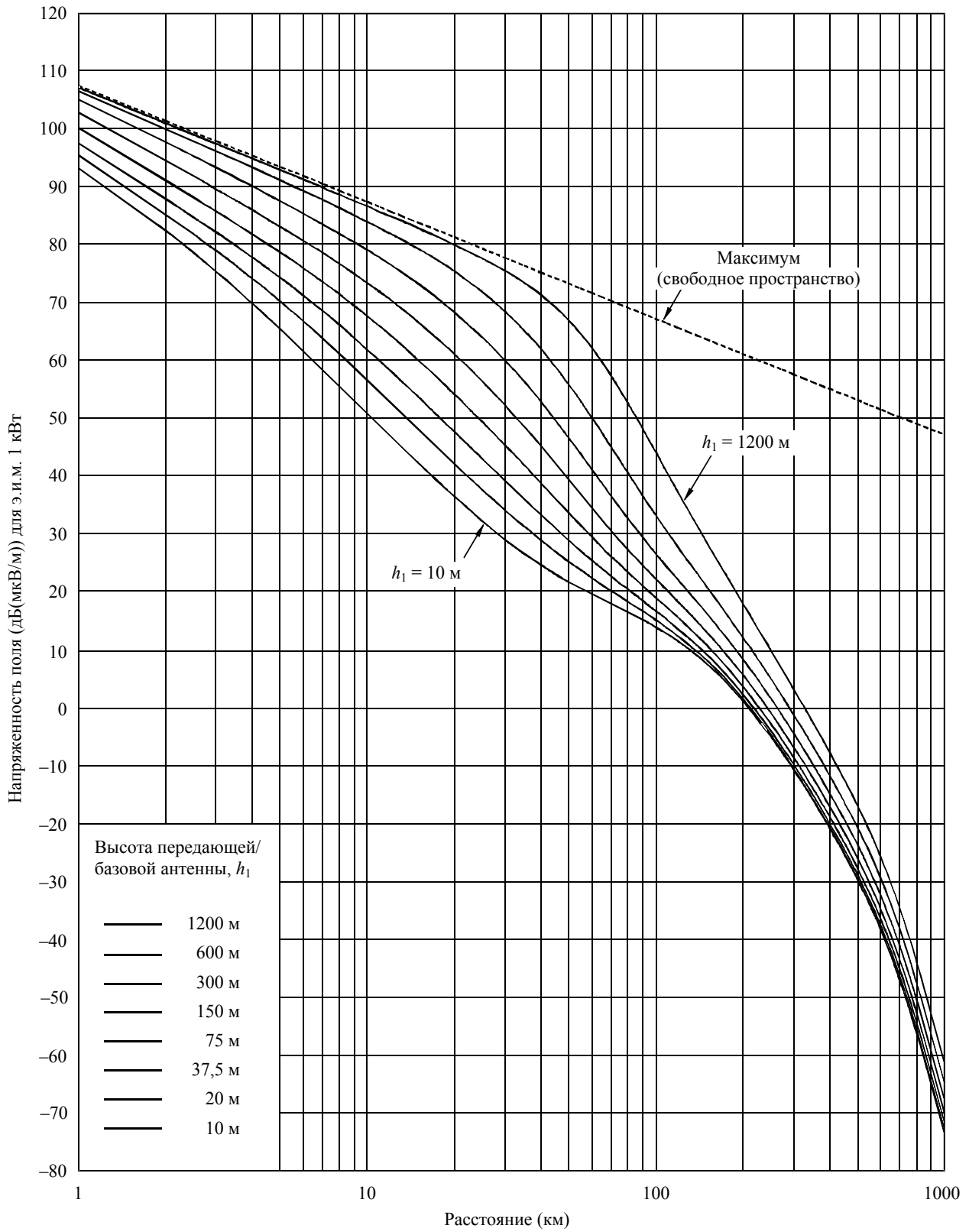


50% мест

h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

1546-09

РИСУНОК 10
600 МГц, сухопутная трасса, 10% времени

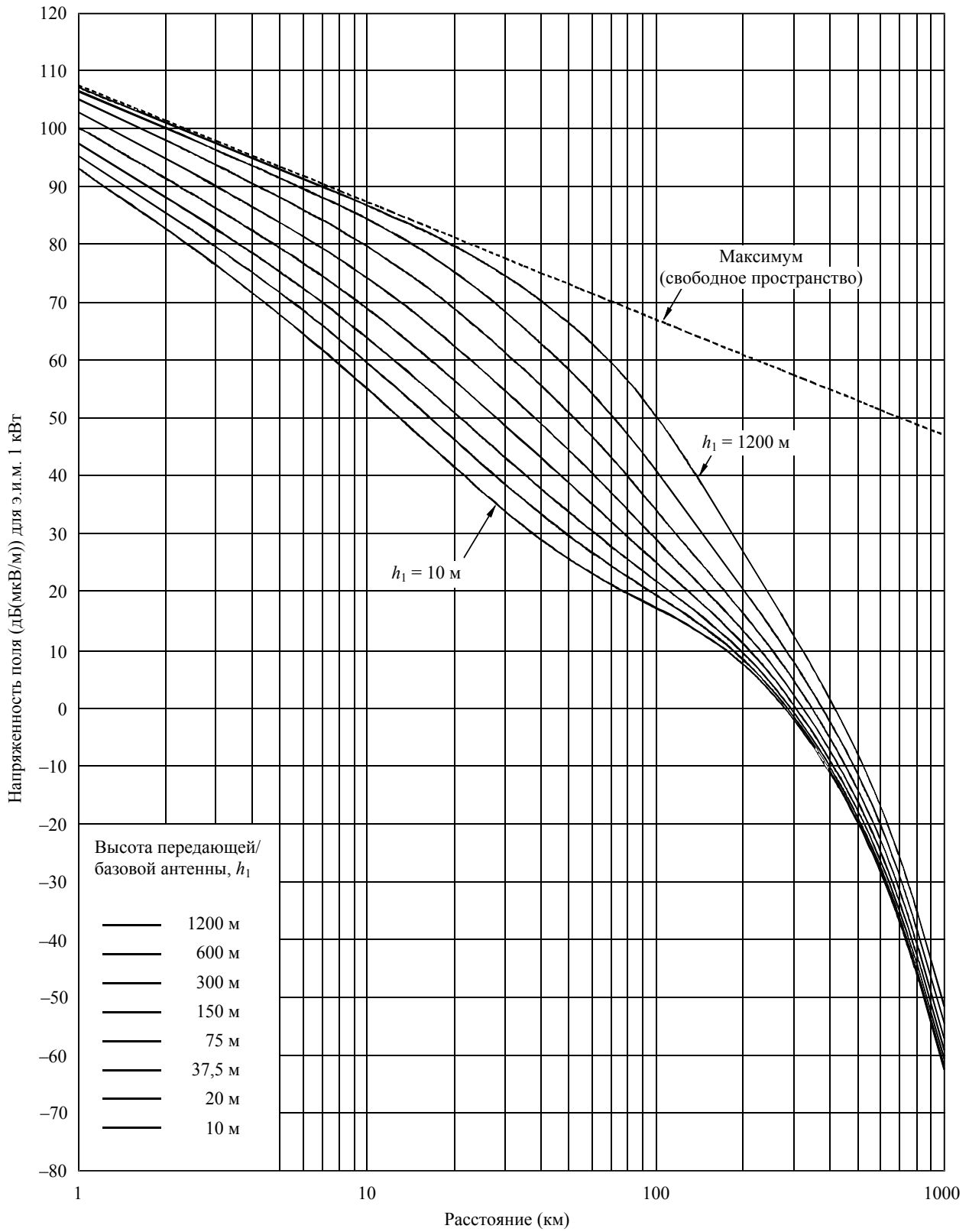


50% мест

h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

1546-10

РИСУНОК 11
600 МГц, сухопутная трасса, 1% времени

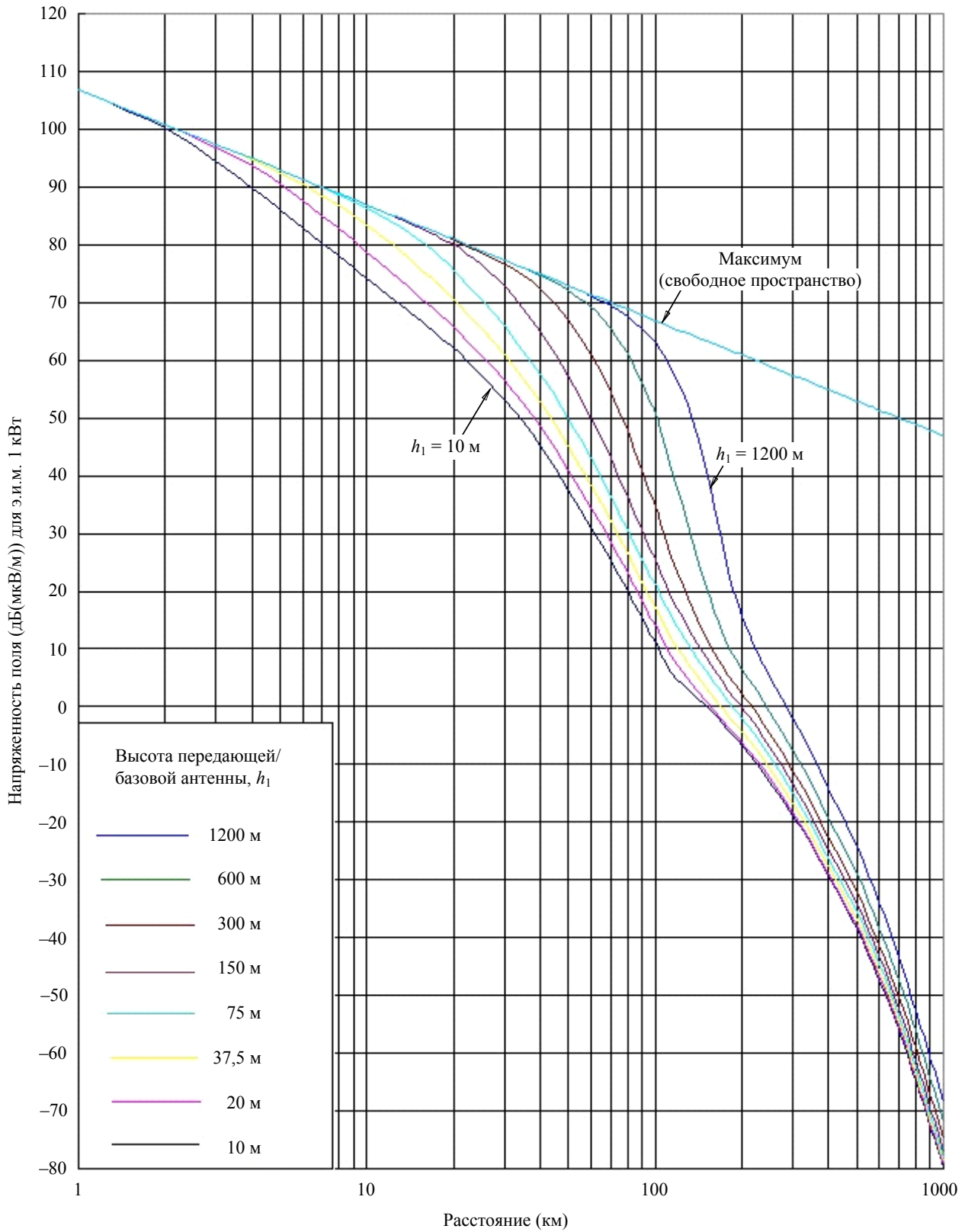


50% мест

h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

1546-11

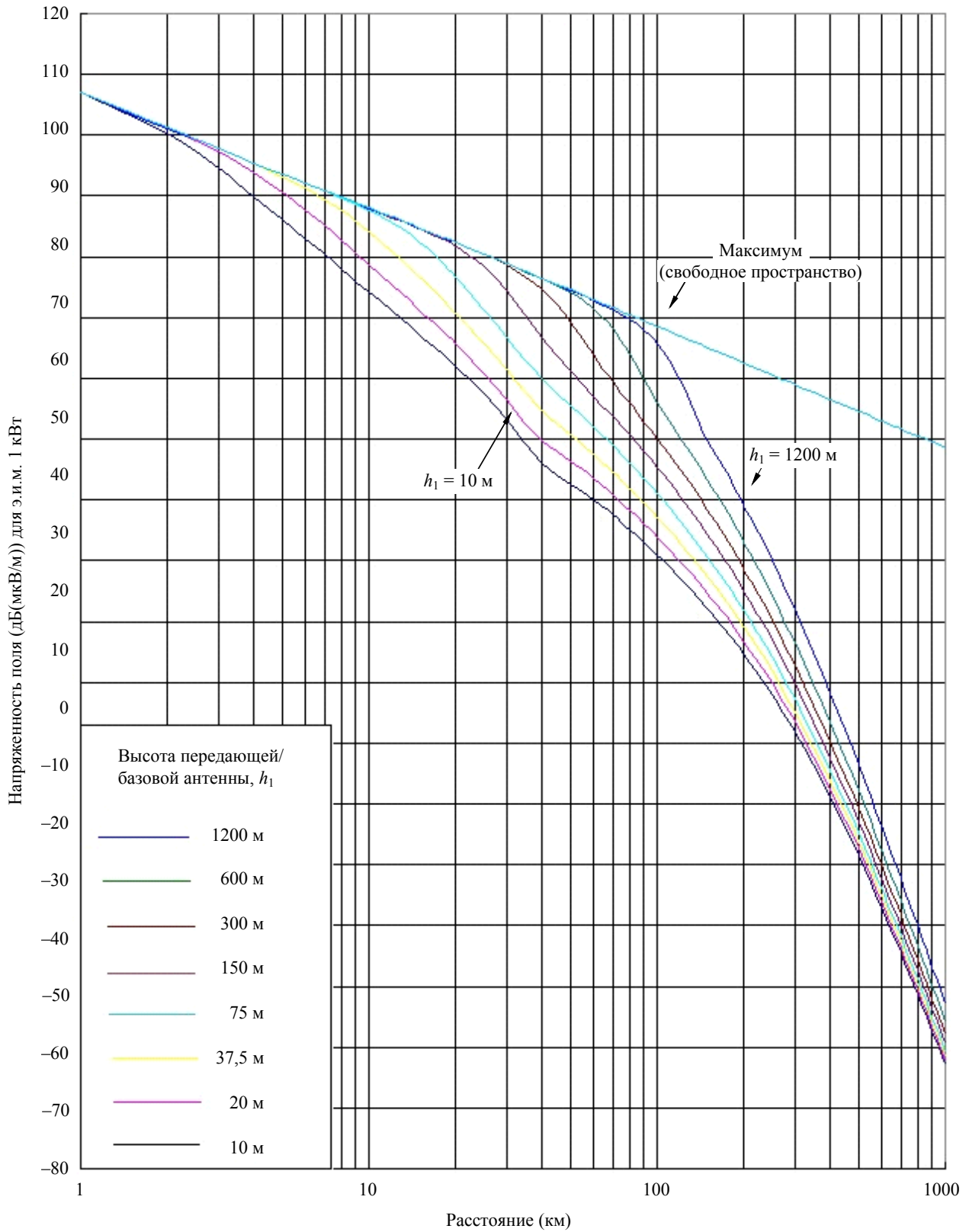
РИСУНОК 12
600 МГц, морская грасса, 50% времени



50% мест

$h_2 = 10$ м

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

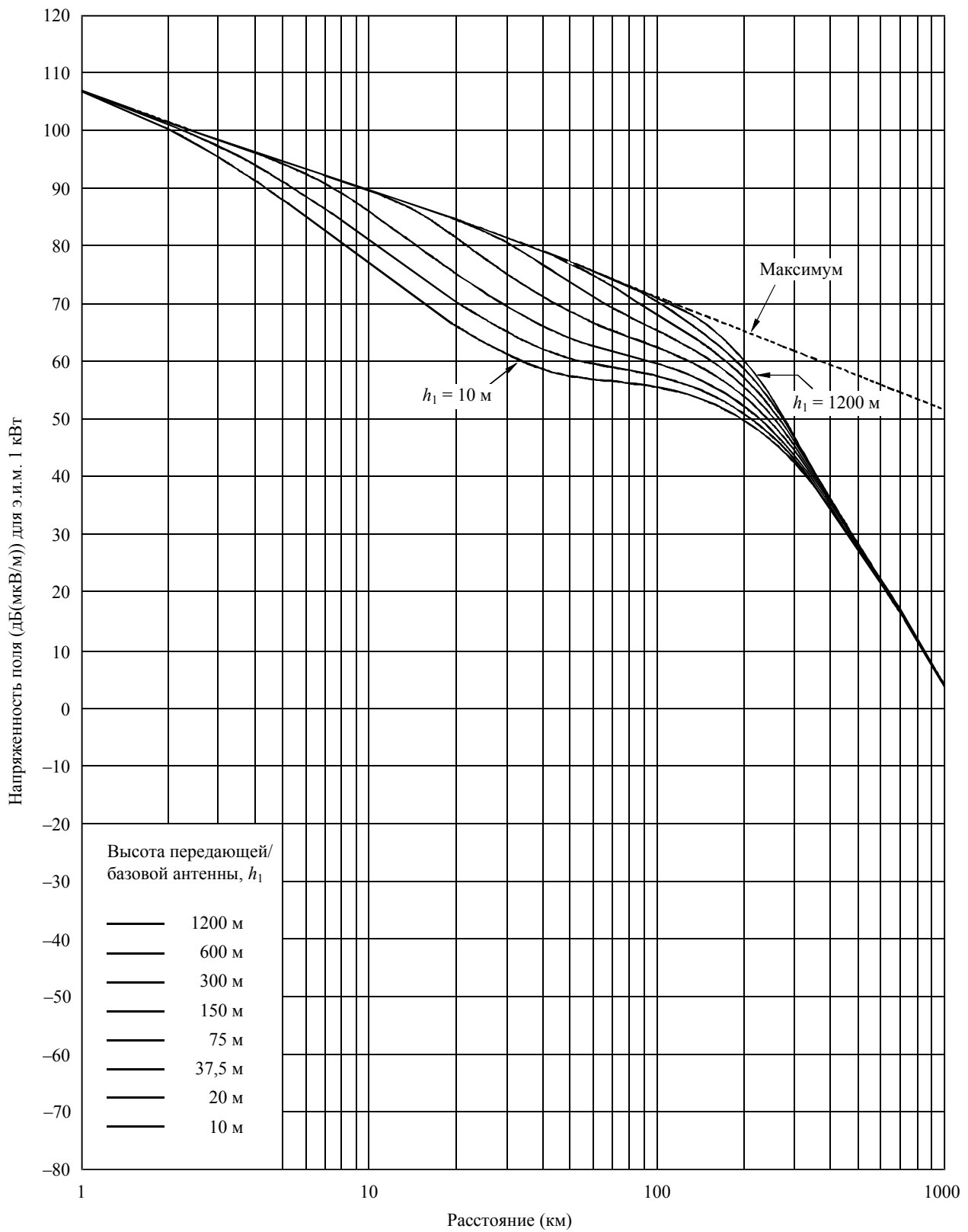


50% мест

 $h_2 = 10$ м

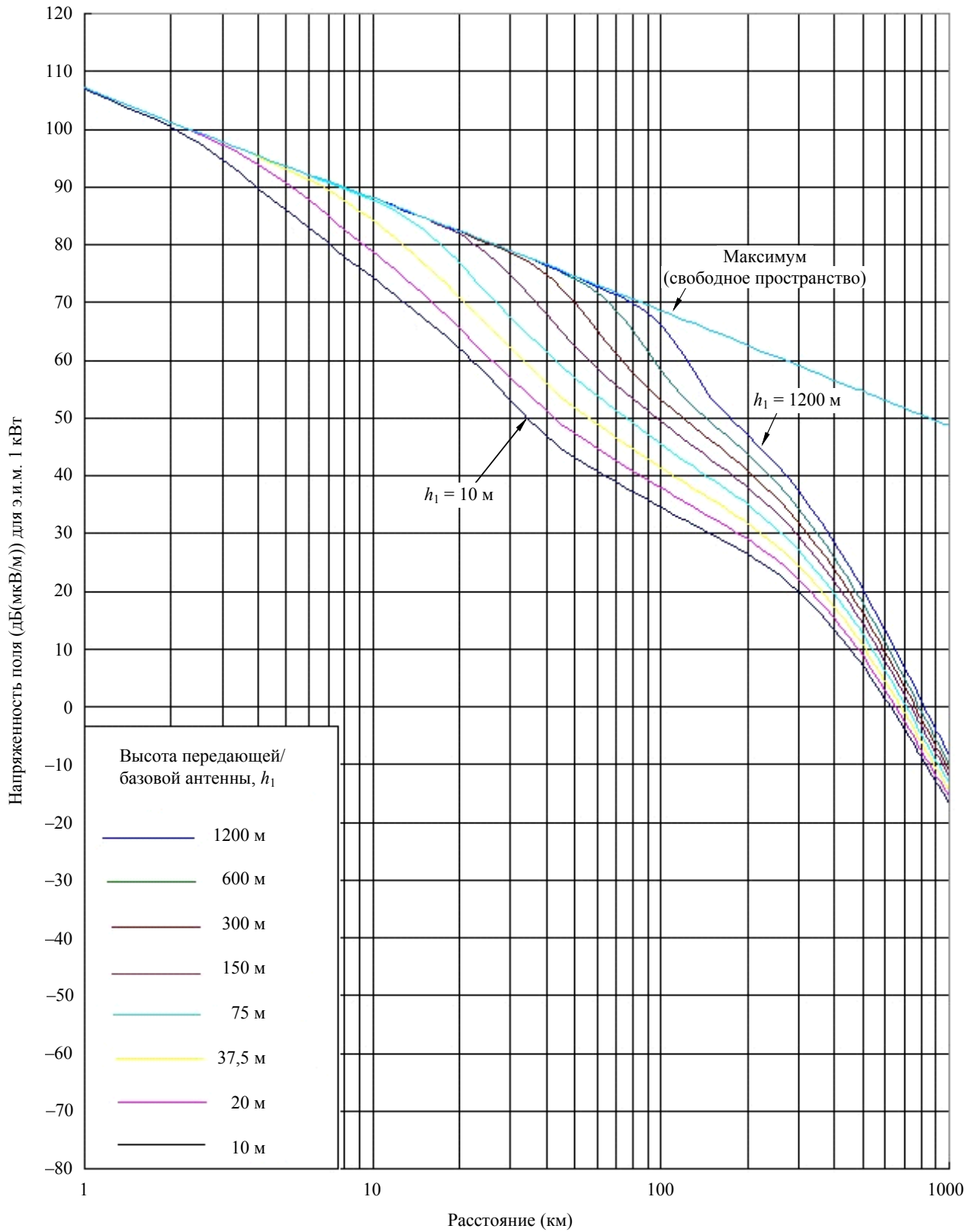
1546-13

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

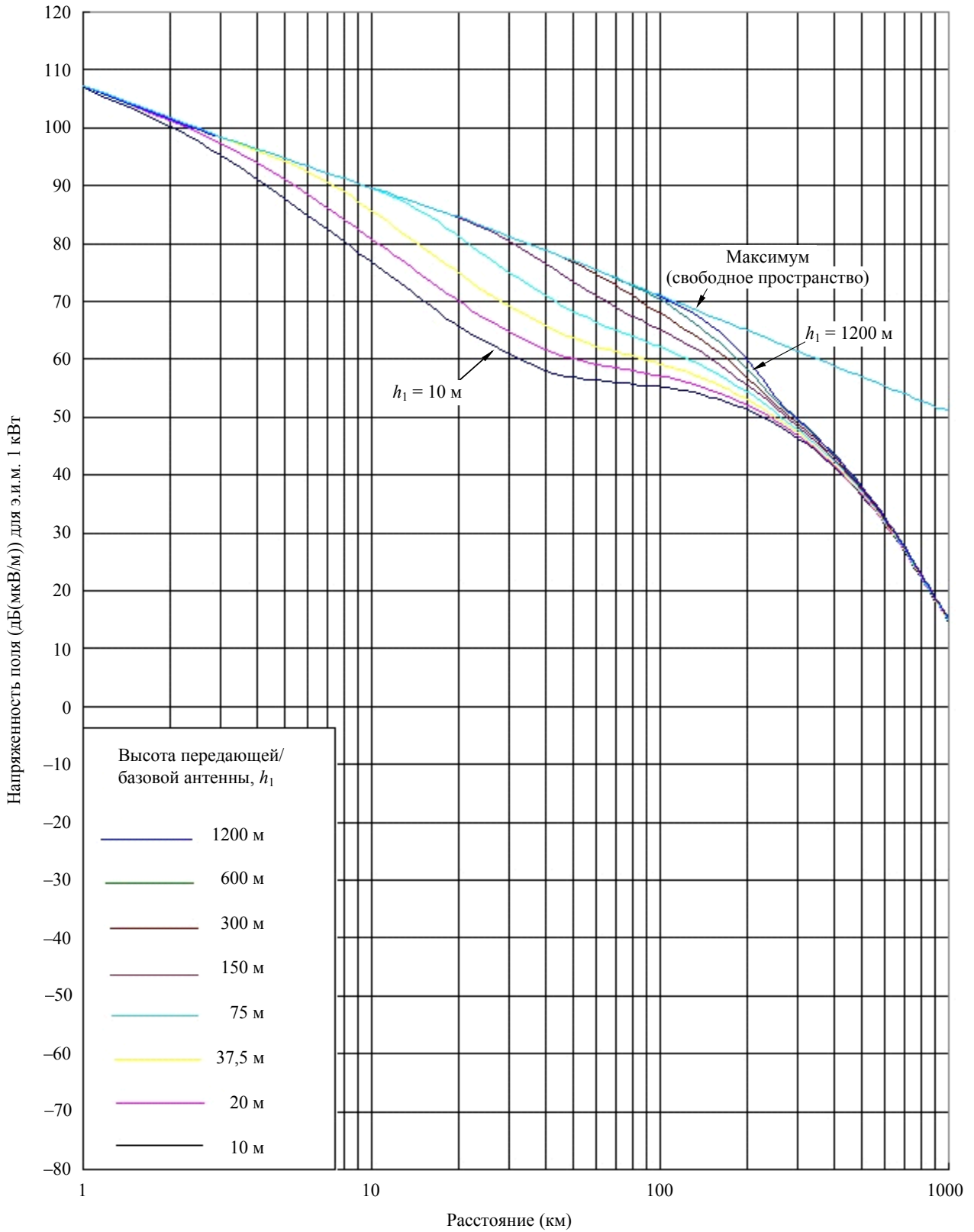


50% мест

$h_2 = 10$ м

1546-15

РИСУНОК 16
600 МГц, трасса над теплым морем, 1% времени



50% мест

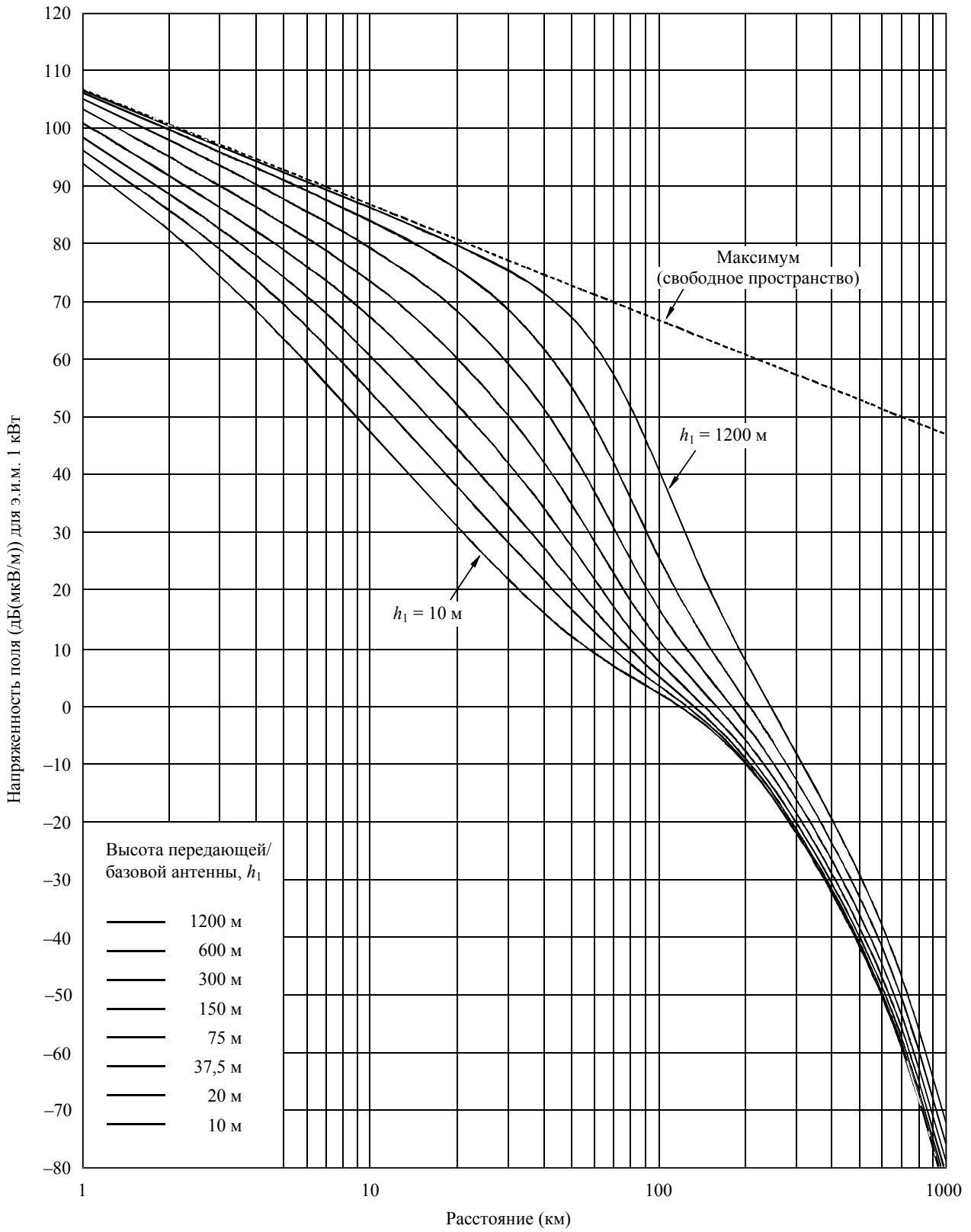
$h_2 = 10$ м

Приложение 4

Диапазон частот от 1000 МГц до 3000 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 3000 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% мест 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 мест можно рассчитать по данным, приведенным в п. 12 Приложения 5.
- 4** Кривые на рисунках 20–24 соответствуют значениям напряженности поля, превышаемым в 50% мест 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. 14 Приложения 1.

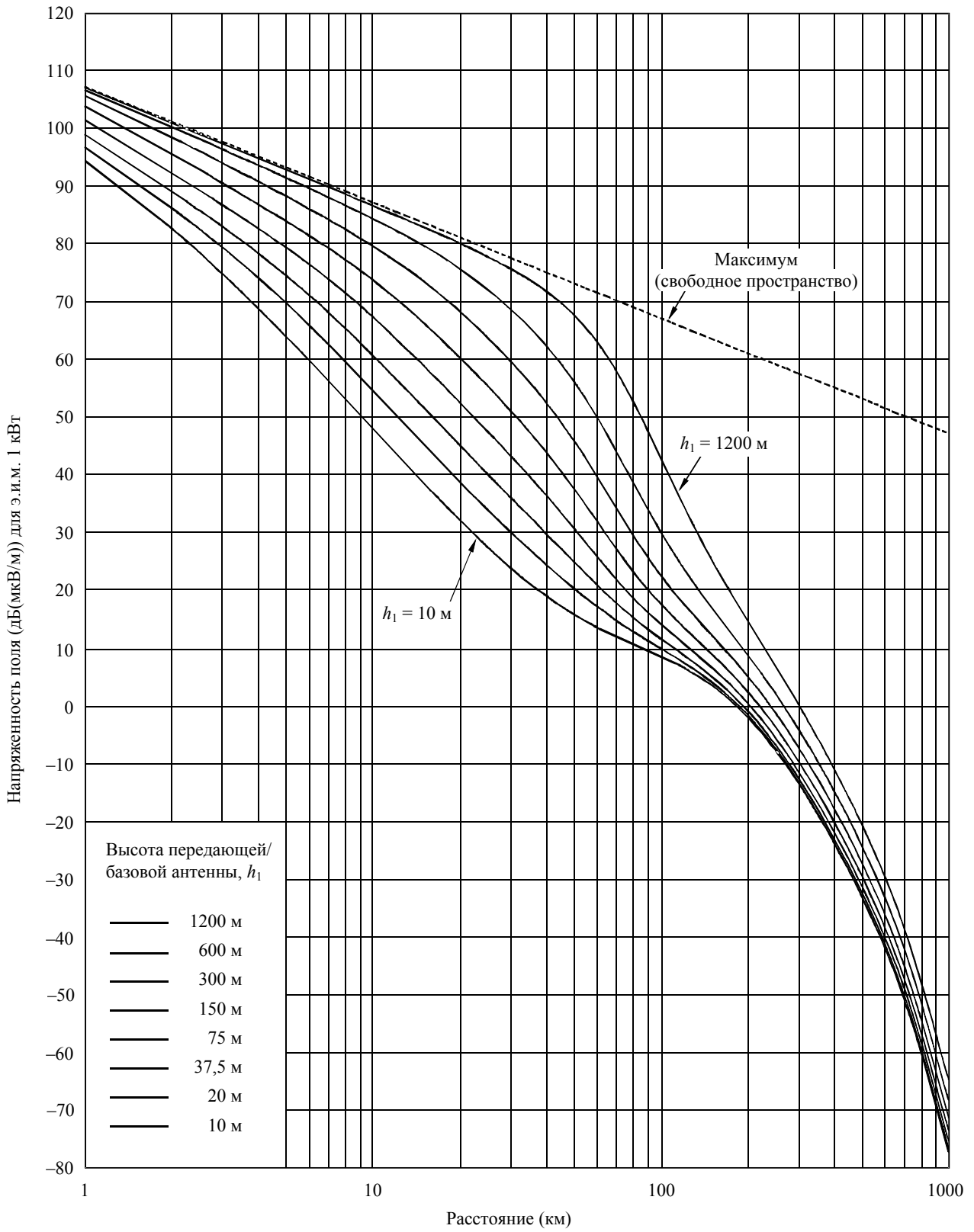
РИСУНОК 17
2000 МГц, сухопутная трасса, 50% времени



50% мест

h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

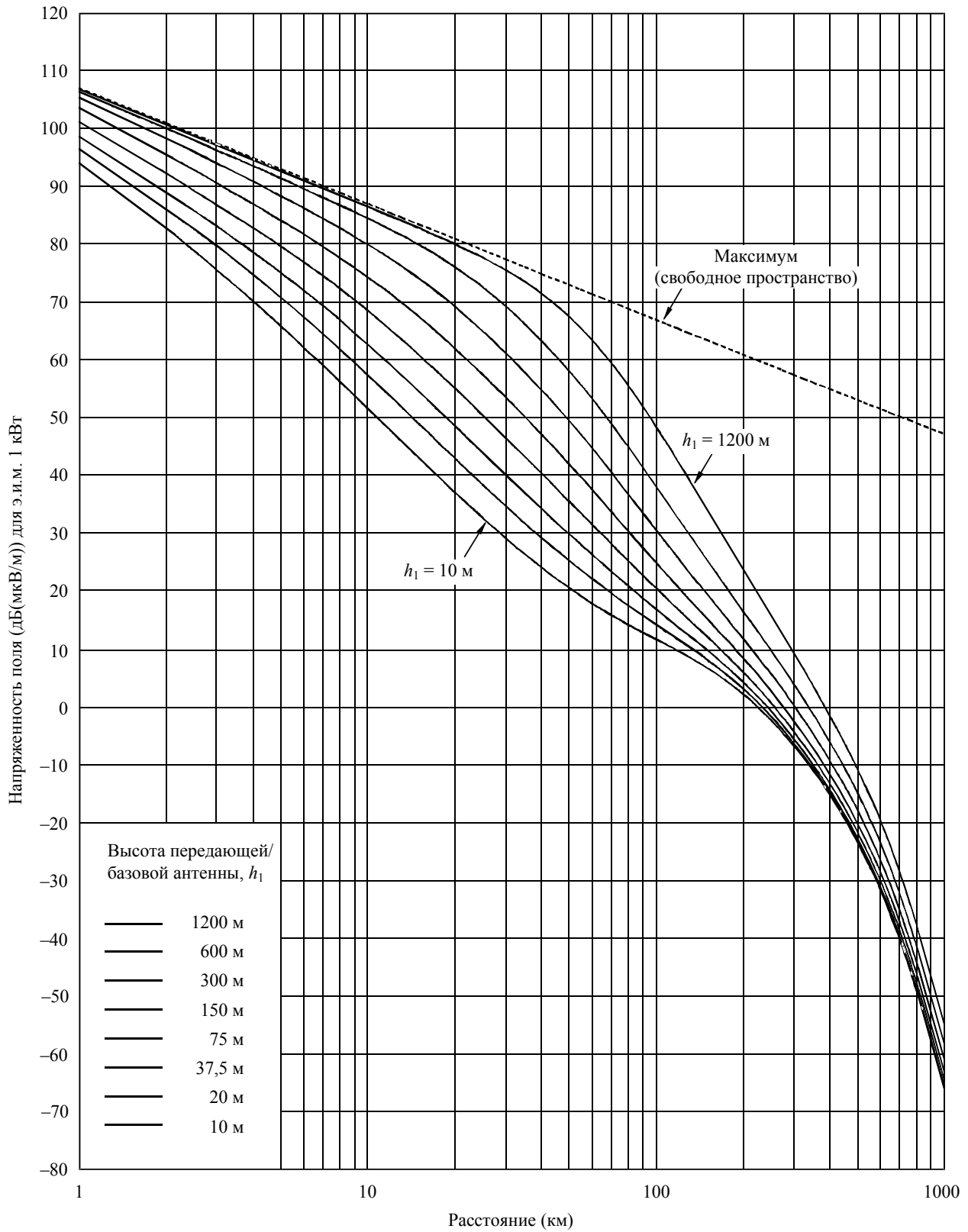
РИСУНОК 18
2000 МГц, сухопутная трасса, 10% времени



50% мест

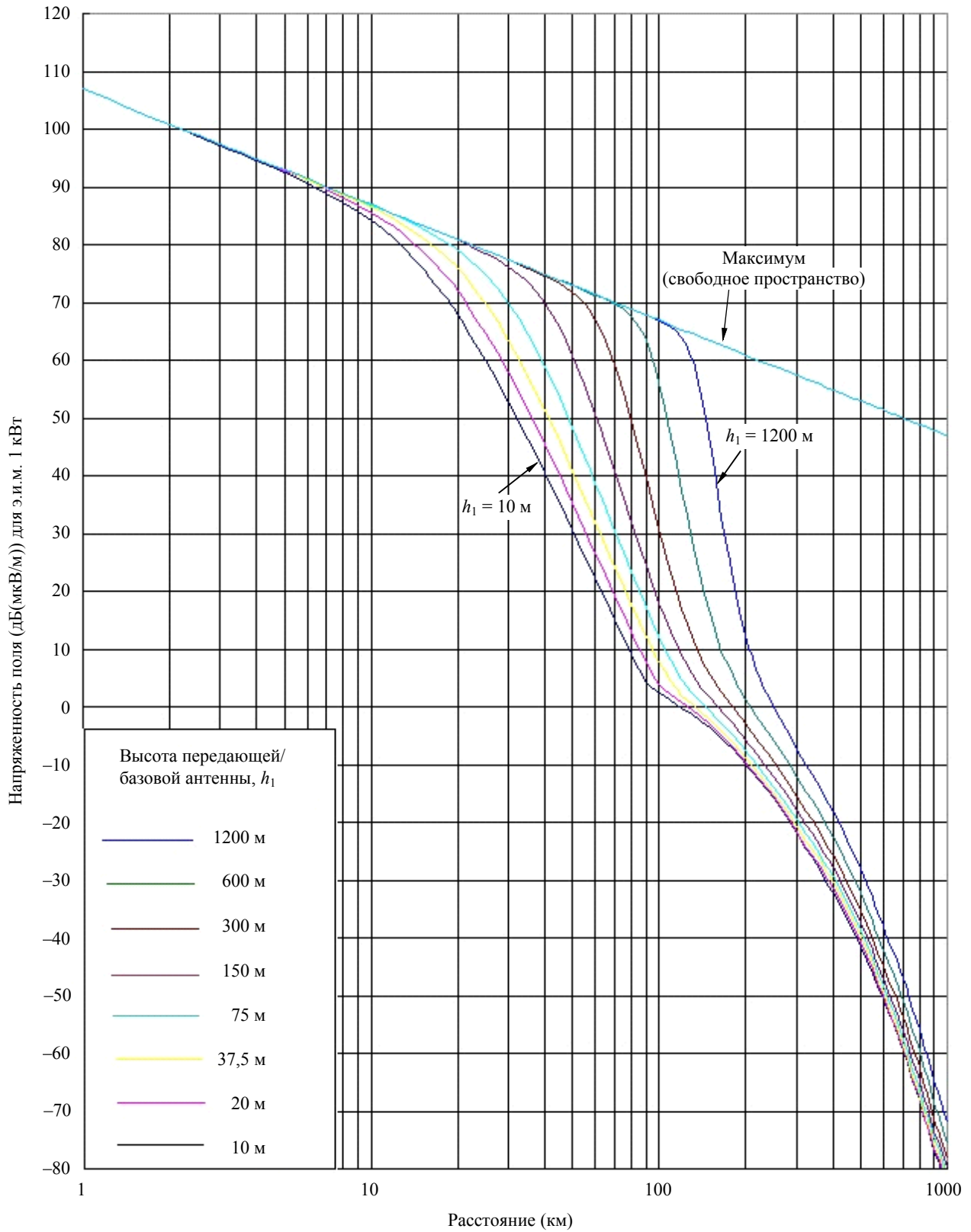
h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

РИСУНОК 19
2000 МГц, сухопутная трасса, 1% времени



50% мест

h_2 : репрезентативная высота местного препятствия

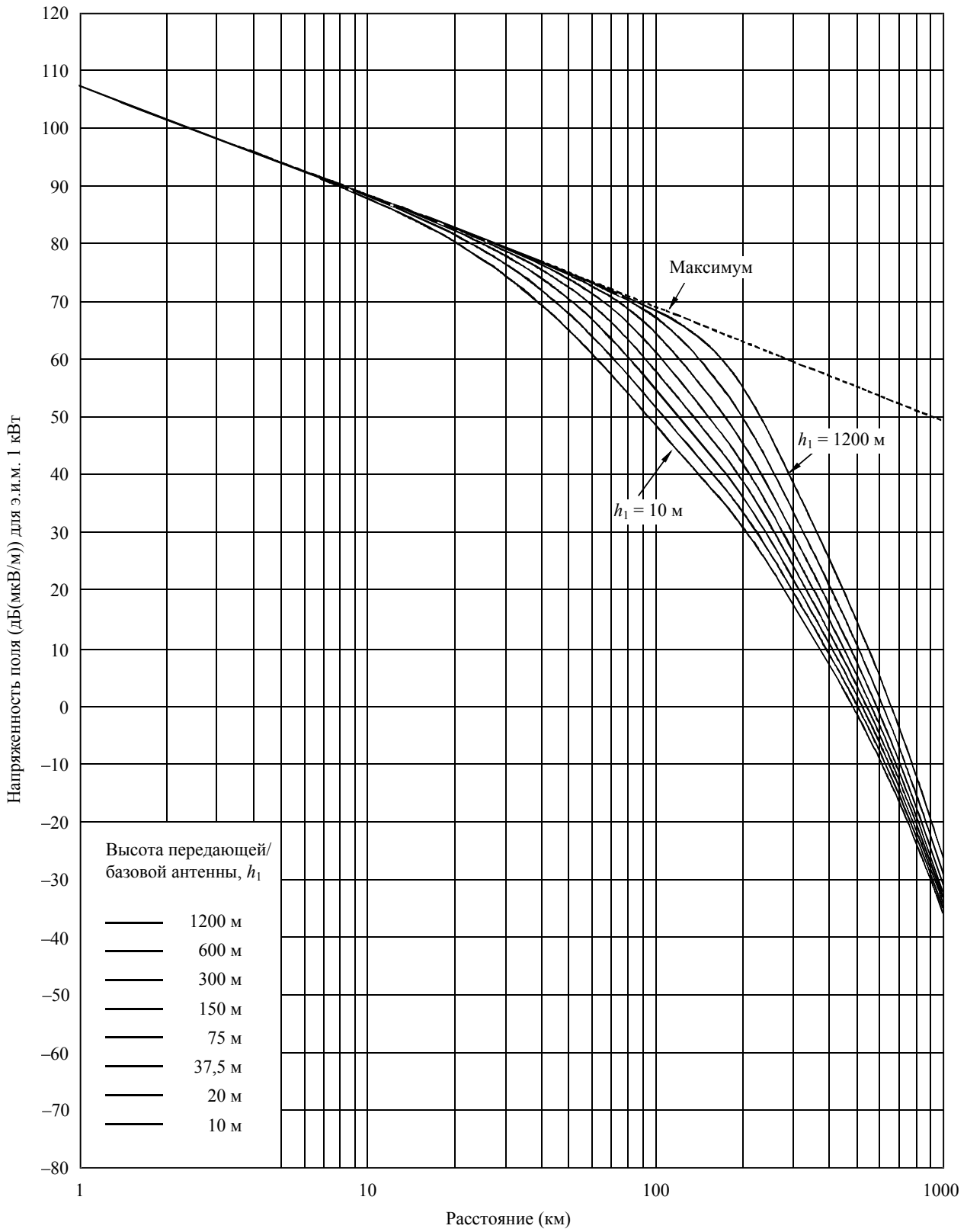
РИСУНОК 20
2000 МГц, морская трасса, 50% времени

50% мест

 $h_2 = 10$ м

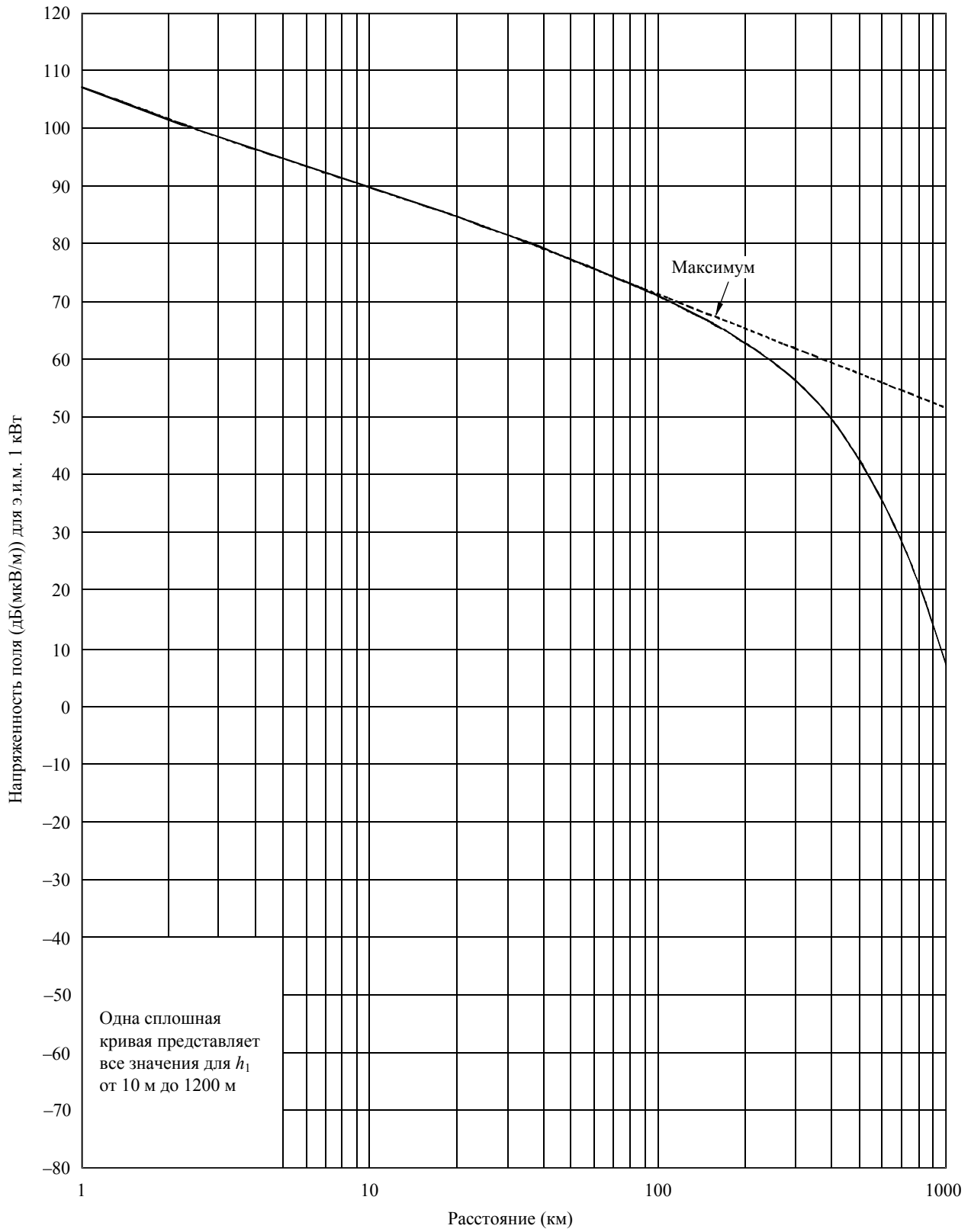
1546-20

РИСУНОК 21
2000 МГц, трасса над холодным морем, 10% времени



50% мест
 $h_2 = 10$ м

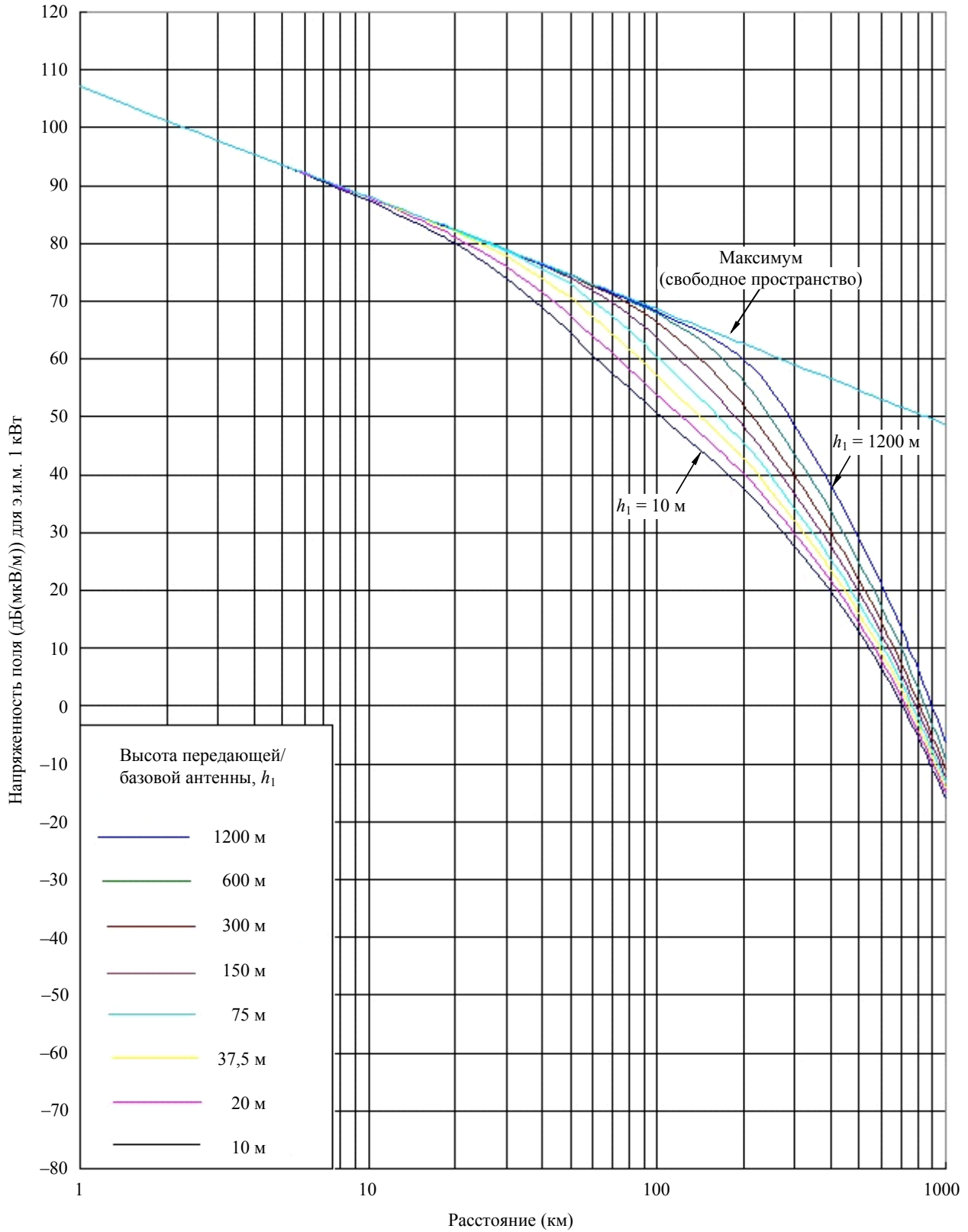
РИСУНОК 22
2000 МГц, трасса над холодным морем, 1% времени



50% мест
 $h_2 = 10$ м

РИСУНОК 23

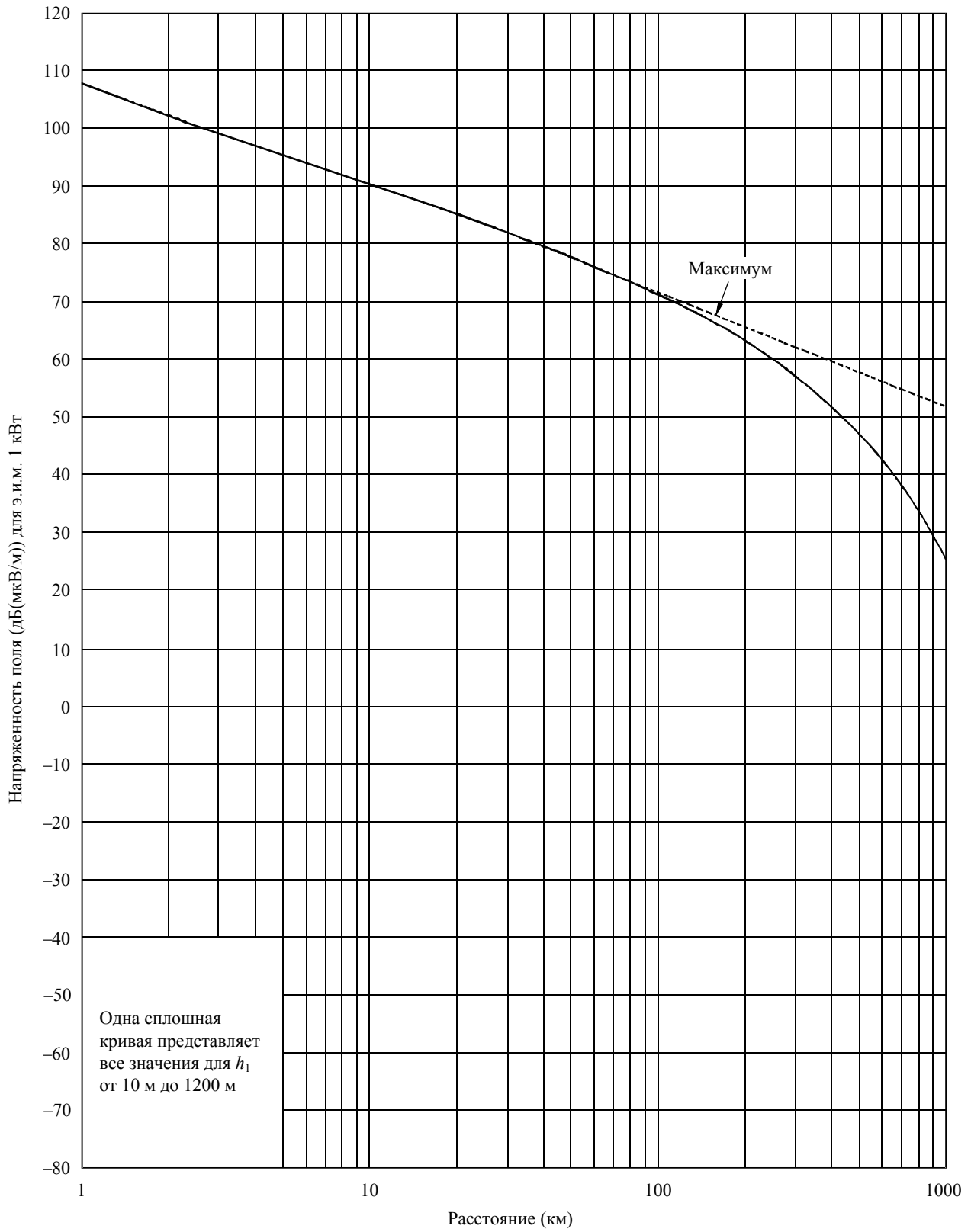
2000 МГц, трасса над теплым морем, 10% времени



50% мест

 $h_2 = 10$ м

1546-23

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

50% мест
 $h_2 = 10$ м

1546-24

Приложение 5

Дополнительная информация и методы для реализации метода прогнозирования

1 Введение

В настоящем Приложении описываются отдельные стадии расчетов. Последовательное описание всех шагов метода 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. 9–12 даются поправки, которые можно добавлять для повышения точности к прогнозируемому уровню напряженности поля. В пп. 13–15 содержится вспомогательная информация.

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 пространстве 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. Настоящая Рекомендация не действительна для передающей/базовой антенны, высота которой ниже окружающих местных препятствий.

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 $0,2d - d$ км.

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 не надежна 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:

Процедура экстраполяции напряженности поля на требуемом расстоянии d км для значений h_1 в диапазоне 0–10 м основывается на расстоянии до горизонта для гладкой поверхности Земли (км), записываемом как $d_H(h) = 4,1\sqrt{h}$, где h – требуемое значение высоты передающей/базовой антенны h_1 (м).

При $d < d_H(h_1)$ напряженность поля задается кривой для высоты 10 м на расстоянии до горизонта плюс ΔE , где ΔE равно разности уровней напряженности поля по кривой для высоты 10 м на расстоянии d и расстоянии до горизонта для h_1 .

При $d \geq d_H(h_1)$ напряженность поля задается кривой для высоты 10 м на расстоянии Δd за расстоянием до горизонта, где Δd равно разности между d и расстоянием до горизонта для h_1 .

Это можно представить с помощью следующей формулы, где $E_{10}(d)$ – напряженность поля (дБ(мкВ/м)), взятая по кривой для высоты 10 м на расстоянии d (км):

$$E = E_{10}(d_H(10)) + E_{10}(d) - E_{10}(d_H(h_1)) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для } d < d_H(h_1) \quad (9a)$$

$$= E_{10}(d_H(10) + d - d_H(h_1)) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для } d \geq d_H(h_1) \quad (9b)$$

Если в уравнении (9b) $d_H(10) + d - d_H(h_1)$ превышает 1000 км даже при $d \leq 1000$ км, E можно определить с помощью линейной экстраполяции для логарифма от расстояния по кривой по следующему уравнению:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (d / D_{inf}) / \log (D_{sup} / D_{inf}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (9c)$$

где

D_{inf} : предпоследнее расстояние по таблице (км);

D_{sup} : последнее расстояние по таблице (км);

E_{inf} : напряженность поля для предпоследнего расстояния по таблице (дБ(мкВ/м));

E_{sup} : напряженность поля для последнего расстояния по таблице (дБ(мкВ/м)).

Следует отметить, что настоящая Рекомендация не действительна для расстояний больше 1000 км. Уравнение (9с) необходимо использовать только для экстраполяции при $h_1 < 10$ м.

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:

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

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

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

где:

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

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

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

$E_{10}(x)$: 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 одновременно учитывать дифракцию и тропосферное рассеяние.

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_{h1d} , которая определяется следующим образом.

- При наличии базы данных о рельефе местности угол просвета местности θ_{eff1} 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 θ_{ica} в уравнении (30е) в методе поправки на угол просвета местности, приведенном в п. 11, чтобы получить C_{h1d} . Следует отметить, что применение этого метода может привести к перелому кривой напряженности поля при переходе вблизи $h_1 = 0$.
- При отсутствии базы данных о рельефе местности (положительный) эффективный угол просвета местности θ_{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, но не приводит к перелому кривой напряженности поля при переходе вблизи $h_1 = 0$. Поправка, которая добавляется к напряженности поля в этом случае, рассчитывается по следующему уравнению:

$$C_{h1d} = 6,03 - J(v) \quad \text{дБ}, \quad (12)$$

где

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

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

и

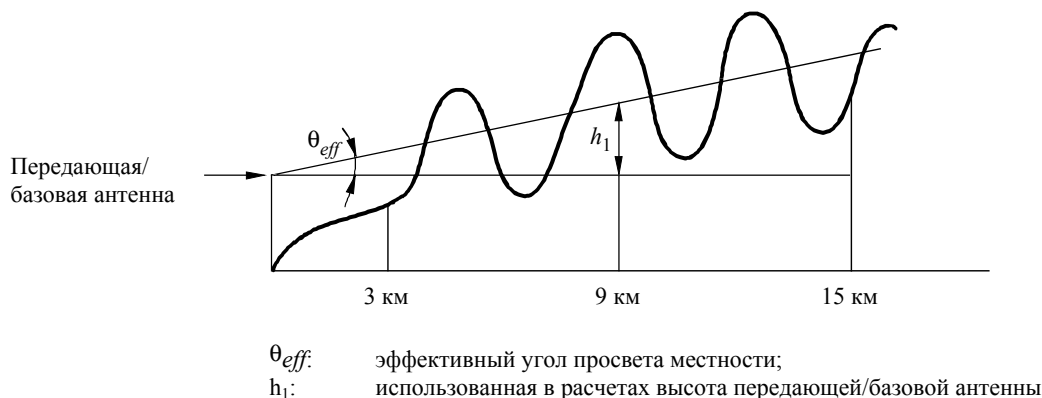
$$\theta_{eff2} = \arctan(-h_1/9000) \quad \text{(градусы)} \quad (12c)$$

$$K_v = 1,35 \quad \text{для 100 МГц}$$

$$K_v = 3,31 \quad \text{для 600 МГц}$$

$$K_v = 6,00 \quad \text{для 2000 МГц}$$

РИСУНОК 25

Эффективный угол просвета для $h_1 < 0$ 

1546-25

Влияние тропосферного рассеяния учитывается с помощью поправки C_{h1t} , которая задается следующим выражением:

$$C_{h1t} = 30 \log \left[\frac{\theta_e}{\theta_e + \theta_{eff}} \right], \quad (13a)$$

где:

$$\theta_e = \frac{180d}{\pi k} \quad (\text{градусы}) \quad (13b)$$

и $\theta_{eff} = \theta_{eff1}$ при наличии базы данных о рельефе местности или $\theta_{eff} = \theta_{eff2}$ при отсутствии базы данных о рельефе местности при:

d : длина канала (км);

a : 6370 км, радиус Земли;

k : 4/3, эффективный коэффициент радиуса Земли для медианных условий рефракции.

Предполагается, что θ_{eff} имеет значение 0,0 для эффективной высоты 0 м.

Окончательная поправка для отрицательной h_1 рассчитывается как:

$$C_{h1} = \max[C_{h1d}, C_{h1t}] \quad (14)$$

Эту поправку 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:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(d / d_{inf}) / \log(d_{sup} / d_{inf}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (15)$$

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 меньше 1 км или больше 1000 км.

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	1000

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:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (f / f_{inf}) / \log (f_{sup} / f_{inf}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (15a)$$

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. 15.

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. 15.

Если не выполняется любое из приведенных выше условий, следует использовать стандартный метод интерполяции или экстраполяции, определяемый уравнением (15).

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

$$E = E_{max} \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для } d \leq d_f \quad (16a)$$

$$= E_{d_f} + (E_{d_{600}} - E_{d_f}) \log(d/d_f) / \log(d_{600}/d_f) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для } d > d_f, \quad (16b)$$

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. 15;

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. 15;

$E_{d_{600}}$: напряженность поля на расстоянии d_{600} и на требуемой частоте, рассчитываемая с помощью уравнения (15a).

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:

$$E = E_{sup} (Q_{inf} - Q_t) / (Q_{inf} - Q_{sup}) + E_{inf} (Q_t - Q_{sup}) / (Q_{inf} - Q_{sup}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (17)$$

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.

Метод расчета $Q_i(x)$ приведен в п. 13 Приложения 5.

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/подвижной антенны при репрезентативной высоте местных препятствий, R , 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:

$$E = (1 - A) \cdot E_{land}(d_{total}) + A \cdot E_{sea}(d_{total}) \quad (18)$$

с коэффициентом интерполяции для смешанной трассы A , определяемым в п. 8.1 Приложения 5.

Метод для смешанных трасс носит общий характер и охватывает случаи, когда семейства кривых напряженности поля определены для разных зон распространения (которые могут, например, включать прибрежную полосу в качестве отдельной зоны распространения с условиями распространения, которые больше подходят для морских трасс, чем для сухопутных), а также когда необходимо рассчитать напряженность поля для смешанной трассы, пересекающей две или более различные зоны распространения. Для этих случаев рекомендуют использовать следующий метод для смешанной трассы.

- а) Для всех частот и всех процентов времени при таких сочетаниях зон распространения, при которых нет переходов между сушей и морем или сушей и прибрежной полосой, используется приведенная ниже процедура расчета напряженности поля:

$$E = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}), \quad (19)$$

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.

- b) 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 (18).
- c) 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:

$$E = (1 - A) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{lT}} + A \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{sT}}, \quad (20)$$

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_{lT} : 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 $= d_{lT} + d_{sT}$.

8.1 Коэффициент интерполяции A для смешанной трассы

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:

$$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn} \quad \text{общая длина проходимых морских и прибрежных участков трассы} \quad (21a)$$

$$d_{IT} = \sum_{m=1}^{M_I} d_{Im} \quad \text{общая длина проходимых сухопутных участков трассы} \quad (21b)$$

$$d_T = d_{sT} + d_{IT} \quad \text{длина всей трассы распространения} \quad (21c)$$

Необходимы следующие значения напряженности поля:

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

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

Коэффициент интерполяции¹ определяется следующим выражением:

$$A = A_0 (F_{sea})^V, \quad (22)$$

где

$A_0(F_{sea})$: базовый коэффициент интерполяции, приведенный на рисунке 26.

При необходимости значения функции $A_0(F_{sea})$ можно взять непосредственно из рисунка 26. Однако приведенное ниже выражение дает отличную аналитическую аппроксимацию кривой:

$$A_0(F_{sea}) = 1 - (1 - F_{sea})^{2/3} \quad (23)$$

Доля трассы, проходящей над морем, F_{sea} , использованная на рисунке 26 и в уравнении (23), определяется как:

$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_T}, \quad (24)$$

а V рассчитывается с помощью выражения:

$$V = \max \left[1, 0, 1, 0 + \frac{\Delta}{40, 0} \right] \quad (25)$$

с

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_T) \frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_I} E_{lm}(d_T) \frac{d_{lm}}{d_{IT}} \quad (26)$$

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

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

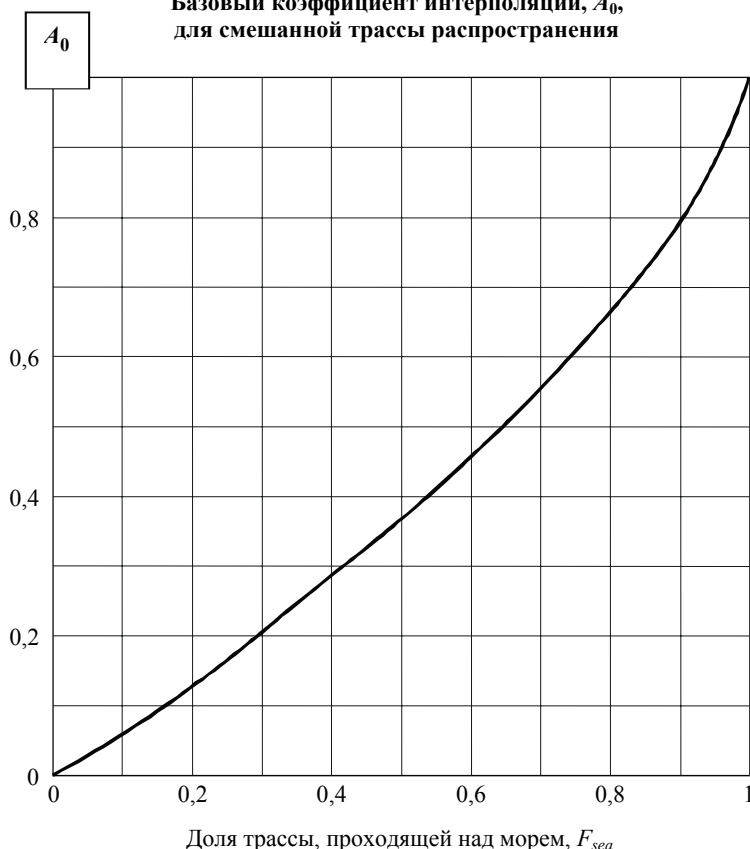
- смешанным морским и сухопутным трассам;
- смешанным сухопутным и прибрежным трассам;
- к сухопутным трассам с границей с морскими + прибрежными трассами,

но не к:

- сочетанию сухопутных трасс или
- морских и/или прибрежных трасс.

РИСУНОК 26

Базовый коэффициент интерполяции, A_0 ,
для смешанной трассы распространения



1546-26

9 Поправка к высоте 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 R (м), соответствующей высоте наземного покрова вокруг приемной/подвижной антенны, если ее высота не меньше 10 м. Примерами эталонной высоты могут служить 20 м для городского района, 30 м для городского района плотной застройки и 10 м для пригородного района. Для морских трасс номинальным значением R является 10 м.

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

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

где h_1 и R выражено в м, а расстояние d в км.

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

При необходимости значение R' 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:

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

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

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

и:

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

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

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

$$K_{h2} = 3,2 + 6,2 \log(f) \quad (28f)$$

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

f : частота (МГц).

В городском районе в случаях, когда R' меньше 10 м, поправка, задаваемая уравнением (28), должна быть уменьшена на $K_{h2} \log(10/R')$.

Когда приемная/подвижная антенна находится на суше в сельском районе или в открытой местности, поправка задается уравнением (28b) для всех значений h_2 .

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' 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. 15.

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. 15.

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' равным 10 м.

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

$$\text{Поправка} = 0,0 \quad \text{дБ} \quad \text{для} \quad d \leq d_{h2} \quad (29a)$$

$$= (C_{10}) \log(d / d_{h2}) / \log(d_{10} / d_{h2}) \quad \text{дБ} \quad \text{для} \quad d_{h2} < d < d_{10}, \quad (29b)$$

где:

C_{10} : поправка для требуемого значения h_2 на расстоянии d_{10} по уравнению (28b) при R' 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. 15;

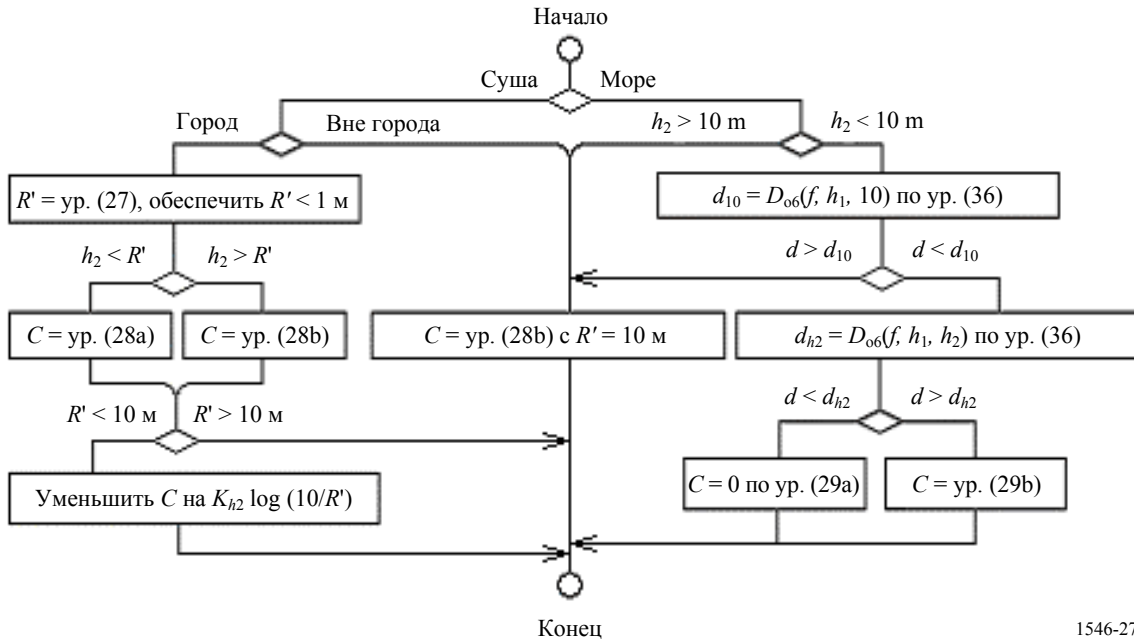
d_{h2} : расстояние, на котором канал как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для требуемого значения h_2 и которое рассчитывается как $D_{06}(f, h_1, h_2)$, определяемое в п. 15.

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



1546-27

10 Поправка для коротких трасс в городском/пригородном районе

Если трасса длиной менее 15 км охватывает здания одинаковой высоты над плоским рельефом, то к напряженности поля необходимо добавить поправку, отражающую снижение ее уровня за счет местных препятствий, обусловленных зданиями. Поправка определяется следующим выражением:

$$\text{Поправка} = -3,3(\log(f))(1 - 0,85 \log(d))(1 - 0,46 \log(1 + h_a - R)), \quad (30)$$

где h_a – высота антенны над уровнем земли (м) (то есть высота мачты), а R – репрезентативная высота наземного покрова вокруг приемной/подвижной антенны, определяемая в п. 9, которая также отражает высоту наземного покрова вокруг передающей/базовой антенны. Эта поправка применима только при d меньше 15 км и $h_1 - R$ меньше 150 м.

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:

$$\theta_{tca} = \theta - \theta_r \quad \text{градусы}, \quad (31a)$$

где θ – 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.

Опорный угол θ_r определяется как:

$$\theta_r = \arctan\left(\frac{h_{1s} - h_{2s}}{1000d}\right) \quad \text{градусы}, \quad (31b)$$

где h_{1s} и h_{2s} – высота передающей/базовой антенны и приемной/подвижной антенны над уровнем моря, соответственно. При расчете θ и θ_r не нужно учитывать кривизну поверхности Земли. Угол θ_{tca} 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:

$$\text{поправка} = J(v') - J(v) \quad \text{дБ}, \quad (31c)$$

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

$$v' = 0,036 \sqrt{f} \quad (31d)$$

$$v = 0,065 \theta_{\text{лса}} \sqrt{f} \quad (31e)$$

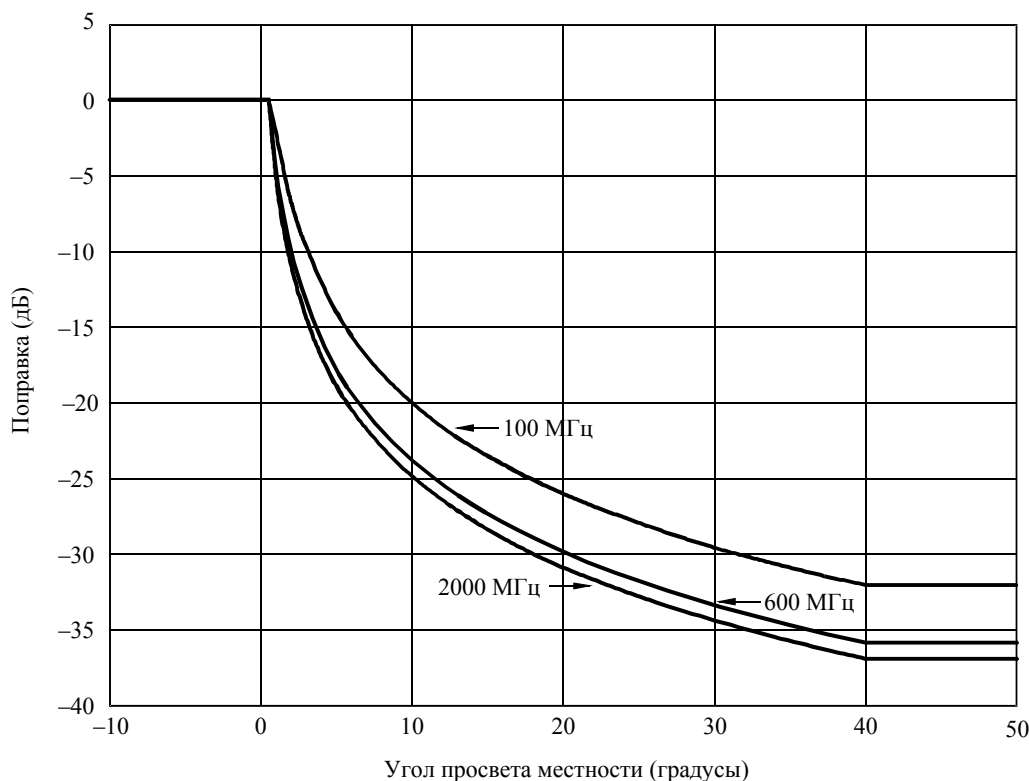
$\theta_{\text{лса}}$: угол просвета местности (градусы),

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)



1546-28

12 Изменчивость в зависимости от места в прогнозах сухопутной зоны покрытия

Методы прогнозирования зоны покрытия предназначены для получения статистических данных об условиях приема в данной зоне, а не в той или иной точке. Интерпретация таких статистических данных зависит от размера рассматриваемой зоны.

Когда один терминал на трассе радиосигнала является стационарным, а другой перемещается, потери на трассе будут непрерывно меняться в зависимости от места 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.

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.

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.

В настоящей Рекомендации, как правило, изменчивость в зависимости от места 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 места определяется без учета изменений многолучевости, то она не зависит от ширины полосы системы.

При планировании радиосистем необходимо также принимать во внимание эффекты многолучевого распространения. Влияние таких эффектов зависит от системы и определяется шириной полосы, модуляцией и схемой кодирования.

В диапазоне ОВЧ и УВЧ изменчивость в зависимости от места обычно относят к зоне в виде квадрата со стороной от 500 м до 1 км, иногда с дополнительным требованием, чтобы зона была плоской. Для меньших зон редко удается собрать достоверные статистические данные, а в более крупных зонах может наблюдаться дополнительная изменчивость за счет крупномасштабных изменений длины трассы и ее геометрии.

Широкий анализ данных позволяет предположить, что распределение медианного уровня напряженности поля из-за изменчивости наземного покрытия для таких зон в городских и пригородных районах соответствует логарифмическому нормальному распределению.

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

$$E(q) = E(\text{медиана}) + Q_i(q / 100) \sigma_L(f) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (32)$$

где:

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

σ_L : стандартное отклонение гауссовского распределения местных средних значений в рассматриваемой зоне.

Значения стандартного отклонения зависят от частоты и среды, и эмпирические исследования показали, что они имеют существенный разброс. Репрезентативные значения для городских зон размером 500 м x 500 м определяются следующим выражением:

$$\sigma_L = K + 1,3 \log(f) \quad \text{дБ}, \quad (33)$$

где:

$K = 1,2$ для подвижных систем с всенаправленными антеннами на высоте крыши автомобиля;

f : требуемая частота (МГц).

Для приемных/подвижных антенн на другой высоте и в другой среде можно ожидать других значений K . Кроме того, если зона, к которой должна относиться изменчивость, больше 500 м x 500 м или если речь идет об изменчивости, относящейся ко всем зонам в заданном интервале, а не об изменениях внутри отдельной зоны, значение σ_L оказывается больше.

Процент мест q может меняться от 1 до 99. Настоящая Рекомендация не действительна для процентов мест меньше 1% или больше 99%.

Поправка в зависимости от места не вводится, когда приемная/подвижная антенна находится рядом с морем.

Следует отметить, что для некоторых целей планирования (например, для многосторонних планов выделения) обычно необходимо использовать определение "изменчивости в зависимости от места" с учетом известной степени многолучевого замирания. Это позволяет рассматривать случаи подвижного приемника, постоянно находящегося в многолучевом нуле, или антенны на крыше, когда надо принимать несколько частот, а антенна не может быть оптимально установлена для всех частот. Кроме того, при таком планировании может также потребоваться учет изменчивости в большей зоне, чем предполагается в настоящей Рекомендации.

В этом контексте для планирования ряда служб радиосвязи оказались пригодными значения, приведенные в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Значения изменчивости, используемые в некоторых случаях планирования

	Стандартное отклонение (дБ)		
	100 МГц	600 МГц	2000 МГц
Аналоговое радиовещание	8,3	9,5	–
Цифровое радиовещание	5,5	5,5	5,5
Подвижная связь в городском районе	5,3	6,2	7,5
Подвижная связь в пригородном районе с пологими холмами	6,7	7,9	9,4

13 Аппроксимация для обратной дополнительной кумулятивной функции нормального распределения

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

$$Q_i(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{если } x \leq 0,5 \quad (34a)$$

$$Q_i(x) = -\{T(1-x) - \xi(1-x)\} \quad \text{если } x > 0,5, \quad (34b)$$

где:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \quad (34c)$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \quad (34d)$$

$$C_0 = 2,515517$$

$$C_1 = 0,802853$$

$$C_2 = 0,010328$$

$$D_1 = 1,432788$$

$$D_2 = 0,189269$$

$$D_3 = 0,001308$$

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
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		

14 Эквивалентные базовые потери при передаче

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

$$L_b = 139 - E + 20 \log f \quad \text{дБ}, \quad (35)$$

где:

L_b : базовые потери при передаче (дБ);

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

f : частота (МГц).

15 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:

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad \text{км}, \quad (36)$$

где:

D_f : зависящий от частоты член уравнения

$$= 0,0000389 f h_1 h_2 \quad \text{км} \quad (37a)$$

D_h : асимптотический член, определяемый расстояниями до горизонта

$$= 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{км} \quad (37b)$$

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.

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% мест, для приемной/подвижной антенны при высоте репрезентативного местного препятствия, R , 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% мест, для приемной/подвижной антенны при высоте репрезентативного местного препятствия, R , 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: Корректируется напряженность поля для высоты приемной/подвижной антенны h_2 с использованием метода, приведенного в п. 9 Приложения 5.

Шаг 13: Если применимо, понижают напряженность поля за счет добавления поправки для короткой трассы в городском/пригородном районе с использованием метода, приведенного в п. 10 Приложения 5.

Шаг 14: 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 15: Если на приемной/подвижной антенне рядом с сушей требуется напряженность поля, превышаемая для процента мест, отличного от 50%, значение напряженности поля для требуемого процента мест получают путем внесения поправки с использованием метода, приведенного в п. 12 Приложения 5.

Шаг 16: 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:

$$E_{max} = E_{fs} + d_s E_{se} / d_{total} \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (38)$$

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 17: При необходимости напряженность поля пересчитывается в эквивалентные базовые потери при передаче для трассы с использованием метода, приведенного в п. 14 Приложения 5.

Приложение 7

Сравнение с методом Окумура–Хата

В методе Окумура–Хата используется следующее уравнение:

$$E = 69,82 - 6,16 \log f + 13,82 \log H_1 + a(H_2) - (44,9 - 6,55 \log H_1) (\log d)^b, \quad (39)$$

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, $R = 15$.

Приложение 8

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/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 :

$$\text{Для полей, превышаемых в течение 50\% времени: } dN_0 = -43,3 \quad \text{ед N/км} \quad (40a)$$

$$\text{Для полей, превышаемых в течение 10\% времени: } dN_0 = -141,9 \quad \text{ед N/км} \quad (40b)$$

$$\text{Для полей, превышаемых в течение 1\% времени: } dN_0 = -301,3 \quad \text{ед N/км} \quad (40c)$$

Для корректировки семейства кривых напряженности поля в разных радиоклиматических регионах мира рассчитывают разность ΔN градиента следующим образом:

$$\Delta N = dN_0 - dN, \quad (41)$$

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 (37).

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

$$\delta E_{max} = 0,007 (-301,3 - dN) \{1 - \exp(-d/50)\} \exp(-d/6000) \quad \text{дБ} \quad (42)$$

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:

$$K = 14,94 - 6,693 \times 10^{-6} (1494 - \Delta N)^2 \quad \Delta N > 0 \quad (43a)$$

$$= 0,08 \Delta N \quad \Delta N \leq 0 \quad (43b)$$

Для самой нижней кривой в корректируемом семействе, то есть для $h_1 = 10$ м, вносят поправку δE_1 , определяемую как:

$$\delta E_1 = K \{1 - \exp(-d/50)\} \exp(-d/6000) \quad \text{дБ} \quad (44)$$

При необходимости значение δE_1 должно быть ограничено следующим образом.

- δE_1 должно быть ограничено так, чтобы скорректированная напряженность поля не превышала максимального значения напряженности поля с поправкой.
- Если ΔN больше нуля, δE_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 ΔN 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:

$$E'_n = E'_1 + (E_n - E_1) (E'_{max} - E'_1) / (E_{max} - E_1), \quad (45)$$

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.