

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R S.1856**  
(01/2010)

**Методики определения того, будет ли станция  
ИМТ, работающая в заданном  
местоположении в полосе 3400–3600 МГц,  
осуществлять передачу, не превышая  
пределы плотности потока мощности,  
приведенные в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В  
и 5.433А Регламента радиосвязи**

**Серия S**  
**Фиксированная спутниковая служба**



## Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

### Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

### Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

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

*Примечание.* – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 МСЭ-R.

Электронная публикация  
Женева, 2010 г.

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1856

**Методики определения того, будет ли станция ИМТ, работающая в заданном местоположении в полосе 3400–3600 МГц, осуществлять передачу, не превышая пределы плотности потока мощности, приведенные в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А Регламента радиосвязи**

(2010)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации описано три методики, которые могут использоваться заинтересованными администрациями во время двусторонних или многосторонних переговоров, с целью определения того, будут ли базовые или подвижные станции ИМТ, предлагаемые для работы в полосе частот 3400–3600 МГц, удовлетворять пределу п.п.м., указанному в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А Регламента радиосвязи (РР). Эта Рекомендация не рассматривает критерии, требуемые для применения пп. 9.17, 9.18 и 9.21 РР, которые упомянуты в четырех вышеуказанных положениях, вне зависимости от того, используется ли в работе какая-либо земная станция.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что, в соответствии с решениями ВКР-07, в ряде стран Района 1 полоса частот 3400–3600 МГц распределена подвижной службе на первичной основе (см. п. 5.430А Регламент радиосвязи (РР));
- b) что, в соответствии с решениями ВКР-07, в ряде стран Района 3 полоса частот 3400–3500 МГц распределена подвижной службе на первичной основе (см. п. 5.432В РР), при этом полоса частот 3500–3600 МГц в Районе 3 в течение многих лет распределена подвижной службе на первичной основе;
- c) что на ВКР-07 полоса частот 3400–3600 МГц была определена для использования системами ИМТ в ряде стран Районов 1 и 3;
- d) что в течение многих лет полоса частот 3400–3600 МГц распределена фиксированной спутниковой службе (космос-Земля) на первичной основе в Районах 1, 2 и 3;
- e) что, для защиты земных станций в полосе частот 3400–3600 МГц от трансграничных помех, создаваемых станциями подвижной службы, в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А (ВКР-07) Регламента радиосвязи сказано, что, прежде, чем какая-либо администрация из перечисленных в этих примечаниях, введет в действие базовую или подвижную станцию подвижной службы в этой полосе, она должна обеспечить, чтобы плотность потока мощности (п.п.м.), создаваемой на высоте 3 м над уровнем земли, не превышала величины  $-154,5 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 4 \text{ кГц))}$  в течение более 20% времени на границе территории любой другой администрации;
- f) что предел п.п.м., указанный в п. e) раздела *учитывая*, может превышать на территории любой страны, если это согласовано с администрацией;
- g) что в РР сказано также, что для того, чтобы гарантировать выполнение предела п.п.м. на границе территории любой другой администрации, должны быть выполнены расчеты и проверки, учитывающие все необходимые данные, при взаимном согласии администрации ответственной за наземную станцию и администрации ответственной за земную станцию;

h) что, поскольку потери распространения увеличиваются с расстоянием, а для трасс над сушей в значительной мере зависят от характера местности, станции ИМТ, расположенные достаточно далеко от границы соседней страны, могут удовлетворять пределу п.п.м. без применения методов снижения помех, и поэтому методы для определения тех зон в стране, где это имеет место, помогут администрациям выполнить требование в п. е) раздела *учитывая*;

j) что при использовании метода, упомянутого в пункте h) раздела *учитывая*, может потребоваться использовать базу данных о местности, относящуюся к любой стране, в которой планируется эксплуатировать станции ИМТ в полосе частот 3400–3600 МГц;

к) что естественное и искусственное экранирование местоположения станции может уменьшить сигнал, передаваемый станцией ИМТ в направлении границы соседней страны,

*отмечая,*

а) что распределения, относящиеся к пп. 5.430А и 5.432В РР, действуют с 17 ноября 2010 года,

*рекомендует,*

**1** что для определения того, будет ли станция ИМТ, предложенная для работы в полосе 3400–3600 МГц удовлетворять пределам плотности потока мощности (п.п.м.), приведенным в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А Регламента радиосвязи, следует использовать методы, описанные в п. 1, или в п. 2, или в п. 3 Приложения 1, либо комбинацию этих методов, которые признают пригодными заинтересованные администрации во время двусторонних или многосторонних переговоров;

**2** что метод, описанный в п. 2 Приложения, может использоваться для определения размеров и формы области, находящейся внутри некоторой страны, но непосредственно возле государственной границы страны, при работе за пределами которой мобильный терминал ИМТ должен удовлетворять пределу п.п.м. на высоте 3 м над уровнем земли в любой точке границы;

**3** что следующее Примечание следует рассматривать, как составную часть этой Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Параметры и методика, которые используются, должны быть согласованы заинтересованными администрациями, вовлеченными в двусторонние или многосторонние переговоры.

## Приложение 1

### **Методики определения того, удовлетворяет ли станция ИМТ пределам п.п.м., приведенным в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А Регламента радиосвязи**

МСЭ-R недавно разработал Рекомендацию, описывающую расчеты п.п.м., создаваемой земными станциями, ведущими передачу в полосе частот 13,75–14,00 ГГц<sup>1</sup>. Как описано в пп. 1, 2 и 3 Приложения 1, методики, содержащиеся в Рекомендации МСЭ-R S.1712, могут быть адаптированы для оценки совместимости с пределом п.п.м., указанным в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А<sup>2</sup> Регламента радиосвязи. Кроме того, отмечается, что могут быть приемлемыми и другие методики, помимо адаптированных методик из Рекомендации МСЭ-R S.1712.

---

<sup>1</sup> Рекомендация МСЭ-R S.1712 – Методики определения возможности для земной станции ФСС в заданном месте расположения вести передачи в полосе 13,75–14 ГГц без превышения пределов п.п.м., приведенных в п. 5.502 Регламента радиосвязи, и указания по снижению этих превышений.

<sup>2</sup> Все три описанные здесь метода применимы для фиксированных базовых станций, и только метод 2 применим для подвижной станции (см. п. 2.4).

Предполагаемые в примерах значения многих параметров, используемых в описанных ниже методиках, взяты только для иллюстрации, и можно ожидать, что в каждом конкретном исследовании значения, используемые для этих характеристик, будут соответствовать реальным значениям характеристик станций ИМТ и другим рассматриваемым параметрам.

## 1 Адаптация метода 1 из Рекомендации МСЭ-R S.1712

Метод 1 очень прост, но нужно признать чересчур консервативен<sup>3</sup>. С помощью этого метода создаются две кривые с использованием модели гладкой Земли, показывающие минимальное расстояние разноса от сухопутной границы соседней страны, которое будет необходимо для того, чтобы на базовой станции ИМТ соблюдались такие пределы п.п.м., при которых удовлетворяются требования пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР, в функции плотности э.и.и.м. станции ИМТ в направлении горизонта. Первая кривая дает расстояние разноса для трасс в пределах прямой видимости. Вторая кривая дает расстояние разноса для трансгоризонтных трасс. Предполагается, что базовая станция ИМТ, развернутая на расстоянии, большем или равном минимальному расстоянию разноса, удовлетворяет критериям предела п.п.м. Кроме определения того, является ли трасса до границы трассой в пределах прямой видимости или трансгоризонтной трассой, никакого дополнительного анализа проводить не требуется. Следует отметить, что развертывание станций в зонах, исключенных с помощью этого метода, все же возможно, если будет найдено потенциальное местоположение станции, в котором будут выполняться критерии по пределу п.п.м., путем применения либо метода 2, либо метода 3 из Рекомендации МСЭ-R S.1712 (см. пп. 2 и 3). В целях полного учета изменчивости рельефа местности в реальном мире, Метод 1 разделяется на три этапа в порядке возрастания сложности. Этап А, несомненно, является простейшим и не учитывает рельефа местности. Фактически данный этап предполагает *плоскую* Землю, где все трассы – это трассы прямой видимости (LoS). Этап В предполагает сферическую Землю с номинальным радиогоризонтом, но не рассматривает влияние промежуточной территории. Аналогично этапу В, этап С предполагает сферическую Землю, но, в отличие от этапа В, он рассматривает влияние промежуточной территории, хотя и использует для этого консервативный и упрощенный подход. Каждый этап по порядку будет увеличивать размер потенциальной зоны развертывания ИМТ, достигая наибольшей возможной зоны обслуживания при использовании этапа С. Отмечается, что если этап А или В показывает, что потенциальное место развертывания удовлетворяет критериям предела п.п.м., то нет необходимости выполнять следующий этап(ы). Этап В или С, по усмотрению пользователя, может быть применен без предварительного выполнения этапа А.

Для расчета величины расстояния необходимо применить некоторые основные допущения и модели распространения радиоволн. Допущения и модели, приведенные в Рекомендации МСЭ-R P.452, используются во многих схожих ситуациях совместного использования частот, и, как представляется, более всего подходит для рассматриваемых здесь ситуаций.

Ниже приведено углубленное описание этого метода:

*Этап А:* Предполагается, что все трассы являются трассами LoS. Для определения минимального расстояния разноса в зависимости от значения э.и.и.м./4 кГц, излучаемой станцией ИМТ в направлении границы, используется кривая на рисунке 1. Следует отметить, что эта кривая выводится из потерь на трассе LoS согласно Рекомендации МСЭ-R P.452-12 ( $p = 20\%$ )<sup>4</sup>. Поскольку

---

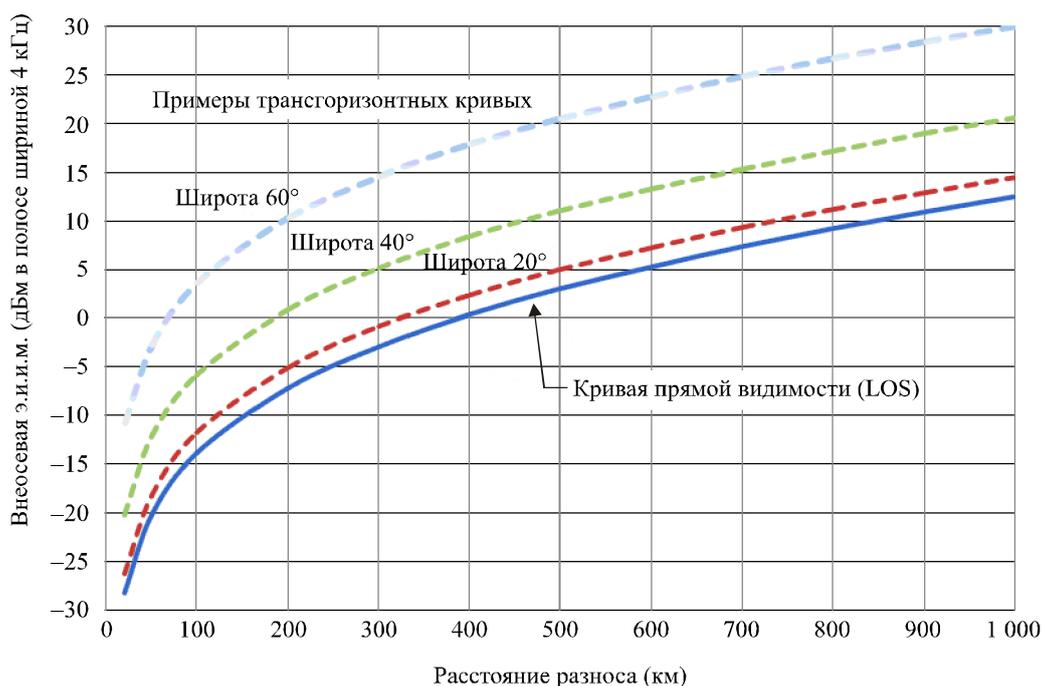
<sup>3</sup> Например, в Соединенных Штатах Америки, вместо определения п.п.м., было определено координационное расстояние, равное 150 км, что обеспечивает защиту существующих земных станций ФСС от помех, создаваемых передатчиками широкополосного беспроводного доступа (ШБД) в рамках плотности э.и.и.м. = 25 Вт/25 МГц. Кроме того, в США правила для фиксированных станций определяют минимальное расстояние разноса до канадской и мексиканской границ, равное 56 км, если только для конкретной ситуации невозможно скоординировать более короткое расстояние. Методика, использованная в Соединенных Штатах Америки для расчета координационного расстояния величиной 150 км, также может быть адаптирована для применения в рассматриваемых здесь расчетах п.п.м.

<sup>4</sup> Рекомендация МСЭ-R P.452-13 в настоящее время действует, и в дальнейшем эта Рекомендация может быть обновлена. В таком случае, применяя эту методику в будущем, рекомендуется использовать тот вариант Рекомендации МСЭ-R P.452, который будет действовать на тот момент.

это модель плоской Земли, данная кривая не зависит от таких факторов, как локальное значение  $\Delta N$  и высота антенны над окружающей местностью. Если потенциальное место развертывания станции находится дальше от границы, чем расстояние разноса, требуемое из кривой для трассы прямой видимости, то считается, что станция соответствует критериям предела п.п.м. в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР. Если длина трассы меньше, чем требуемое расстояние разноса, то переходите к этапу В.

РИСУНОК 1

Кривые расстояния разноса (минимальное расстояние) от границы в зависимости от плотности э.и.и.м. в направлении на горизонт



1856-01

*Этап В:* Этот этап предполагает сферическую Землю и поэтому требует определения номинального радиогоризонта. В первую очередь найдите эффективный радиус Земли  $a_e$ , используя локальное значение  $\Delta N$  и уравнения (5) и (6) Рекомендации МСЭ-R P.452-12 (для преобразования в метры). Радиогоризонт можно затем вычислить из следующего уравнения:

$$R_{\text{Horizon}_{\text{номинальный}}} = \sqrt{2 \cdot a_e} \cdot (\sqrt{h_0} + \sqrt{h_{\text{int}}}) / 1000 \text{ (км)},$$

где  $h_0 = 3$  м, а  $h_{\text{int}}$  – высота станции ИМТ (м) над средним уровнем моря.

Если место расположения станции ИМТ находится в пределах номинального радиогоризонта в направлении на границу, то требуемое расстояние разноса определяется из кривой для трасс прямой видимости на рисунке 1. Если место расположения станции ИМТ находится за пределами номинального радиогоризонта, то требуемое расстояние разноса определяется из кривой для трансгоризонтных трасс на рисунке 1. Если потенциальное место развертывания станции находится дальше от границы чем требуемое расстояние разноса из применяемой кривой, то считается, что станция соответствует критериям предела п.п.м., указанным в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР. Если длина трассы меньше, чем требуемое расстояние разноса, то переходите к этапу С.

*Этап С:* Этот этап также предполагает сферическую Землю. Кроме того, он требует более детального анализа трасс в направлении границы. Для того чтобы определить, является ли рассматриваемая трасса трассой LoS или трансгоризонтной, используется Дополнение 2 к

Приложению 1 Рекомендации МСЭ-R P.452-12. Конкретная процедура подробно описывается в п. 4.1 этого Дополнения "Испытание для трансгоризонтной трассы". Данные о рельефе местности можно взять из цифровых карт высот местности или даже определить из контуров высот на печатных картах. Поскольку для реальной местности трасса с наименьшими потерями не обязательно будет самой короткой трассой, следует провести испытания на нескольких трассах в радиусе вокруг потенциального места расположения станции ИМТ. Если испытания показывают, что любая трасса будет трассой LoS, то требуемое расстояние разноса определяется с использованием кривой для трасс прямой видимости на рисунке 1, используется самая короткая трасса прямой видимости. Если испытания показывают, что любая трасса будет трансгоризонтной трассой, то требуемое расстояние разноса определяется с использованием кривой для трансгоризонтных трасс на рисунке 1. Если потенциальное место развертывания станции находится дальше от сухопутной границы соседней страны, чем требуемое расстояние разноса из применяемой кривой, то считается, что станция соответствует критериям предела п.п.м. в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР. Если длина трассы меньше, чем требуемое расстояние разноса, то такая трасса, вероятно, не соответствует пределу п.п.м.

Важно отметить, что требуемое расстояние разноса, найденное с использованием любого из трех этапов, не является абсолютным минимальным значением. Если расстояние от станции ИМТ до границы соседней страны меньше, чем требуемое значение, то для проверки возможности выполнения критериев предела п.п.м., может применяться дополнительный анализ с использованием адаптированного метода 2 или 3 из Рекомендации МСЭ-R S.1712, который учитывает цифровые данные о рельефе местности и использует моделирование распространения радиоволн, и, при необходимости, другие метода уменьшения помех.

Как описано выше, использование этого метода требует наличия двух кривых (для различных типов трасс), которые дают минимальное расстояние  $X$  до границы, в функции плотности э.и.и.м. в направлении горизонта для выполнения критериев предела п.п.м. Места развертывания станций, которые находятся от границы на расстояниях, меньших, чем  $X$ , возможны, но требуют применения методов, использующих цифровые данные о рельефе местности. Для расчета значений (LoS) в пределах расстояния  $X$  требуется применение некоторых основных допущений и моделей распространения. Кривая LoS, показанная на рисунке 1, рассчитывается непосредственно из уравнения LoS в Рекомендации МСЭ-R P.452-12. Имеется в виду уравнение (9) из п. 4.2 этой Рекомендации. Используйте соответствующую частоту и установите значение процента времени  $p = 20\%$ . Итоговое значение потерь  $L$  зависящее от расстояния, используется в следующих уравнениях для расчета комбинации э.и.и.м./расстояние, которая удовлетворяла бы пределу п.п.м.

$$\text{п.п.м.} = E - G_m + G(\varphi) - L - 10 \log(\lambda^2/4\pi) = -154,5 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 4 \text{ кГц))}, \text{ следовательно,}$$

$$\text{Внеосевая э.и.и.м. ИМТ} = \{E - G_m + G(\varphi)\} = L - 186,83 \text{ дБ(Вт/4 кГц)},$$

где:

$E$ : пиковое значение э.и.и.м. в полосе шириной 4 кГц,

$G_m$ : максимальное усиление антенны ИМТ,

$G(\varphi)$ : усиление антенны ИМТ в направлении на границу,

$\lambda = 0,0857 \text{ м}$  для частоты = 3,5 ГГц.

Кривая для трансгоризонтных трасс является просто кривой LoS, смещенной вверх по шкале э.и.и.м. на величину  $Y$  дБ. Величина  $Y$  определяется из кривой на рисунке 2. Как отмечалось выше, уровни п.п.м., приведенные в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР, устанавливает высоту над уровнем земли на границе соседней страны (т. е. 3 м). В реальности дифракционные потери там выглядят просто как потери LoS, сдвинутые на постоянное значение. Дальнейший анализ модели из Рекомендации МСЭ-R может показать, что для трансгоризонтных кривых могут потребоваться некоторые дополнения.

РИСУНОК 2

Смещение кривой для трансгоризонтных трасс в функции широты



1856-02

### Пример применения метода

При рассмотрении этапа А, вероятно, что типовая базовая станция ИМТ, работающая в полосе частот 3,4–3,6 ГГц, будет вести передачу с пиковой плотностью э.и.и.м. = 16 дБВт/МГц, используя антенну с секторами 120° и углом наклона вниз 2°. В широком диапазоне азимутов плотность э.и.и.м. в горизонтальном направлении составит примерно 7 дБВт/МГц, как следует из выражения для диаграммы направленности антенны в Рекомендации МСЭ-R F.1336-2). В полосе шириной 4 кГц соответствующая плотность э.и.и.м. составит:

$$(\text{э.и.и.м.})_d = 7 - 10 \log(1\,000/4) + 30 = 13 \text{ дБм/4 кГц.}$$

Далее допустим, что длина трассы от станции ИМТ до границы равна 500 км, локальное значение  $\Delta N = 40$ , и высота станции ИМТ равна 100 м (антенна установлена на высотном здании). Широта равна 48°, что дает смещение кривой для трансгоризонтных трасс на 13 дБ. Этап 1 начинается со сравнения внеосевой э.и.и.м. с кривой для трассы LoS на рисунке 1. Из этой кривой следует, что требуемое для трассы LoS расстояние разноса составит приблизительно 1000 км. Поскольку фактическая длина трассы меньше требуемого минимального расстояния разноса, этап А не обеспечивает соответствия пределу п.п.м.

Вычисленное согласно этапу В расстояние до номинального радиогоризонта составляет 48,5 км. Поскольку фактическая длина трассы больше расстояния до номинального радиогоризонта, эта трасса должна быть трансгоризонтной. Поэтому минимальное расстояние разноса можно найти, используя кривую для трансгоризонтных трасс на рисунке 1. Используя эту кривую и выполнив интерполяцию для широты 48°, получается, что для станции с внеосевой э.и.и.м. = 13 дБм требуется минимальное расстояние разноса, равное приблизительно 400 км. В этом случае фактическая длина трассы больше требуемого минимального расстояния разноса. Следовательно, этап В показывает, что эта базовая станция соответствует пределу п.п.м. Если этап В не обеспечивает необходимого соответствия, то переходим к этапу С, где проводится анализ с использованием более точной оценки истинного радиогоризонта.

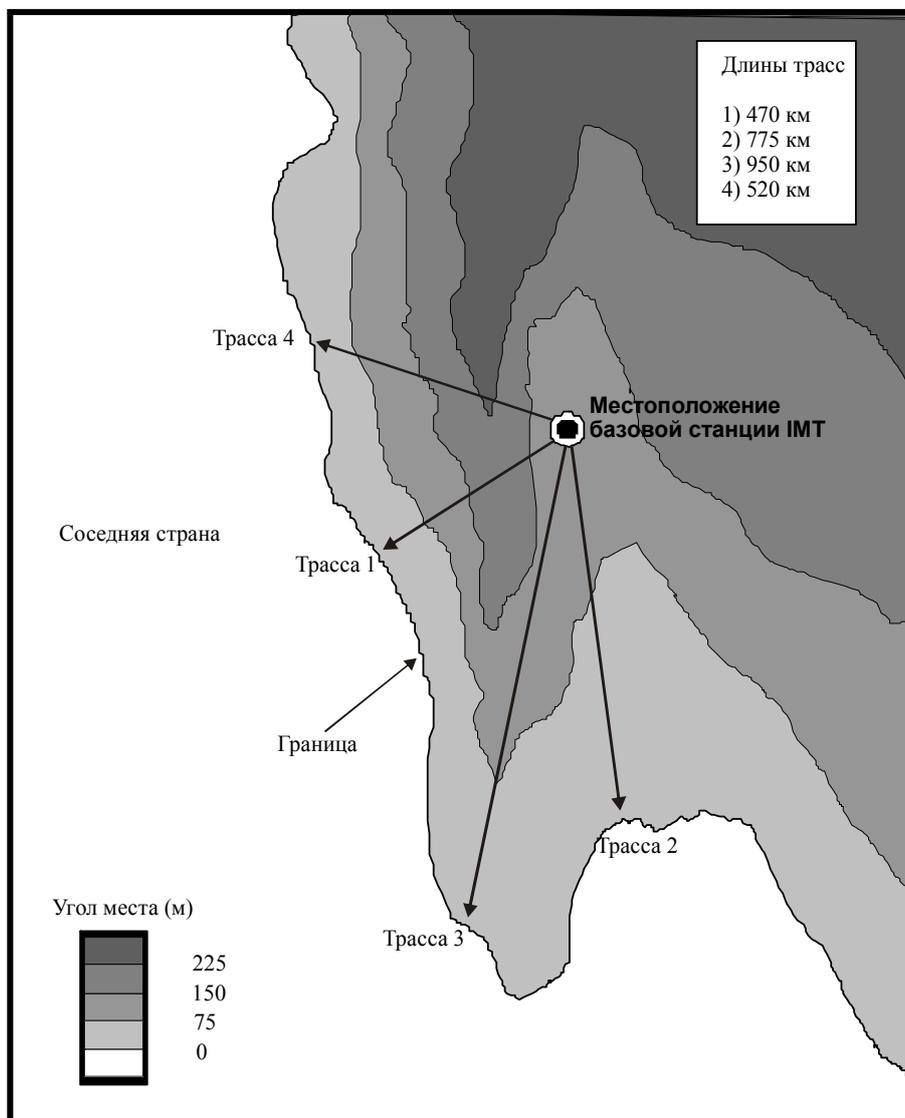
### Пример этапа С

При рассмотрении этапа С потенциальное место расположения станции ИМТ отмечается на приведенной в качестве примера карте на рисунке 3. Для оценки радиогоризонта на конкретных трассах между станцией и различными точками вдоль границы, будут использоваться контуры, взятые из карты. Зададим следующие параметры:

э.и.и.м. базовой станции ИМТ в направлении на горизонт во всех направлениях = 13 дБм/4 кГц,  
 Высота базовой станции над средним уровнем моря = 100 м,  
 Локальное годовое среднее значение  $\Delta N = 45$ ,  
 Широта равна 48°.

РИСУНОК 3

Пример контурной карты, показывающий потенциальное место расположения станций ИМТ



1856-03

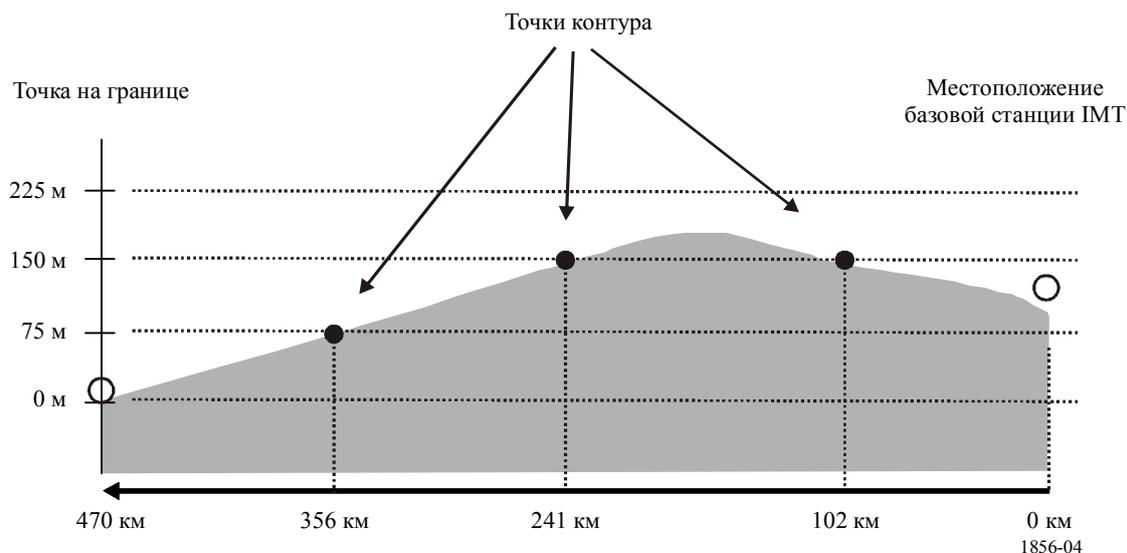
Быстрая проверка по рисунку 1 показывает, что требуемое для трассы LoS расстояние разноса для этой станции ИМТ составляет 1000 км. Самая короткая трасса до границы (трасса 1) очевидно много меньше расстояния, требуемого для трассы LoS.

Этап С начинается с испытания трансгоризонтной трассы, определенного в Дополнении 2 к Приложению 1 Рекомендации МСЭ-R P.452-12. Трассы делятся на участки с целью учета различных углов места в направлении каждой части каждой трассы. Использование равномерно разнесенных приращений рекомендуется, но это не обязательно. При испытании согласно Рекомендации МСЭ-R P.452-12 выполняется проверка того, превышает ли угол места физического горизонта, видимый со станции ИМТ ( $\theta_{ИМТ}$ ), величину угла  $\theta_{ТР}$ , предполагаемого для этой базовой станции ИМТ между испытательной точкой на границе и горизонтальной плоскостью. Подробное описание этой процедуры приведено в указанной Рекомендации. Проведение необходимых расчетов на трассе 1 показывает, что  $\theta_{ИМТ} = 5,8$  мрад, а  $\theta_{ТР} = -4,7$  мрад. Поскольку  $\theta_{ИМТ} > \theta_{ТР}$ , эта трасса является трансгоризонтной. Следует отметить, что хотя трасса 2 и трасса 3 не пересекают контуры с большей высотой, чем высота станции ИМТ, аналогичные вычисления показывают, что они также являются трансгоризонтными. Трасса 4 и более протяженная, чем трасса 1, и пересекает контур с большей высотой. Расчет углов показывает, что эта трасса действительно является трансгоризонтной.

Согласно наблюдениям, не существует никаких других трасс, на которых можно ожидать получения результатов, отличных от результатов для трасс, показанных на карте, выше. Следовательно, это место расположения базовой станции ИМТ не находится в пределах трассы LoS для любой точки на границе. Кривая для трансгоризонтных трасс на рисунке 1 показывает, что требуемое расстояние разноса для этой базовой станции ИМТ составляет примерно 400 км. Поскольку длина самой короткой трассы (трассы 1) превышает это значение, считается, что данное место расположения базовой станции соответствует критериям предела п.п.м.

РИСУНОК 4

## Профиль трассы 1



Следует отметить, что в расчетах фактически не использовалось реальное пиковое значение профиля на рисунке 4. Контурная карта на предыдущем рисунке дает достоверные данные только о высотах с приращением в 25 м. Для использования истинной высоты промежуточной территории желательно задействовать источник данных о рельефе местности с более высоким разрешением.

## 2 Адаптация метода 2 из Рекомендации МСЭ-R S.1712

В этом разделе разрабатываются контуры п.п.м. на основе реальных данных о профиле земной поверхности, модели распространения из Рекомендации МСЭ-R P.452-12, об э.и.и.м. базовой станции ИМТ в полосе 1 МГц в направлении на границу, и о высоте антенны над уровнем земли.

### 2.1 Общие соображения

При применении этого метода с использованием реальных данных о рельефе местности создается набор минимальных расстояний разноса от границы соседних стран, которые базовая станция ИМТ должна будет выполнять для поддержания величины предела п.п.м., указанных в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР, в зависимости э.и.и.м. базовой станции и высоты ее антенны. Предполагается, что базовая станция ИМТ, развернутая в пределах контура, основанного на величине ее э.и.и.м. в направлении на горизонт, удовлетворяет критерию предельной п.п.м. Никакого дополнительного анализа проводить не требуется. Этот метод при использовании более точных по сравнению с описанным в п. 1, позволяет получить зоны с большей площадью, внутри которых может быть развернута станция ИМТ, выполняющая пределы пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР. Однако следует отметить, что развертывание в местоположении, исключенном из этого метода, все равно остается возможным, если для потенциального места расположения станции будет доказано выполнение критериев по пределам п.п.м. путем применения метода, описанного в п. 3. Для учета различных потерь на трассе из-за различных высот антенн контуры должны быть определены для ряда высот земных станций над уровнем локального рельефа местности.

В пп. 2.3.4 и 2.4 описаны четыре случая использования этого метода.

## 2.2 поэтапное описание этого метода

### 1) Определение контуров

Луч, излучаемый типовой базовой станцией ИМТ, относительно узок в вертикальной плоскости, например,  $2,5^\circ$ , и широк в горизонтальной, например,  $120^\circ$ . Поскольку, по всей видимости, базовая станция должна будет обслуживать все пользовательские терминалы ИМТ вокруг себя, можно предположить, что ближайшая к границе часть территории соседней страны попадет в зону покрытия одного из ее лучей в горизонтальной плоскости. Некоторые антенны базовой станции могут быть смонтированы с небольшим наклоном вниз, например,  $2^\circ$ , для того чтобы добиться максимального покрытия относительно маленькой "соты" вокруг себя, и в этих случаях э.и.и.м. в направлении на горизонт будет уменьшена. Для различных значений плотности э.и.и.м. в направлении на горизонт можно определить набор контуров в виде изображения зон, в которых может быть развернута базовая станция ИМТ без превышения пределов п.п.м. в любой точке вдоль границы. С учетом избирательности между пиковым усилением в вертикальной плоскости и усилением в направлении на горизонт в сторону границы с каждым определенным контуром можно связать величину необходимых потерь на трассе.

### 2) Расчет контуров

Зная величину потерь на трассе, связанных с каждым контуром, и учитывая базу данных о реальном рельефе местности, можно рассчитать расположение каждого контура на карте. Используемая при этом модель распространения является одной из моделей, описанных в Рекомендации МСЭ-R P.452-12.

### 3) Соответствие критериям пределов п.п.м., указанным в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР

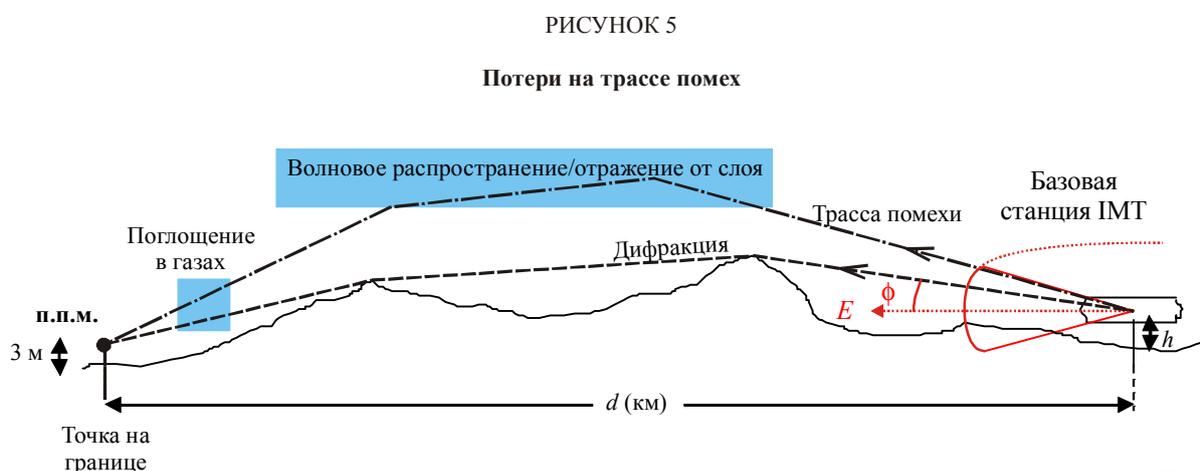
Такое соответствие оценивается путем сравнения местоположения предназначенного для развертывания базовой станции ИМТ и контура, связанного с соответствующим профилем:

- если местоположение, предназначенное для развертывания базовой станции, находится внутри соответствующего контура, т. е. в стороне от ближайшей части границы, то базовая станция может быть развернута без принятия каких-либо дополнительных мер при соблюдении критериев п.п.м.;
- если местоположение, предназначенное для развертывания базовой станции, находится вне соответствующего контура, то требуется учитывать дополнительные соображения относительно фактической окружающей среды.

## 2.3 Возможное применение этого метода

### 2.3.1 Сценарий помех

Сценарий помех на границе страны, которые создаются базовой станцией ИМТ, расположенной в пределах страны, иллюстрируется на рисунке 5. Высота над уровнем земли ( $h$ ) типовой антенны базовой станции составляет 30 м.



Уровень п.п.м. на границе может быть вычислен с помощью выражения:

$$\text{п.п.м.} = E - G_m + G(\varphi) - L - 10 \log(\lambda^2/4\pi) \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 4 \text{ кГц))}, \quad (1)$$

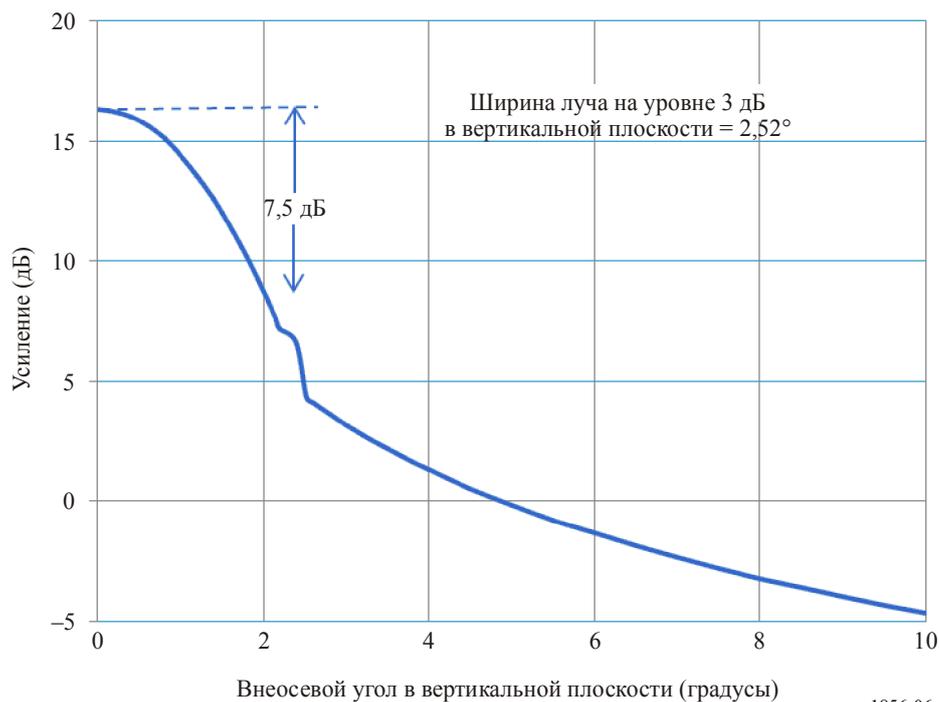
где  $E$  – максимальная э.и.и.м. в полосе 4 кГц базовой станции ИМТ,  $L$  – потери (в дБ) на трассе помех длиной  $d$  км между изотропными антеннами, превышенные в течение всего времени, кроме 20% (дБ),  $\lambda$  – длина волны (м),  $G_m$  – пиковое усиление антенны ИМТ, и  $G(\varphi)$  – усиление в направлении на горизонт в сторону границы. На средней частоте полосы 3,5 ГГц  $\lambda = 0,08571$  м, следовательно  $10 \log(\lambda^2/4\pi) = -32,33$ . Далее, для выполнения требуемого предела п.п.м. =  $-154,5$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · 4 кГц)), потери на трассе их уравнения (1), принимаются равными:

$$L = E - (G_m - G(\varphi)) + 186,83 \quad \text{дБ}. \quad (2)$$

Во многих местоположениях уровень места горизонта менее 1°, поэтому для базовых станций с антеннами без наклона вниз, избирательность антенн в направлении на границу ( $G_m - G(\varphi)$ ) будет небольшой. На основании исследований, выполненных в прежней РГ 8F, известно, что типовая базовая станция, вероятно, будет развернута с секторными лучами шириной 120° и с пиковым усилением около 16,3 дБи. Рисунок 6 был получен с использованием выражения для секторных антенн из Рекомендации МСЭ-R F.1336, которое показывает, что такое пиковое усиление соответствует ширине луча примерно 2,5° в вертикальной плоскости, и что наклон вниз на 2° приводит к получению избирательности в направлении на горизонт ( $G_m - G(\varphi)$ ) примерно равной 7,5 дБ.

РИСУНОК 6

Диаграмма направленности усиления секторной антенны 120° при  $G_m = 16,3$  дБи



### 2.3.2 Соображения относительно э.и.и.м. базовой станции ИМТ ( $E$ )

В предыдущих исследованиях МСЭ предполагалось, что пиковая э.и.и.м. базовой станции ИМТ составляет 16 дБВт/МГц, но в последних исследованиях СЕРТ используется значение 23 дБВт/МГц. Следовательно, можно рассчитать контура, соответствующие этим двум значениям плотности э.и.и.м., без наклона антенны и также с наклоном на 2° вниз. Как ни странно, э.и.и.м. в горизонтальном направлении для пика в 23 дБВт/МГц с наклоном 2° лежит в пределах 0,5 дБ от значения для пика в 16 дБВт/МГц и без наклона, поэтому для обоих случаев можно использовать один контур. Для учета той вероятности, что некоторые базовые станции ИМТ смогут работать при пониженной э.и.и.м., имеет смысл рассчитать дополнительный контур для меньшего значения  $E$ .

Приведенные в таблице 1 оценки уравнения (2) с учетом потерь на трассе в течение 20% времени  $L$ , необходимы только для того, чтобы обеспечить соответствие пределу п.п.м. в каждом случае.

ТАБЛИЦА 1

## Характеристики базовой станции ИМТ

Контур	Пиковая э.и.и.м. (дБВт/МГц)	Наклон (градусы)	Избирательность антенны в направлении на горизонт $G_m - G(\varphi)$ (дБ)	э.и.и.м. в направлении на горизонт (дБВт/4 кГц)	Потери на трассе, которые должны превышать в течение 80% времени для соответствия пределам п.п.м. (из уравнения (2)) (дБ)
A	23	0	0	-1	185,8
B	23 16	2 0	7,5 0	-8,5	178,3
C	16 8,5	2 0	7,5 0	-15,5	171,3
D	1	0	0	-23	163,8
F (подв.)	-22,4	0	0	-46,4	140,4 (см. п. 2.4)

Следовательно, например, базовые станции ИМТ с секторными антеннами и наклоном  $2^\circ$ , ведущие передачу с пиковой э.и.и.м. до 16 дБВт в полосе шириной 1 МГц, будут соответствовать пределу на границе баз подавления помех, если они расположены в любом месте дальше от границы, чем контур, определенный потерями на трассе = 171,3 дБ, превышаемыми в 80% времени (контур С).

Для того чтобы оценить места для расположения базовых станций, ведущих передачу со средними значениями плотности э.и.и.м., можно выполнить интерполяцию контуров, рассчитанных для этих четырех случаев потерь на трассе.

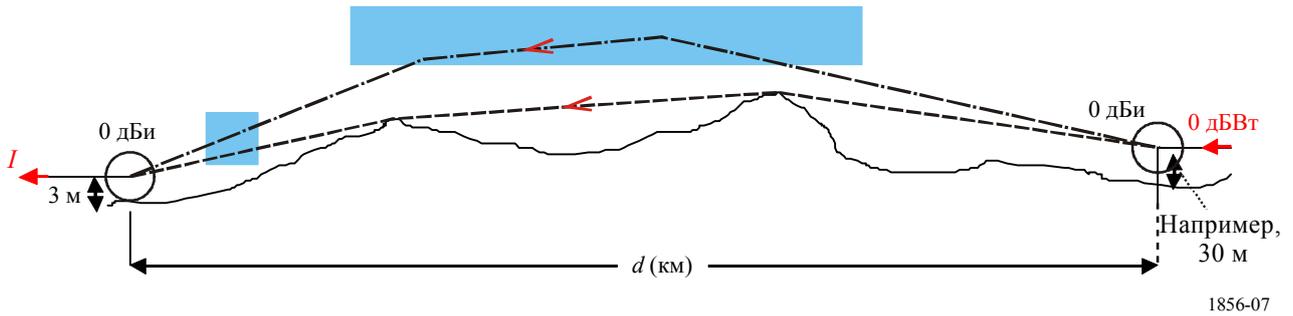
### 2.3.3 Расчет контуров

Потери на сухопутной трассе можно рассчитать, моделируя распространение в свободном пространстве, поглощение в газах, дифракцию, волноводное тропосферное распространение и отражение от слоя, с использованием данных и алгоритмов из Рекомендации МСЭ-R P.452<sup>5</sup>. В данном месте расположения базовой станции ИМТ, для обеспечения не превышения пределов п.п.м., необходимо найти линию до границы, обладающую наименьшими потерями. Для плоской поверхности земли это будет линия между базовой станцией и ближайшей точкой границы соседней страны, но так будет не всегда для пересеченной местности, как с умеренными, так и с высокими горами. Следовательно, для таких расчетов требуется программная база данных, содержащая значения высот над уровнем моря для всей рассматриваемой территории с необходимым уровнем разрешения. Здесь может использоваться следующий метод.

Взяв для примера профиль поверхности, показанный на рисунке 5, точку измерения п.п.м. можно заменить приемником, к которому подводится сигнал с изотропной приемной антенны, а базовую станцию ИМТ можно заменить изотропной передающей антенной, к которой подводится сигнал с мощностью передачи 0 дБВт на рассматриваемой частоте (в данном случае 3,5 ГГц), как показано на рисунке 7.

<sup>5</sup> Примеры, приведенные в пп. 2.3.4 и 2.4, подготовлены с использованием Рекомендации МСЭ-R P.452-12. Рекомендация МСЭ-R P.452-13 в настоящее время действует, и в дальнейшем эта Рекомендация может быть обновлена. В таком случае, применяя эту методику в будущем, рекомендуется использовать тот вариант Рекомендации МСЭ-R P.452, который будет действовать на тот момент. Кроме того, администрации, участвующие в процессе двусторонней или многосторонней координации, должны согласовать значения соответствующих параметров для применения методики предсказания распространения из Рекомендации МСЭ-R P.452 (также, смотрите, например п. 5.430А РР).

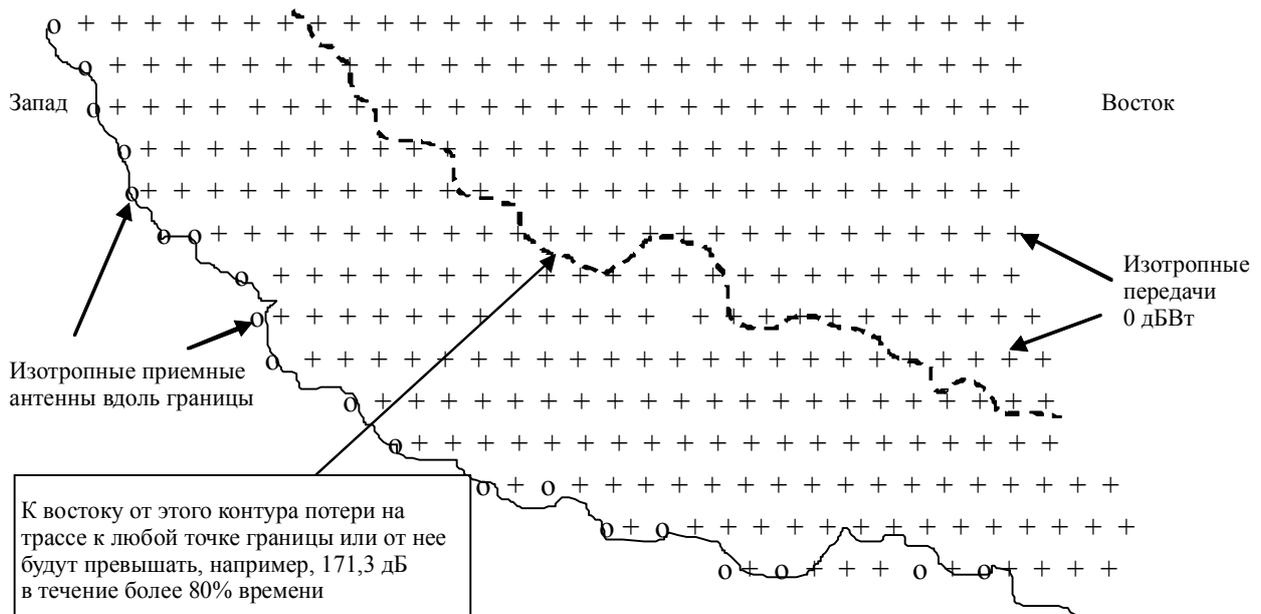
РИСУНОК 7



Затем уровень принимаемого сигнала  $I$  определяется выражением  $I = 0 + 0 - L + 0$  дБВт. Другими словами, уровень  $I$  в дБВт численно равен значению потерь на трассе  $L$  в дБ со знаком минус, и это так, вне зависимости от канала приемника относительно передатчика. Для нашей цели  $I$  следует вычислять так, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.452-12, для 20% времени.

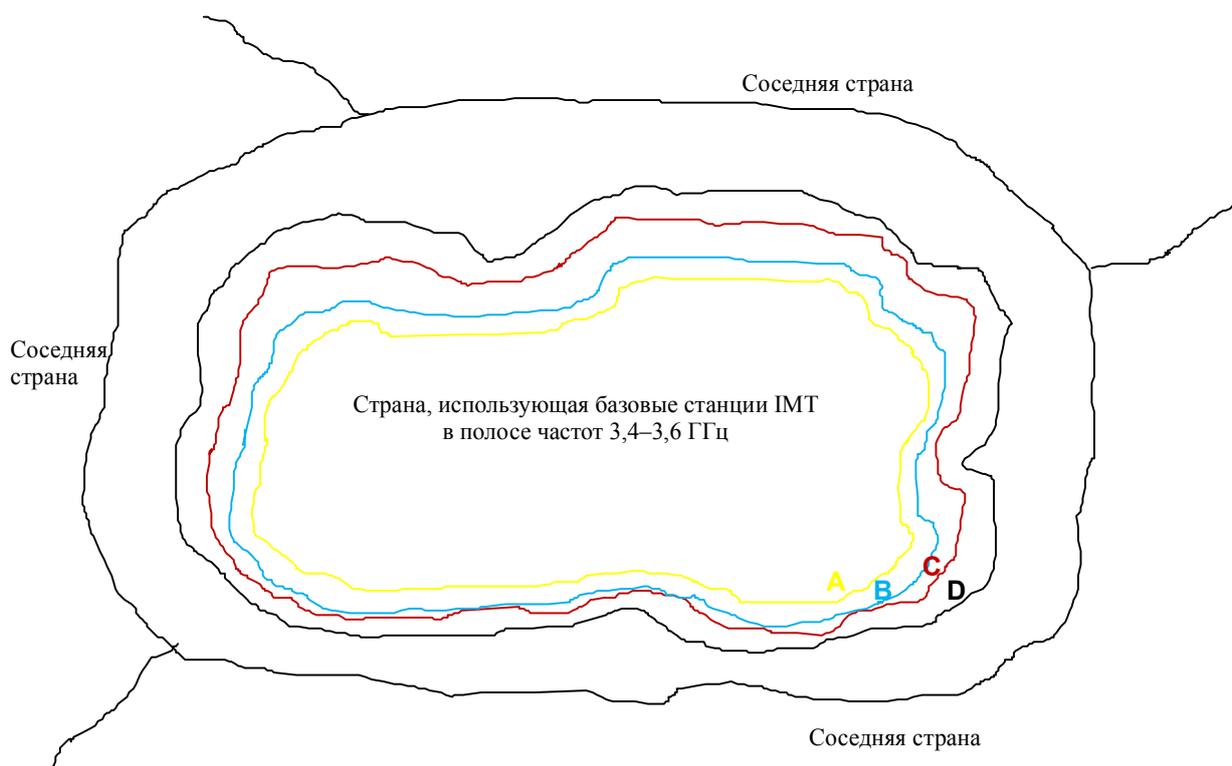
Необходимо создать программное обеспечение, включая базу данных рельефа местности для рассматриваемой страны или территории, и содержащую изотропные приемные терминалы, расположенные на небольших расстояниях вдоль границы. Сюда следует добавить сетку равномерно расположенных изотропных излучателей с мощностью 0 дБВт, полностью покрывающую рассматриваемую страну или территорию. Затем следует рассчитать вклад в сигнал  $I$  на каждом приемнике, создаваемый каждым передатчиком, используя методы из Рекомендации МСЭ-R P.452-12 для оценки потерь, превышаемых в течение 80% времени, и все значения для каждого приемника следует сохранить по отдельности. Это программное обеспечение должно уметь определять максимальный отдельный вклад в сигнал  $I$  для каждого приемника. Затем, выбирая передатчики, для которых максимальное значение вносимого вклада наиболее близко к требуемому значению  $L$  со знаком минус, можно построить контур, отрисовывая линии между этими передатчиками. Для повышения точности можно использовать линейную интерполяцию между парами передатчиков, соответствующих максимальному вкладу в  $I$ , значения для которых наиболее близки сверху и снизу к заданному значению, как показано на рисунке 8.

РИСУНОК 8



На рисунке 9 дана схематичная диаграмма, иллюстрирующая формат результата для четырех контуров. Например, соответствующих случаям, показанным в таблице 1.

РИСУНОК 9



1856-09

В зоне между контуром и границей может быть возможна работа базовых станций ИМТ, если можно применить методы подавления помех, например, меры по снижению э.и.и.м., но это необходимо определить для каждого конкретного случая. В каждом таком случае данная методика может применяться для определения степени требуемого подавления помех, путем отрисовки контуров для последовательных снижаемых значений  $L$ .

#### 2.3.4 Примеры применения методики, описанной в пп. 2.3.1 - 2.3.3

Для выбора примерных территорий необходимо только учесть те страны, в которых полоса частот 3,4–3,6 ГГц идентифицирована для ИМТ, и применяется предел п.п.м. на границе. В данном документе для примеров были выбраны следующие три территории:

– *Северо-восточная Франция (Пример 1)*

Положения п. 5.430А РР применяются во Франции и во всех соседних странах за исключением Люксембурга. В дополнение к наложению предела п.п.м. на границе, п. 5.430А РР содержит предложение "Этот предел может быть превышен на территории любой страны, администрация которой согласовала такое превышение". Таким образом, кажется возможным, чтобы две соседние достигли соглашения о менее строгом пределе на границе между ними<sup>6</sup>.

– *Северо-восточная Украина (Пример 2)*

Положения п. 5.430А РР применяются в Украине, но не применяются ни к одной стране восточнее или севернее.

– *Сьерра-Леоне (Пример 3)*

Положения п. 5.430А РР применяются в Сьерра-Леоне, но не применяются ни к одной граничащей с ней стране.

<sup>6</sup> Результаты, показанные на рисунках 10 11 и 12, не учитывают никаких ослаблений.

Описанная выше методика была использована для создания моделей этих территорий с применением фирменного пакета программ, включающего в себя глобальную базу данных рельефа местности с разрешением по горизонтали 1 км и с разрешением по вертикали 1 м. Для каждой точки приема на границе (см. рисунок 8) высота антенны над местным уровнем земли составляла 3 м, а для каждой точки передачи использовалась высота антенны 30 м. Подробности приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

## Характеристики составленных программных моделей

Географический район	Размер страны	Климат ( $\Delta N$ ) <sup>(1)</sup>	Тип рельефа	Расстояние между приемниками (км)	Интервал в сетке передатчиков (км)	Число рассчитанных трасс <sup>(2)</sup>
Северо-восточная Франция (Пример 1)	Средняя	45	Смешанный	11	6	522 678
Северо-восточная Украина (Пример 2)	Средняя	45	Не горный	13	10	564 108
Сьерра-Леоне (Пример 3)	Малая	70	Горный	7	4,5	397 096

<sup>(1)</sup>  $\Delta N$  – это средний коэффициент радиоотражения с изменением по вертикали в нижнем слое атмосферы толщиной 1 км, который существенно зависит от климата и нужен для метода расчета потерь на трассе из Рекомендации МСЭ-R P.452.

<sup>(2)</sup> Число точек передачи в сетке, умноженное на число точек приема на границе.

Результаты, полученные для территорий из примеров, показанные в таблице 2, изображены на рисунках 10, 11 и 12, на которых можно видеть, что показаны контура, соответствующие комбинациям э.и.и.м. базовой станции ИМТ и наклона антенны, определенные в таблице 1. Для удобства контура обозначены буквами А, В, С и D, соответствующими таблице 1 и рисунку 9, и для удобочитаемости они изображены контрастными цветами.

Было показано, что общие результаты нужным образом демонстрируют эффективность методики, описанной в данном разделе, для определения мест, в которых большая часть базовых станций ИМТ, использующих полосу частот 3,4–3,6 ГГц, может быть размещена без превышения пределов п.п.м., указанных в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР.

## 2.4 Применение для подвижных терминалов

Системы ИМТ, как правило, используют структуру из шестиугольных сот, в которой охват больших территорий обеспечивается большим числом базовых станций, каждая из которых обслуживает собственную соту и обеспечивает соединение для подвижных терминалов, когда они находятся в пределах этой соты. Радиус соты зависит от проекта системы и, как правило, будет составлять 2 или 3 км, и маловероятно, что он превысит 5 км. Исходя из масштабов расстояний на рисунках 10, 11 и 12, можно видеть, что в подавляющем большинстве случаев на базовой станции ИМТ, расположенной не дальше 5 км от границы, придется заметно ослаблять передачи в направлении границы для того, чтобы соответствовать пределам п.п.м. Таким образом, эта базовая станция не сможет обслуживать подвижные терминалы вблизи границы, поэтому эти подвижные терминалы около границы работать не будут и, следовательно, вряд ли сами будут превышать пределы п.п.м. В этом контексте важно отметить, что в предварительных исследованиях МСЭ-R для ВКР-07, на которой для базовых станций ИМТ было одобрено значение плотности э.и.и.м. = 16 дБВт/МГц, соответствующее значение плотности э.и.и.м. для подвижного терминала составила –22,4 дБ(Вт/МГц).

Методика, описанная в п. 2, может использоваться для определения контуров, в пределах которых подвижные терминалы могут работать без превышения пределов п.п.м. на границе. Пример (Пример 4) показан на рисунке 13, где предполагается, что каждый подвижный терминал ведет передачу на всех

азимутальных направлениях с плотностью э.и.м. =  $-22,4$  дБВт/МГц и высотой антенны над уровнем земли 1 м. Эти результаты были получены путем разработки компьютерной модели для части северо-восточной Украины при меньших знаменателях плотности э.и.м. и высоты. Добавление соответствующей части одного из контуров базовой станции показало, что, как и можно было ожидать, контур подвижных терминалов ИМТ гораздо ближе к границе, чем контуры для базовых станций ИМТ.

### **3 Адаптация метода 3 из Рекомендации МСЭ-R S.1712**

Этот метод проверяет соответствие базовой станции ИМТ пределам п.п.м., указанным в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР, на основе анализа конкретных мест случаев.

#### **3.1 Общие положения**

В основе этого метода лежит выполнение анализа конкретных мест размещения для каждой развертываемой базовой станции ИМТ. Развертывание может продолжаться, если результаты анализа показывают, что станция может удовлетворять критериям пределов п.п.м. в любой точке границы страны, где размещена станция. Анализ выполняется с использованием цифровых данных о местности наряду с параметрами базовых станций ИМТ, подходящими моделями распространения радиоволн и любыми другими методами подавления помех, которые могут быть использованы, например, отключение сектора или множественный входной сигнал – множественный выходной сигнал (ММО). Ожидается, что этот метод будет применяться только в тех случаях, когда отмечается, что потенциальное место развертывания не может соответствовать пределам п.п.м. при использовании метода 1, описанного в п. 1, или метода 2, описанного в п. 2.

#### **3.2 Описание метода**

- 1 Требуется цифровые данные о местности, которые включают место размещения станции ИМТ и окружающую зону. Эти данные должны охватывать достаточную область для надлежащего выполнения анализа п.п.м. Рекомендуется, чтобы разрешение цифровых данных о местности составляло, по крайней мере, 30 угловых секунд по горизонтали и 1 м по вертикали.
- 2 Для проведения анализа потребуются данные о параметрах развертываемой базовой станции ИМТ. Эти параметры включают пиковые коэффициенты усиления, значения ширины луча и углов наведения луча антенны базовой станции в горизонтальной и вертикальной плоскостях, высоту антенны над окружающей местностью и спектральную плотность несущей ИМТ. Соответствующей эталонной диаграммой излучения станции ИМТ для этого метода может быть диаграмма, предоставленная оператором станции, или же диаграмма, определенная в подходящих Рекомендациях МСЭ-R, например, в Рекомендации МСЭ-R F.1336.
- 3 Как и в случае двух первых методов, наилучшей моделью распространения, подходящей при проведении анализа для конкретных мест размещения, является модель в Рекомендации МСЭ-R P.452-12.
- 4 Параметры базовой станции ИМТ, цифровые данные о местности и модели распространения дают возможность рассчитать потери на трассе для всех направлений вокруг потенциального места размещения. Эти сведения, в свою очередь, позволяют получить значение п.п.м. на границе соседней страны, создаваемой этой станцией. Если критерии пределов п.п.м., указанные в пп. 5.430А, 5.432А, 5.432В и 5.433А РР, удовлетворяются, то развертывание станции может продолжаться. В противном случае необходимо будет применять дополнительные методы снижения помех.

### **4 Выводы**

В данном Приложении описано три разных метода для определения того, будет ли проектируемая базовая станция ИМТ в данном местоположении удовлетворять критериям п.п.м. в полосе частот 3,4–3,6 ГГц на границе рассматриваемой страны.

Три метода, описанные здесь, применимы для базовых станций ИМТ, а метод, описанный в п. 2, также применим для подвижных станций ИМТ.

РИСУНОК 10

Контуры, за пределами которых базовая станция ИМТ, расположенная на высоте 30 м, не будет превышать предел п.п.м.  $-154,5 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 4 \text{ кГц))}$  в течение более 20% времени, 3м выше границы северо-восточной Франции

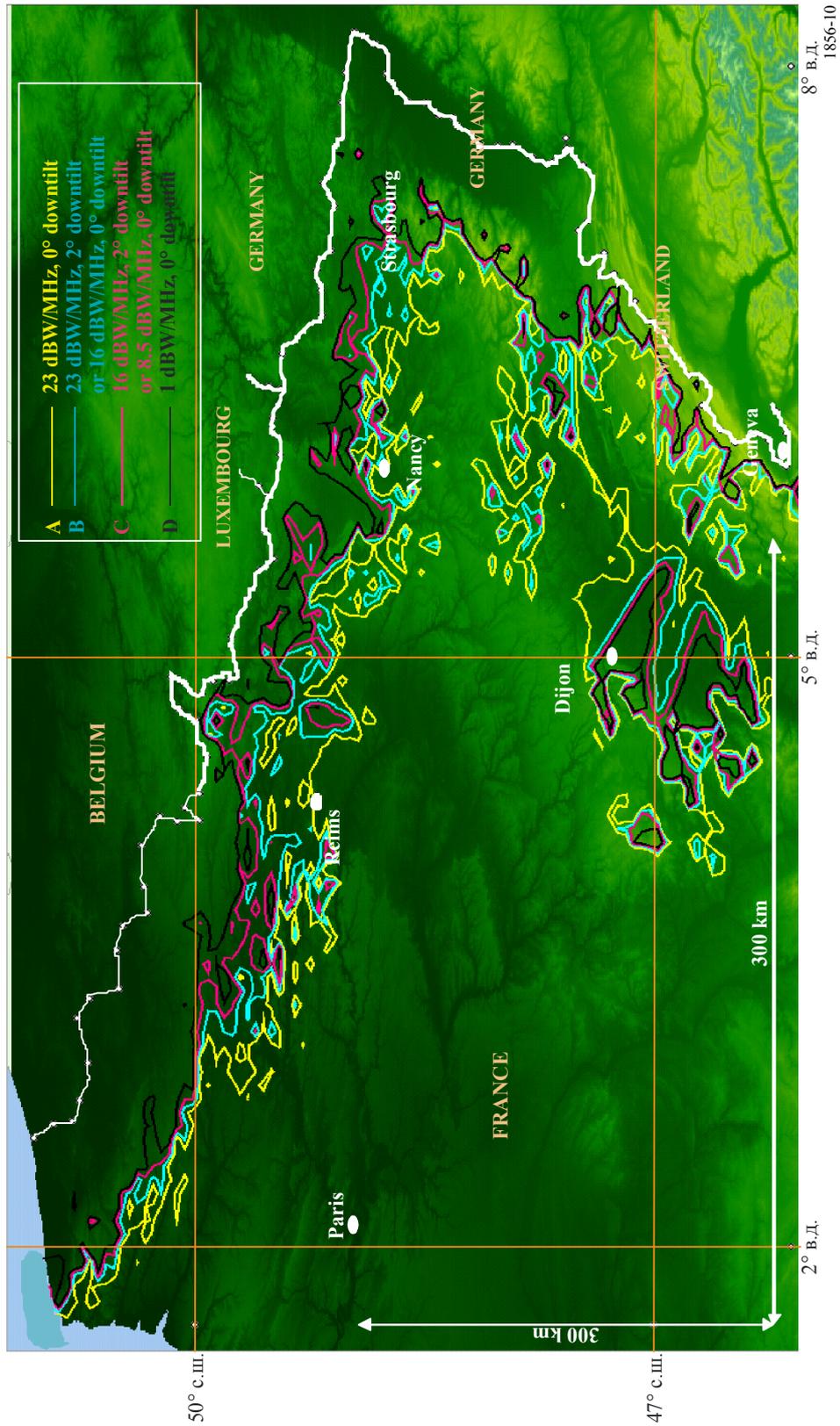
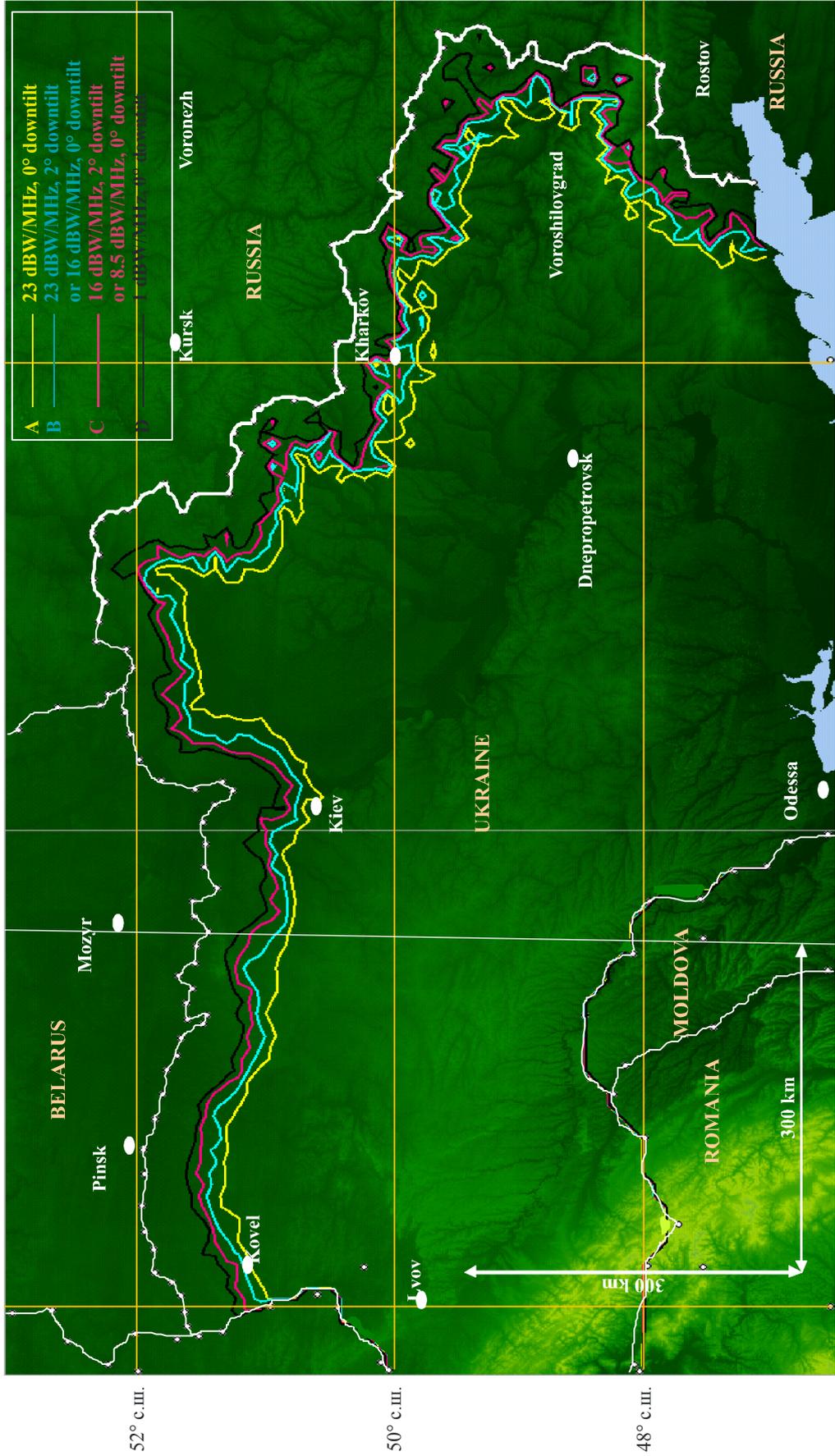


РИСУНОК 11

Контуры, за пределами которых базовая станция ГМТ, расположенная на высоте 30м, не будет превышать предел п.п.м.  $-154,5 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 4 \text{ кГц))}$  в течение более 20% времени, 3м выше границы северо-восточной Украины



1856-11

РИСУНОК 12

Контуры, за пределами которых базовая станция ИМТ, расположенная на высоте 30м, не будет превышать предел п.п.м.  $-154,5 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 4 \text{ кГц))}$  в течение более 20% времени, 3м выше границы Сьерра-Леоне

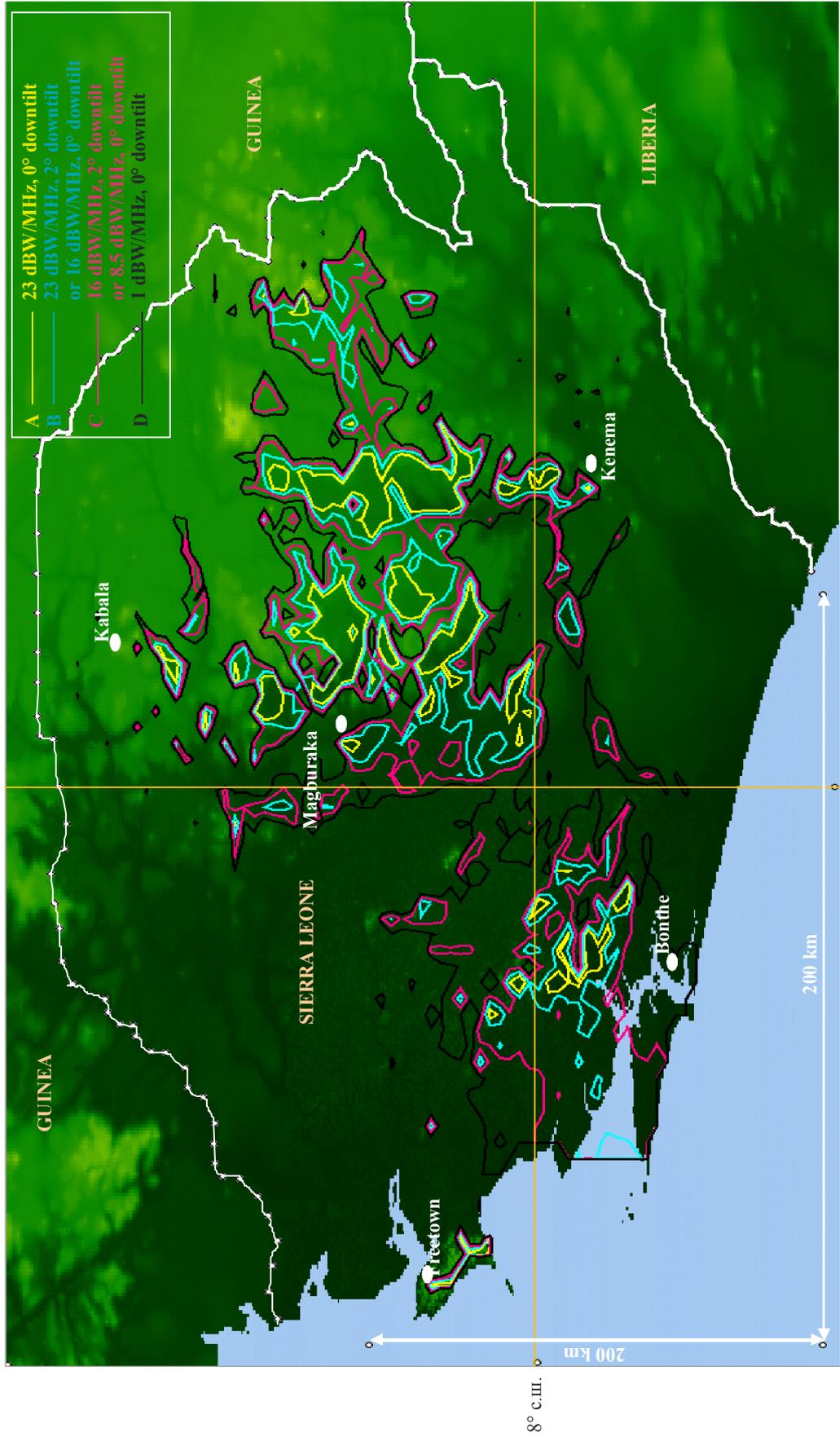


РИСУНОК 13

Контуры, за пределами которых базовая станция ИМТ, расположенная на высоте 30 м, не будет превышать предел п.п.м.  $-154,5 \text{ дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot 4 \text{ кВт}))$  в течение более 20% времени, 3м выше границы северной Украины

