

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.534-5
(02/2012)

**Метод расчета напряженности поля
при распространении посредством
спорадического слоя E**

Серия P
Распространение радиоволн



Международный
союз
электросвязи

Предисловие

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

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

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

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

Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

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

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

Электронная публикация
Женева, 2012 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.534-5

**Метод расчета напряженности поля
при распространении посредством спорадического слоя E**

(Вопрос МСЭ-R 221/3)

(1978-1982-1986-1990-1999-2012)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что распространение радиоволн посредством спорадического слоя E является важным источником помех в нижней части ОВЧ диапазона;
- b) что доказана практичность и надежность метода расчета напряженности поля при распространении посредством спорадического слоя E, приведенного в Приложении 1 к настоящей Рекомендации;
- c) что других практических методов не существует,

рекомендует,

- 1 что метод расчета, изложенный в Приложении 1, следует принять в качестве метода оценки напряженности поля при распространении посредством спорадического слоя E на низких и средних геомагнитных широтах;
- 2 что следует собрать данные о значениях f_oE_s и напряженности поля при распространении посредством спорадического слоя E, особенно в районах, расположенных на высоких широтах. Тем временем следует соблюдать осторожность при использовании в этих районах метода, изложенного в Приложении 1.

Приложение 1**Распространение посредством спорадического слоя E****1 Введение**

В настоящем тексте излагается статистический метод расчета напряженности поля сигналов, распространяющихся посредством ионосферного спорадического слоя E (E_s) в ОВЧ полосе и, возможно, в верхней части диапазона ВЧ на расстоянии до 4000 км. Этот расчет базируется на том факте, что напряженность поля значительно коррелирована с f_oE_s , то есть с критической частотой спорадического слоя E при вертикальном падении на него луча в средней точке трассы. Следует заметить, что метод можно применять к ионосферной радиолинии в случае отсутствия регулярного режима распространения через слои E или F2. Поэтому, пользуясь данным методом на ВЧ, следует соблюдать осторожность, если существует вероятность распространения посредством регулярного слоя. (Распространение посредством регулярного слоя описано в Рекомендации МСЭ-R P.533.) Данные, представленные в настоящей Рекомендации, ограничены геомагнитными широтами между $\pm 60^\circ$.

В экваториальной зоне некоторые экспериментальные данные, полученные на трассах ионосферной волны средней протяженности (500–2000 км), вполне очевидно указывают на распространение посредством Es, которое следует отличать от значительно более существенных эффектов, связанных с трансэкваториальным распространением (ТЕР) в этой области. Значения напряженности поля на низких широтах при распространении посредством Es примерно совпадают с оценками для средних широт, получаемыми в соответствии с данным Приложением. Однако наиболее изменчивым параметром является процент времени, в течение которого существует критическая частота (f_oEs) при вертикальном падении (рис. 2–6 для средних геомагнитных широт). Поэтому для области низких геомагнитных широт используются другие кривые, показанные на рис. 16–21.

Метод обладает следующими особенностями:

- Напряженность поля при распространении посредством слоя Es прогнозируется на основании статистического соответствия величины ионосферного поглощения значению f_oEs для данной частоты появления.
- Ионосферное поглощение сигналов, отраженных слоем Es, представляется в виде функции отношения частоты сигнала f к f_oEs от расстояния между передающей и приемной станциями по поверхности земли.
- Для быстрой и простой оценки величины напряженности поля при распространении посредством Es предусмотрен ряд полезных вероятностных диаграмм и мировых карт f_oEs .

2 Формула расчета напряженности поля при распространении посредством спорадического слоя Es

Напряженность поля сигналов, распространяющихся посредством Es, имеет следующий вид:

$$E = E_0 + P + G_t - L_t - \Gamma \quad \text{дБ} \quad (1)$$

$$E_0 = 104,8 - 20 \log l \quad \text{дБ} \quad (1a)$$

$$V = V_0 + P + G_t + G_r - L_t - L_r - \Gamma \quad (2)$$

$$V_0 = 133 - 20 \log l - 20 \log f, \quad (2a)$$

где:

E : прогнозируемая напряженность поля (дБ(мкВ/м));

E_0 : теоретическое, обратно пропорциональное расстоянию, значение напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для изотропной передающей антенны, излучающей мощность 1 кВт;

V : среднее напряжение, создаваемое во входных цепях приемника (дБ(мкВ));

V_0 : теоретическое, обратно пропорциональное расстоянию, значение напряжения на входе приемника, для изотропной передающей антенны, излучающей мощность 1 кВт, и приемной антенны, согласованной с фидером, имеющим сопротивление 50 Ом на частоте сигнала f (МГц);

P : мощность передатчика (дБ(1 кВт));

G_t : усиление передающей антенны относительно изотропной антенны (дБ);

G_r : усиление приемной антенны относительно изотропной антенны (дБ);

L_t : потери в передающей антенне, учитывающие потери в фидере и потери за счет рассогласования (дБ);

L_r : потери в приемной антенне, учитывающие потери в фидере и потери за счет рассогласования (дБ);

Γ : ионосферное ослабление (дБ), показанное кривыми на рис. 1;

l : длина трассы передачи (км) (см. уравнение (5));

f : частота сигнала (МГц).

В компьютерных расчетах Γ для сигнала, распространяющегося в пределах одного пролета, $\Gamma_{(1\ hop)}(d)$, примерно вычисляется по формуле:

$$\Gamma_{(1\ hop)}(d) = \left\{ \frac{40}{1 + \left(\frac{d}{130}\right) + \left(\frac{d}{250}\right)^2} + 0,2 \left(\frac{d}{2600}\right)^2 \right\} \left(\frac{f}{foEs} \right)^2 + \exp\left(\frac{d - 1660}{280}\right), \quad (3)$$

а Γ для сигнала, распространяющегося на двух пролетах, $\Gamma_{(2\ hop)}(d)$, примерно вычисляется по формуле:

$$\Gamma_{(2\ hop)}(d) = 2,6 \Gamma_{(1\ hop)}\left(\frac{d}{2}\right) \quad (4)$$

и

l : длина трассы передачи (км) рассчитывается по выражению:

$$l = 2 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h) \cos(d/(2R_0)) \right\}^{1/2}, \quad (5)$$

где:

R_0 : эффективный радиус Земли, 8500 км;

h : высота слоя Es, 120 км;

d : расстояние между передающей и приемной станциями по земной поверхности (км);

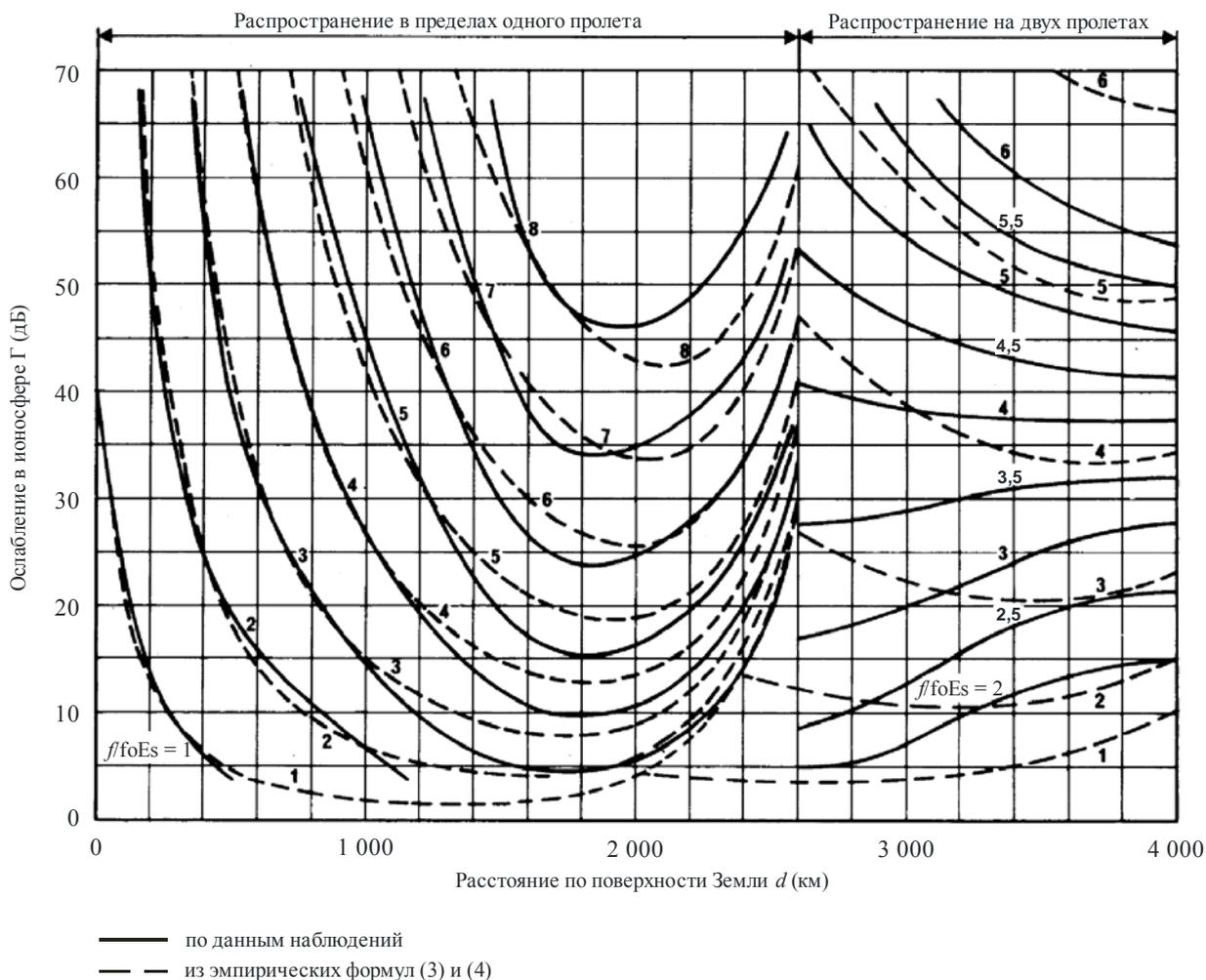
f : частота сигнала (МГц);

$foEs$: критическая частота спорадического слоя E при вертикальном падении сигнала и данной частоте появления (МГц).

Точность, с которой уравнения (3) и (4) воспроизводят измеренные значения Γ , видна из рис. 1, где кривые, соответствующие этим уравнениям, изображены пунктирными линиями. Уравнение (3) следует использовать для расстояний, не более 2600 км, и в интервале величин $f/foEs$ от 1 до 8, при этом погрешность не будет превышать 5 дБ. Применение уравнения (4) должно ограничиваться расстояниями от 2600 до 4000 км и величинами $f/foEs$ между 2 и 5,5; в этом случае погрешность не будет превышать 10 дБ.

РИСУНОК 1

График ослабления в ионосфере Г при распространении посредством Es



P.0534-01

3 Процедура расчета напряженности поля при распространении посредством спорадического слоя E

Процедура расчета напряженности поля при распространении посредством Es заключается в следующем:

Шаг 1: Вычислить значение E_0 (или V_0), соответствующее заданной величине I , используя уравнение (1а) (или уравнение (2а)).

Шаг 2а: (геомагнитная широта средней точки трассы находится вне пределов $\pm 20^\circ$): С помощью одного из рис. 2–6 определить в требуемом районе и для требуемого сезона величину foEs для данного процента времени ее появления. Если требуется более точный прогноз, то необходимо определить с помощью соответствующей карты на рис. 12–15 значение процента времени, в течение которого foEs в средней точке трассы превышает 7 МГц, а затем, проведя на соответствующем рис. 2–6 новую линию, как описано в п. 4.1, определить значение foEs. Если необходим прогноз суточных вариаций, для определения foEs воспользуйтесь одним из рис. 7–11.

Шаг 2б: (геомагнитная широта средней точки трассы находится в пределах $\pm 20^\circ$): Определить угол магнитного наклона в точке отражения волны от ионосферы и с помощью рис. 16–21, определить foEs в требуемом районе для требуемого времени года при заданном проценте времени ее появления.

Шаг 3: Вычислить $f/foEs$.

Шаг 4: С помощью пунктирных кривых на рис. 1 определить величину Г, соответствующую данному значению d и вычисленному значению $f/foEs$, или, если требуется приближенное значение, вычислить Г с помощью уравнений (3) и (4).

Шаг 5: Определить из уравнения (1) (или (2)) прогнозируемую величину E (или V), используя данные величины P , G_i , G_r , L_i , L_r и найденное значение Γ .

4 Вероятность появления foEs

Необходимо дать пояснения относительно статистических характеристик foEs, так как последняя подвержена изменениям спорадического характера в пространстве и во времени. Если требуются прогнозы высокой точности, то можно воспользоваться мировой картой foEs, например такой, которая представлена в Рекомендации МСЭ-R P.1240. С другой стороны, в случаях, когда необходимо знать общую тенденцию изменений во времени, очень полезными могут быть также упрощенные статистические данные о foEs.

Для прогнозирования среднего значения напряженности поля при распространении посредством Es подготовлены вероятностные кривые foEs для пяти среднеширотных районов Европы и Северной Африки, Северной Америки, Азии (Дальний Восток), Южной Америки и буферной зоны между этими районами, представленные на рис. 2–11. На рис. 16–21 показаны вероятностные кривые foEs для низких широт в Америке, Азии и Африке. Характеристики, относящиеся к области высоких широт, требуют дальнейшего уточнения в будущем.

4.1 Средние широты

Для того чтобы иметь подробные географические характеристики foEs, в описание метода включены рис. 12–15 с мировыми картами процента времени, в течение которого значения foEs равны или превышают 7 МГц, для периодов май–август (северное полушарие, лето), ноябрь–февраль (южное полушарие, лето), марта, апреля, сентября и октября (месяцы равноденствия, северное и южное полушария), а также для двенадцати месяцев. Как видно из этих мировых карт, контуры процентов времени приводятся в пределах не выше 60° северной и южной геомагнитных (или дипольных) широт. Область низких широт около геомагнитного экватора исключена.

На рис. 2–6 показано соотношение между значением foEs и процентом времени ее возникновения. На этих рисунках все кривые для летних и зимних месяцев, а также месяцев равноденствия представляют собой прямые линии, соединяющие две точки, соответствующие значениям процента времени, в течение которого foEs превышает 7 МГц и 10 МГц, соответственно. Они следуют так называемому закону частотной зависимости Филлипса. Этот закон, полученный чисто эмпирическим путем, хорошо выполняется на средних широтах для значений процента времени, не превышающих примерно 30%, и для частот выше foE, т. е. критической частоты регулярного слоя E. Необходимо проявлять осторожность при применении закона Филлипса к частотам выше примерно 100 МГц, а также к экваториальным и высоким широтам. Закон Филлипса формулируется следующим образом:

$$\log p = a + bf, \quad (6)$$

где:

p : вероятность появления foEs $> f$;

f : частота (МГц);

a и b : подбираемые константы, такие что b – это угол наклона на графике зависимости $\log p$ от f .

Значения процента времени, относящиеся к кривой средних годовых величин, составляют в области малых процентов времени примерно одну треть от соответствующих значений для летних месяцев. Заметим для справки, что вероятностные кривые служат дополнением к соответствующим рисункам, относящимся к дневному времени (08.00–23.00) в летние месяцы, когда наблюдается наиболее интенсивный спорадический слой E.

Если значение процента времени foEs для 7 МГц, полученное из мировых карт на рис. 12, 13, 14 или 15, отличается от значения, полученного по кривой средней вероятности для соответствующего Района, изображенной на рис. 2–6, то для данного процента времени величину foEs можно определить, используя новую вероятностную кривую, проведенную параллельно первоначальной кривой для соответствующего Района со смещением, равным разнице этих величин.

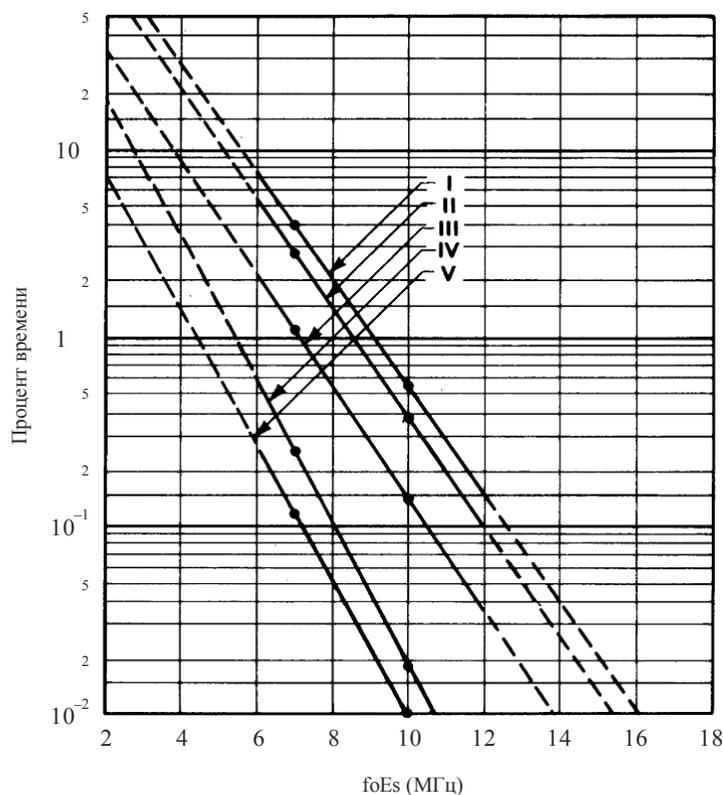
На рис. 7–11 представлены суточные изменения вероятности появления foEs в четырехчасовых временных блоках в вышеуказанных четырех районах для летних и других месяцев согласно их отличительным характеристикам. Следует отметить, что определенный минимум foEs наблюдается вскоре после полудня в Районах В и С, особенно летом. С целью тщательного прогнозирования изменения напряженности поля сигналов, отраженных от Es, может понадобиться воспроизвести картину суточных изменений foEs в виде временных блоков, продолжительностью менее 4 часов.

4.2 Низкие широты

На рис. 16–21 показано соотношение между величиной foEs и процентом времени ее появления на низких широтах. На этих рисунках ясно видно отличие между очень узкой областью, опоясывающей геомагнитный экватор (угол магнитного наклона $\pm 6^\circ$) и примыкающей областью до $\pm 20^\circ$, которые могут быть названы соответственно экваториальной и субэкваториальной зонами. Из сопоставления с рис. 2–6 видно, что не только экваториальная, но и субэкваториальная зона подчиняется закону Филлипа.

РИСУНОК 2

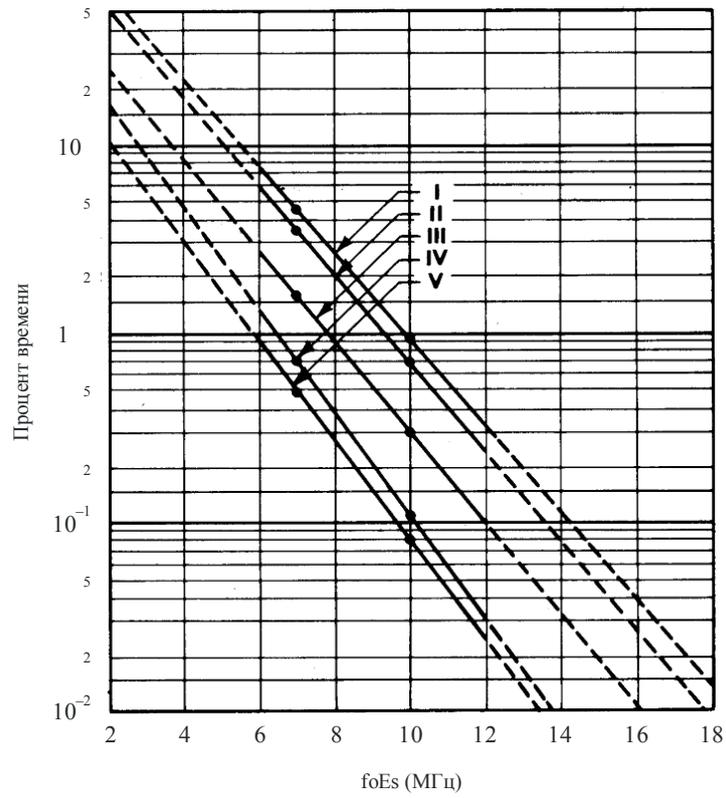
Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени, для Района А



Район А: Европа и Северная Африка
 I: май–август (08.00–23 00)
 II: май–август
 III: среднегодовые значения
 IV: март, апрель, сентябрь и октябрь
 V: ноябрь–февраль

РИСУНОК 3

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени, для Района В

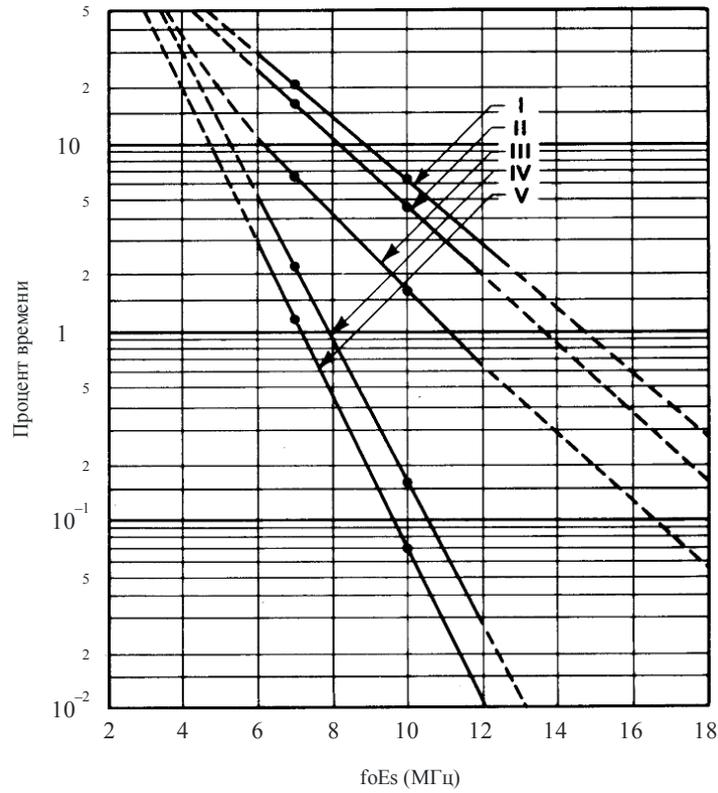


Район В: Северная Америка
 I: май-август (08.00-23 00)
 II: май-август
 III: среднегодовые значения
 IV: март, апрель, сентябрь и октябрь
 V: ноябрь-февраль

P.0534-03

РИСУНОК 4

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени, для Района С

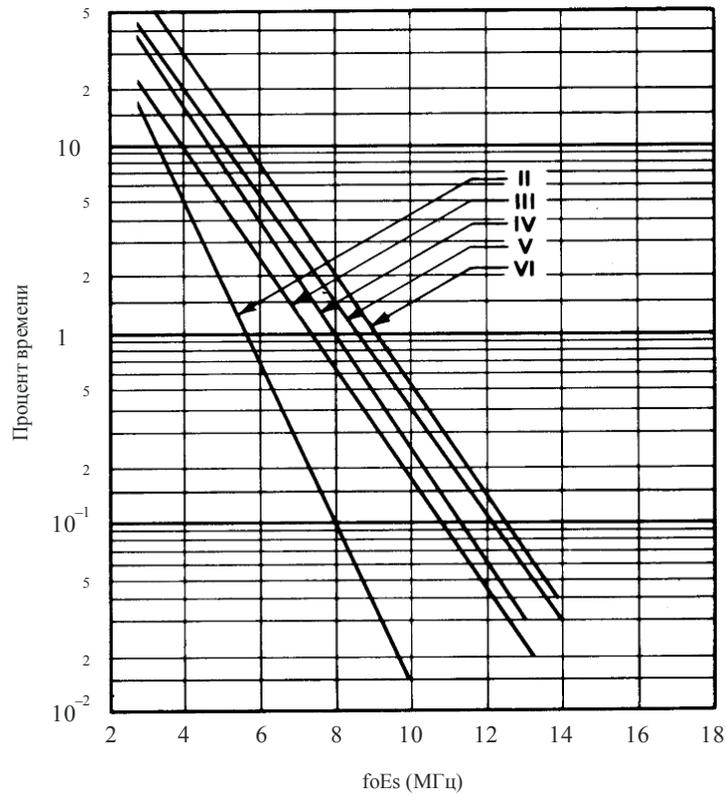


Район С: Азия (Дальний Восток)
 I: май-август (08.00-23.00)
 II: май-август
 III: среднегодовые значения
 IV: март, апрель, сентябрь и октябрь
 V: ноябрь-февраль

P.0534-04

РИСУНОК 5

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени, для Района D

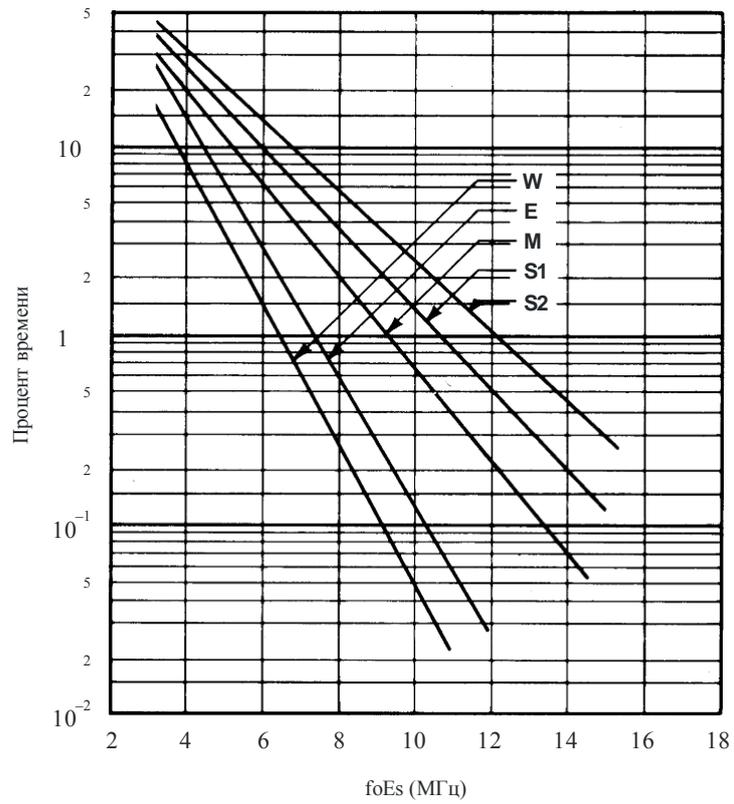


Район D: Южная Америка
 II: май-август
 III: среднегодовые значения
 IV: март, апрель, сентябрь и октябрь
 V: ноябрь-февраль
 VI: ноябрь-февраль (08.00-23.00)

P.0534-05

РИСУНОК 6

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени

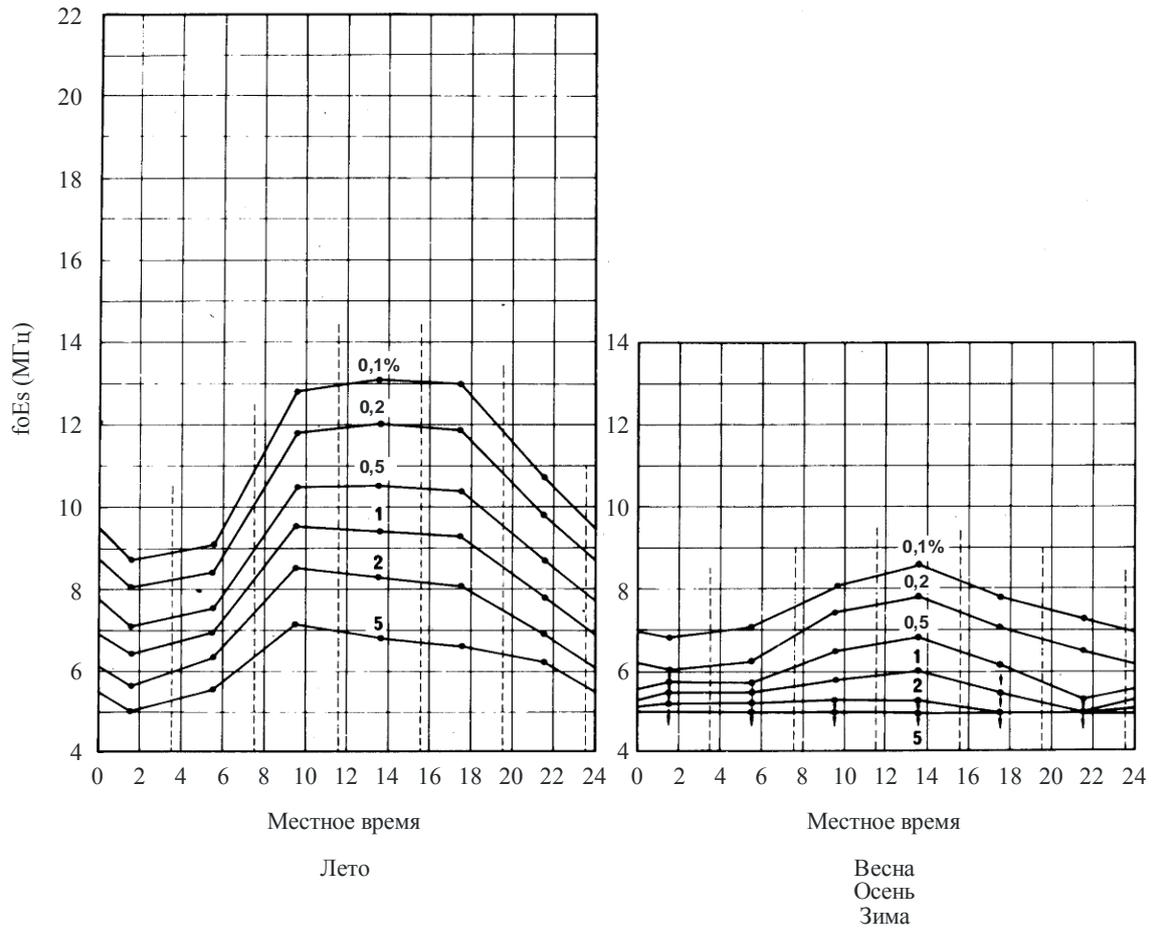


Средние значения: Районы А, В, С и D
 S1: лето
 S2: лето (08.00–23.00)
 M: среднегодовые значения
 E: равноденствие
 W: зима

P.0534-06

РИСУНОК 7

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение процента времени, указанного как параметр кривой, в течение четырехчасовых блоков времени, разделенных на графике пунктирными линиями, для Района А (Европа и Северная Африка)



P0534-07

РИСУНОК 8

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение процента времени, указанного как параметр кривой, в течение четырехчасовых блоков времени, разделенных на графике пунктирными линиями, для Района В (Северная Америка)

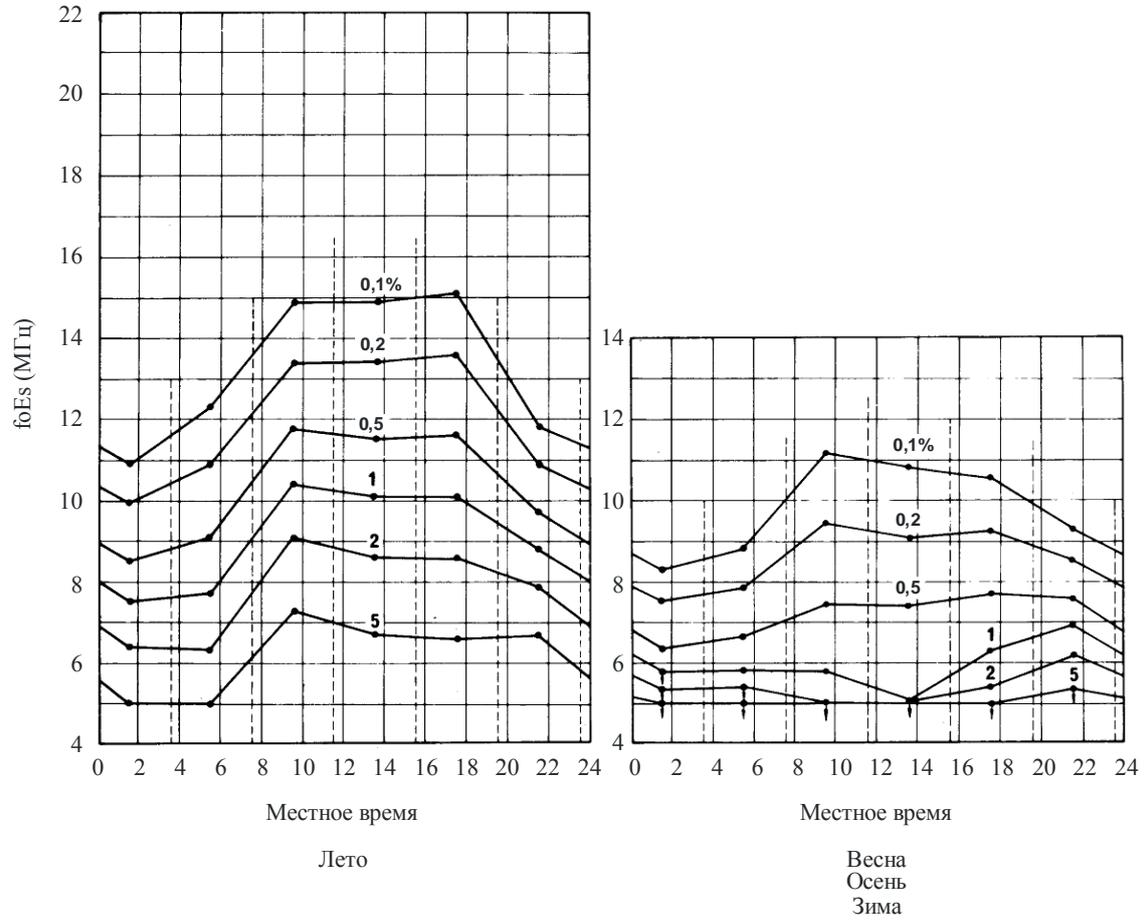
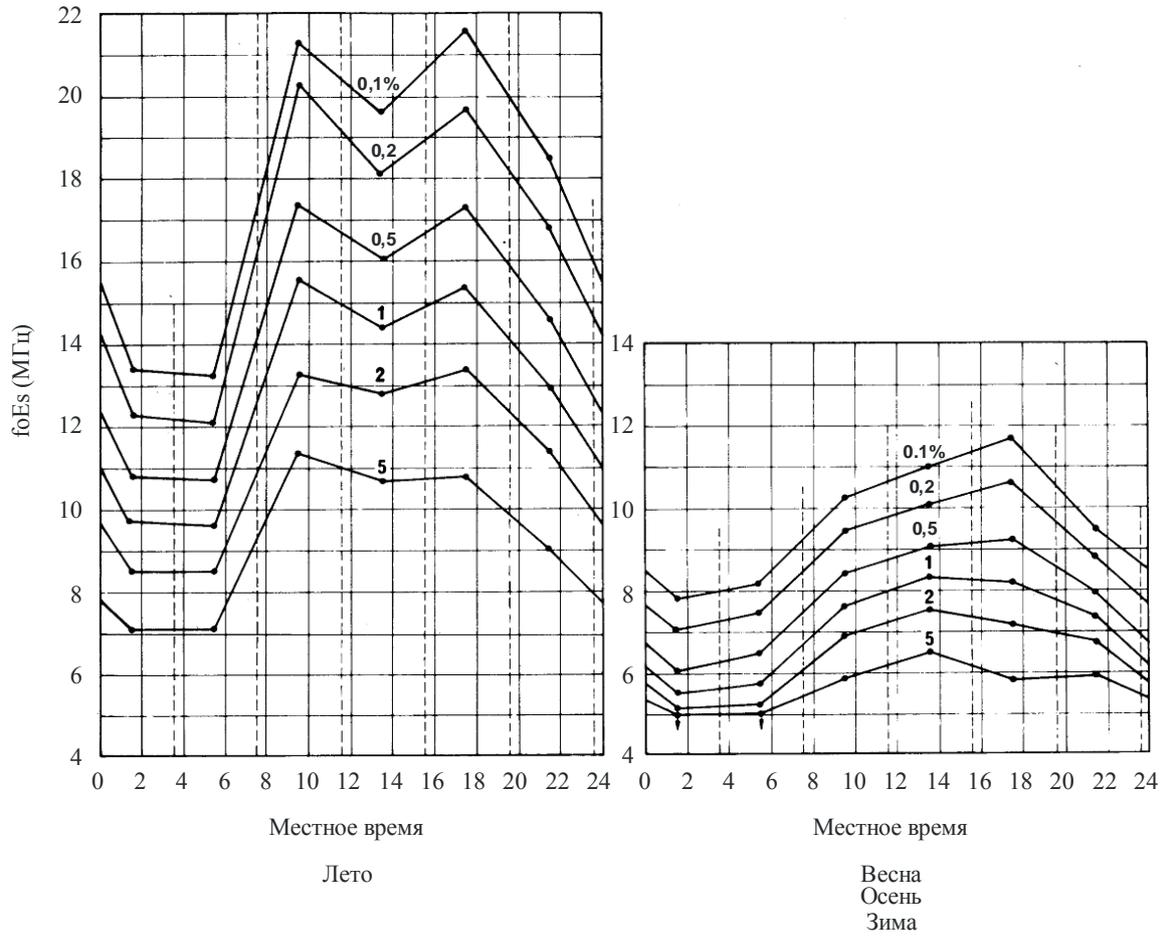


РИСУНОК 9

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение процента времени, указанного как параметр кривой, в течение четырехчасовых блоков времени, разделенных на графике пунктирными линиями, для Района С (Азия (Дальний Восток))



P0534-09

РИСУНОК 10

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение процента времени, указанного как параметр кривой, в течение четырехчасовых блоков времени, разделенных на графике пунктирными линиями, для Района D (Южная Америка)

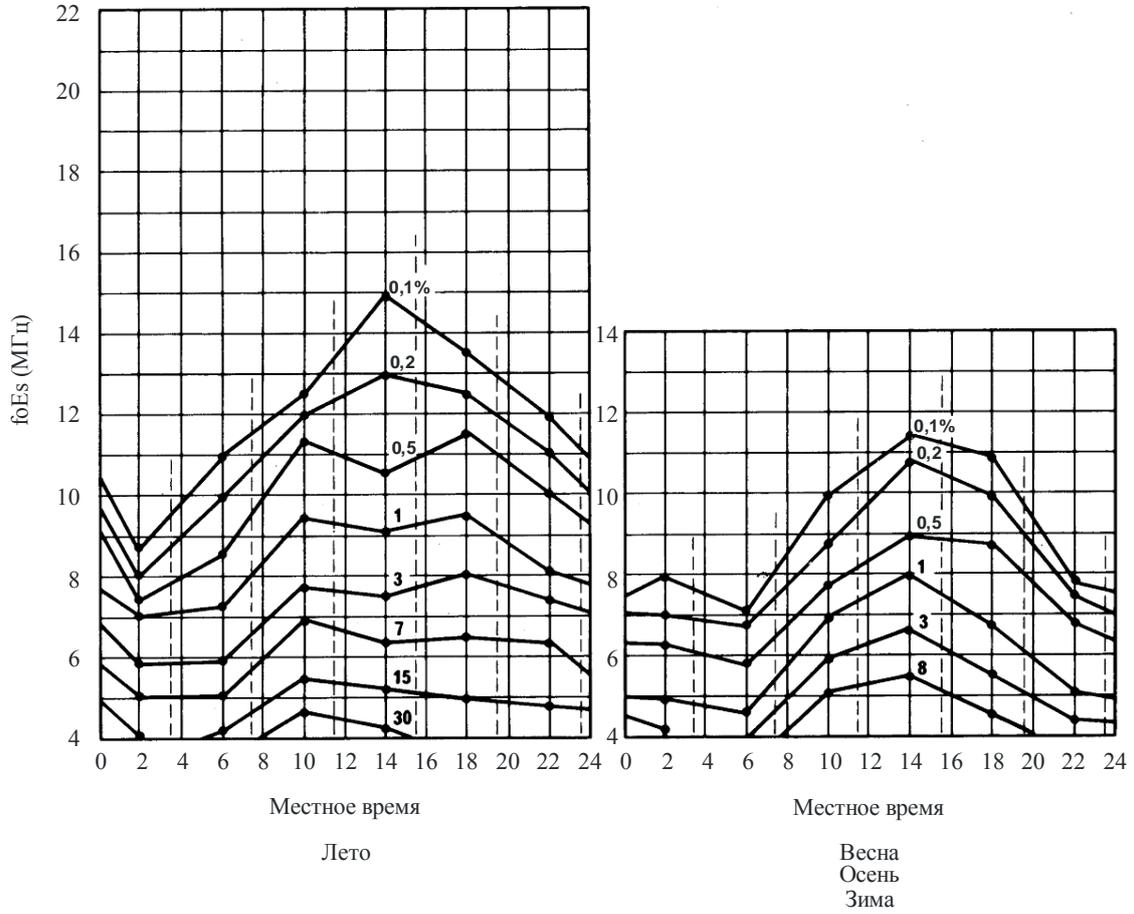
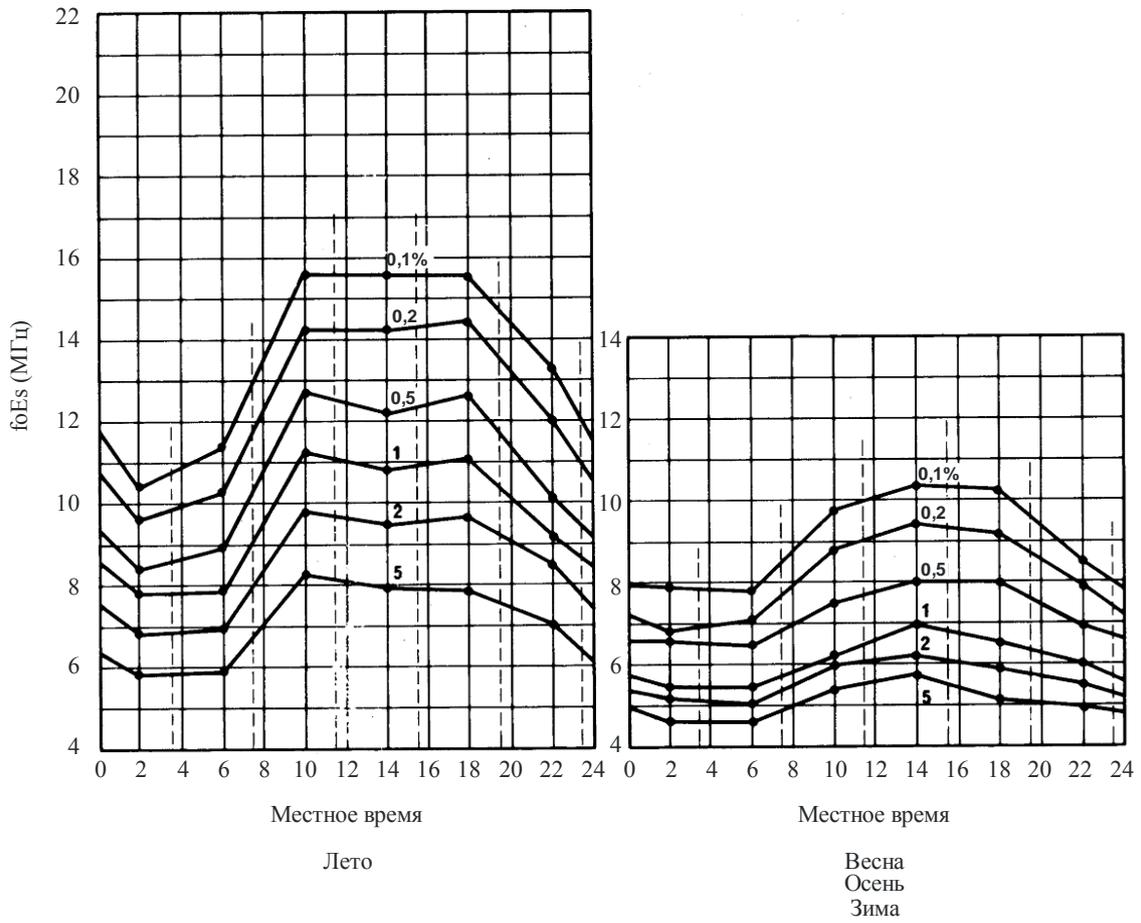


РИСУНОК 11

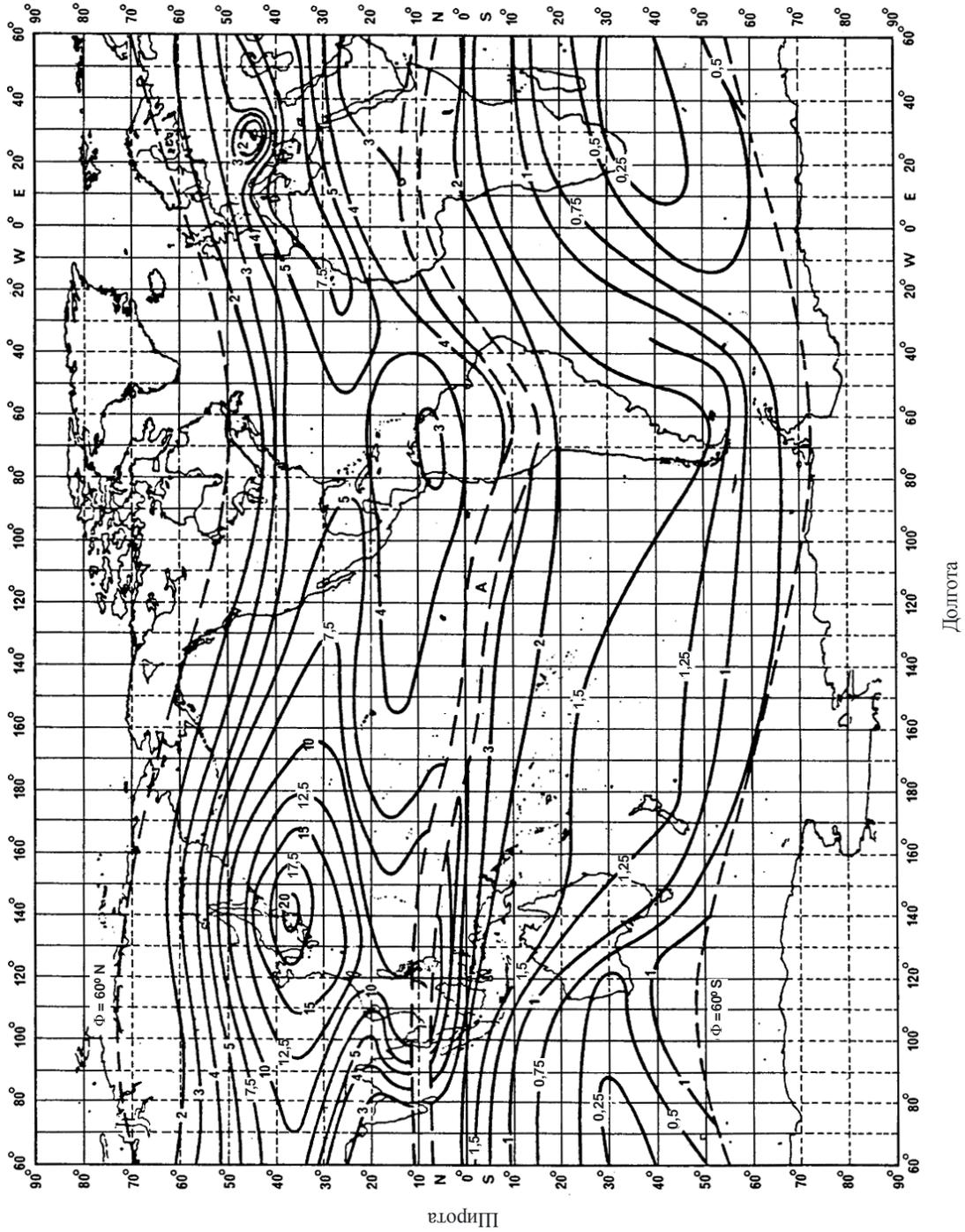
Значения f_oE_s , достигаемые или превышаемые в течение процента времени, указанного как параметр кривой, в течение четырехчасовых блоков времени, разделенных на графике пунктирными линиями, для Районов А, В, С и D



P0534-11

РИСУНОК 12

Процент времени, в течение которого в среднеширотных зонах критическая частота sporadic E-слоя (foEs) при вертикальном падении равна или превышает 7 МГц для мая, июня, июля и августа

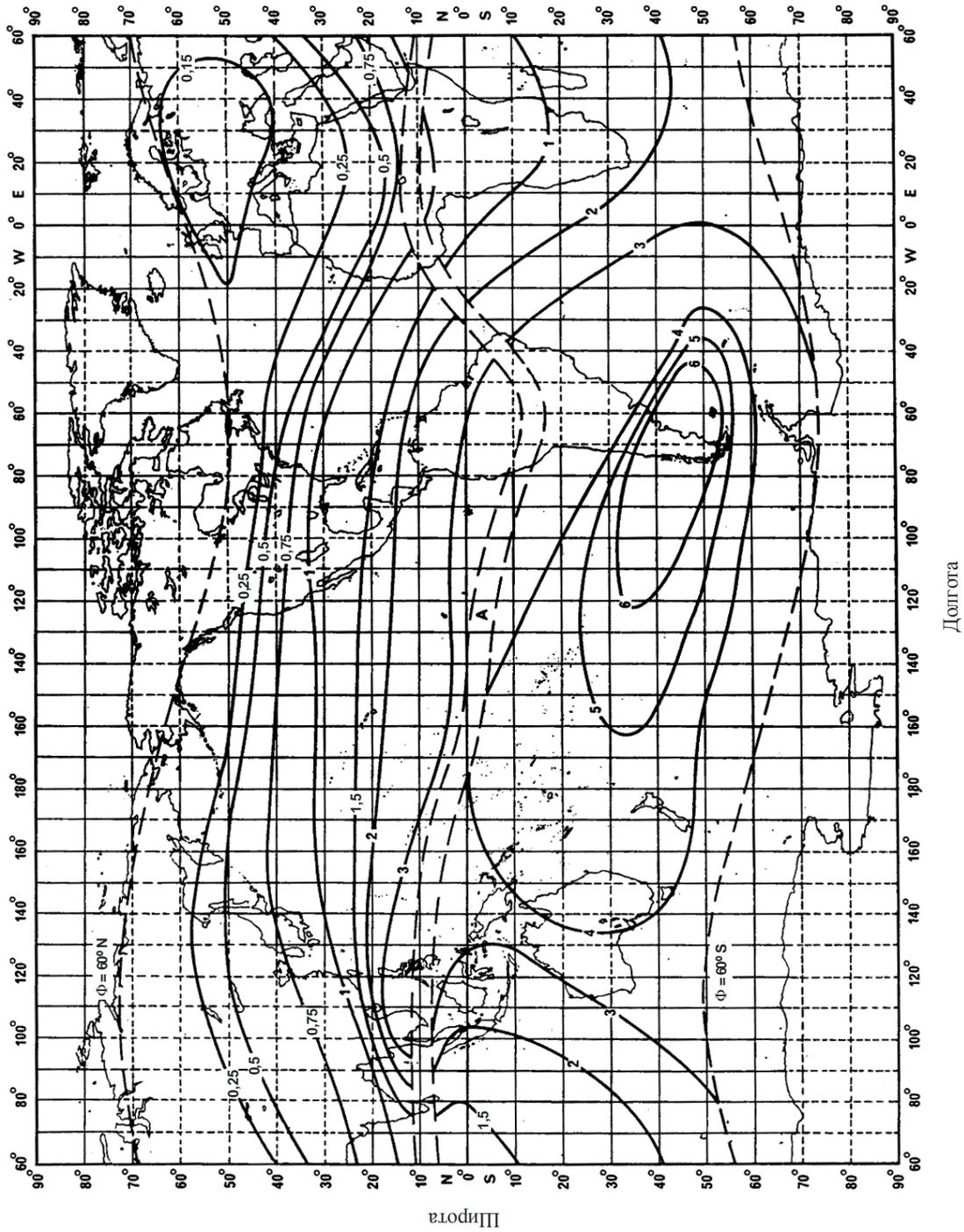


A: область низких широт (см. п. 4)

P0534-12

РИСУНОК 13

Процент времени, в течение которого в среднеширотных зонах критическая частота sporadического слоя E (f_oE_s) при вертикальном падении равна или превышает 7 МГц для ноября, декабря, января и февраля

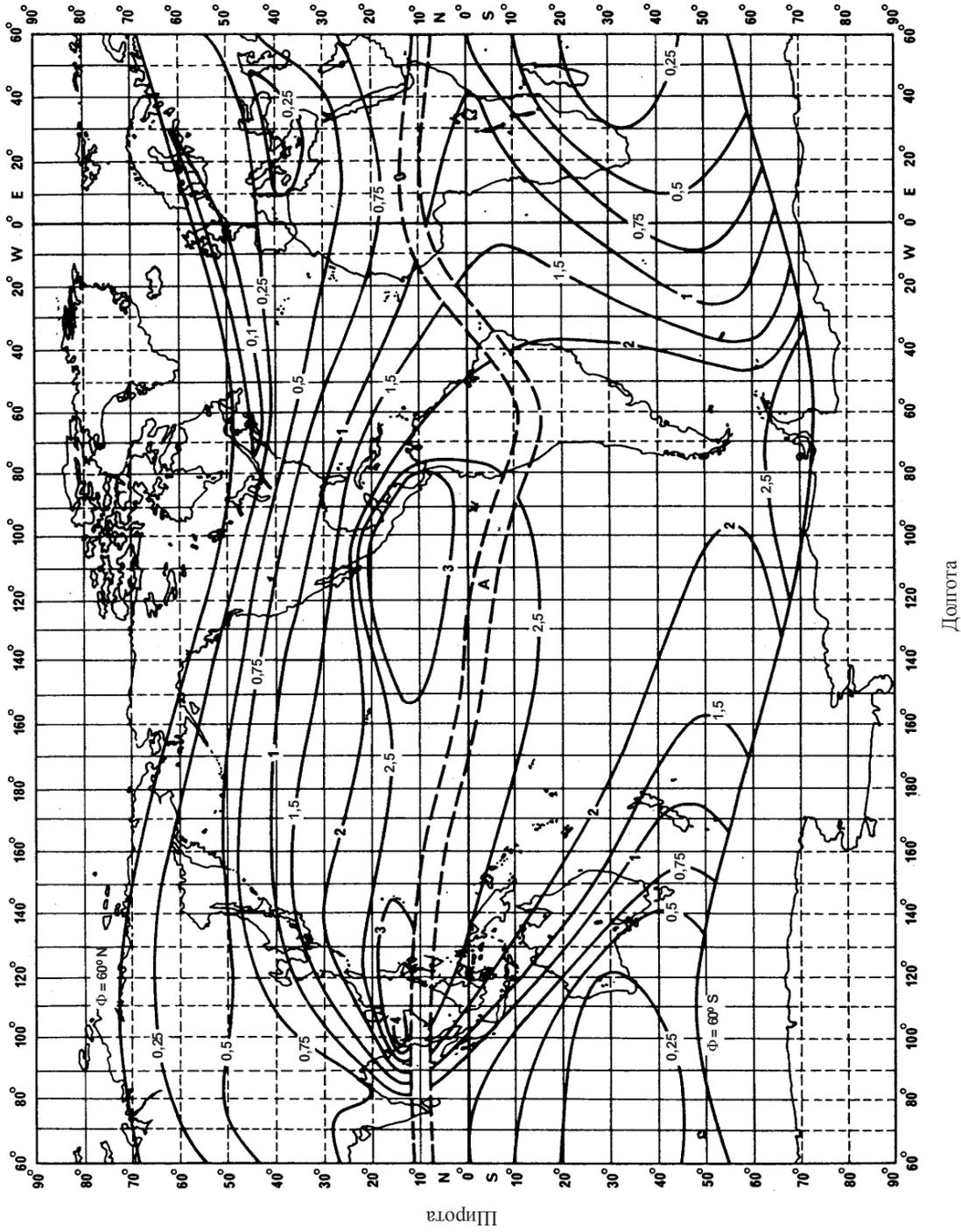


A: область низких широт (см. п. 4)

P.0534-13

РИСУНОК 14

Процент времени, в течение которого в среднеширотных зонах критическая частота sporadic E-слоя (f_oE_s) при вертикальном падении равна или превышает 7 МГц для марта, апреля, сентября и октября

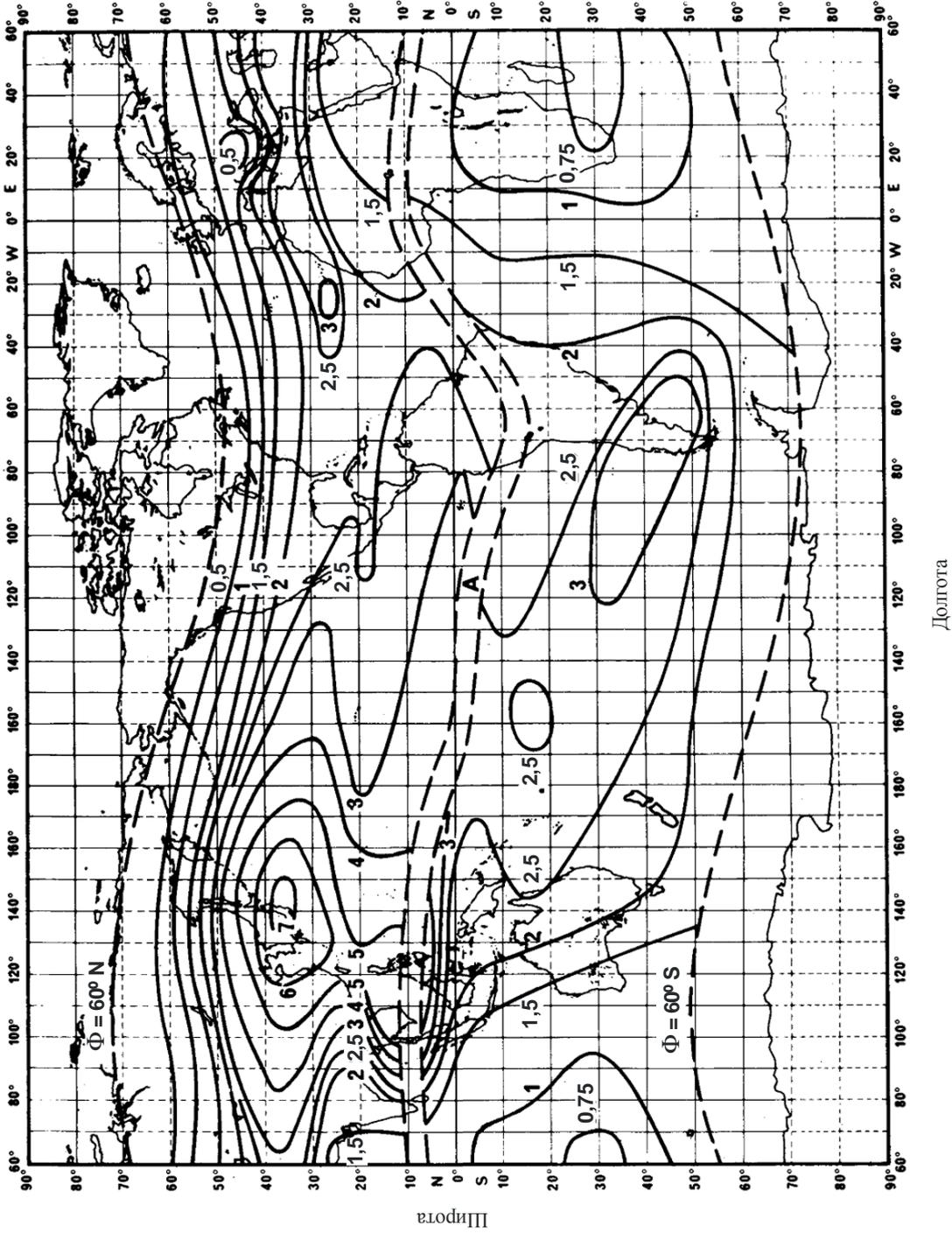


А: область низких широт (см. п. 4)

P.0534-14

РИСУНОК 15

Процент времени, в течение которого в среднеширотных зонах критическая частота sporadического слоя E (foEs) при вертикальном падении равна или превышает 7 МГц в течение 12 месяцев года

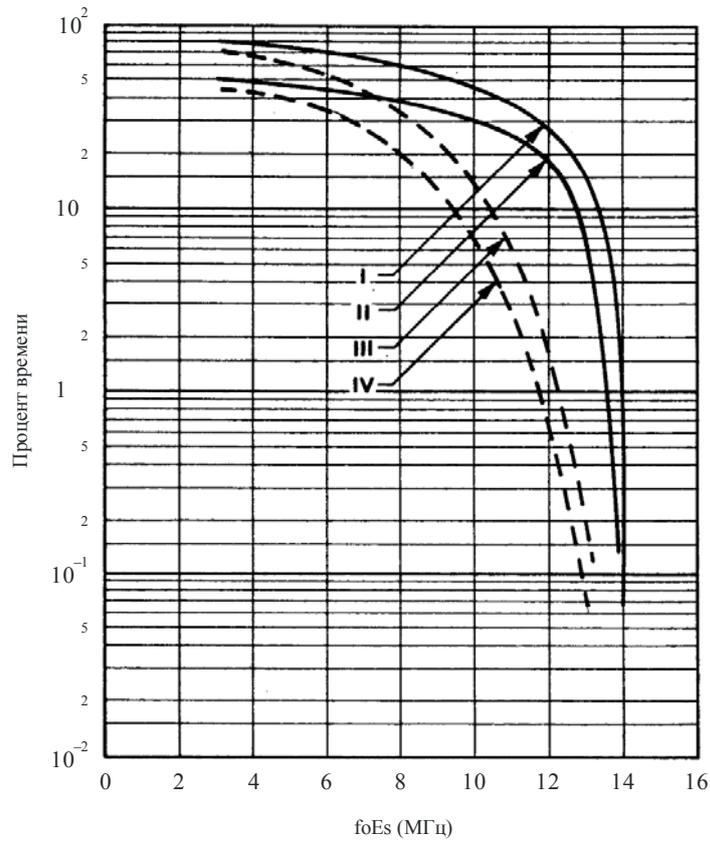


А: область низких широт (см. п. 4)

P.0534-15

РИСУНОК 16

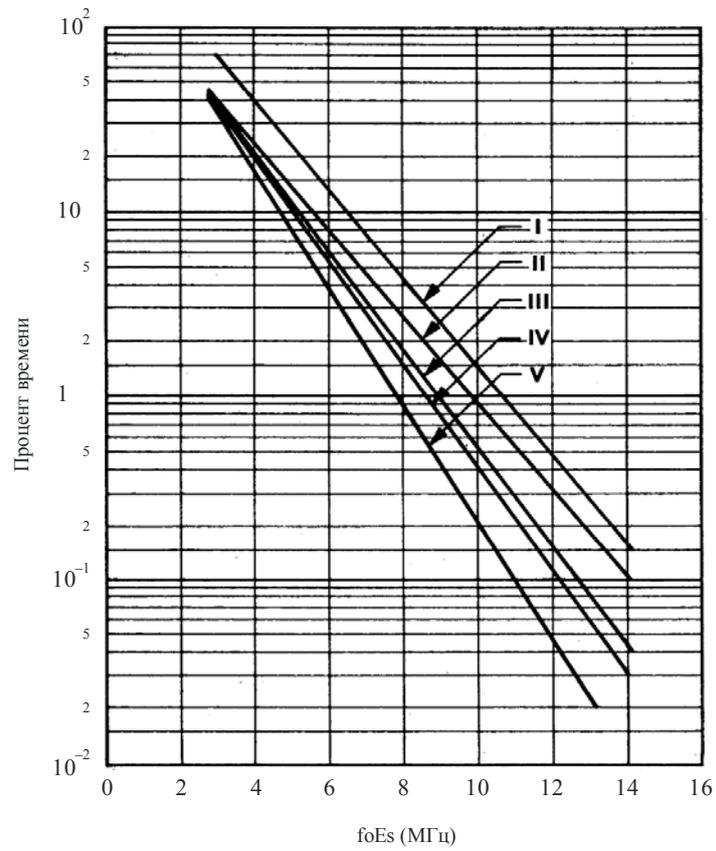
Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени



- Район E: Экваториальная Азия ($\pm 6^\circ$ магнитной широты)
- I: годы максимальной солнечной активности (06.00–18.00)
среднегодовые значения
 - II: годы максимальной солнечной активности
среднегодовые значения
 - III: годы средней и низкой солнечной активности (06.00–18.00)
среднегодовые значения
 - IV: годы средней и низкой солнечной активности
среднегодовые значения

РИСУНОК 17

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени

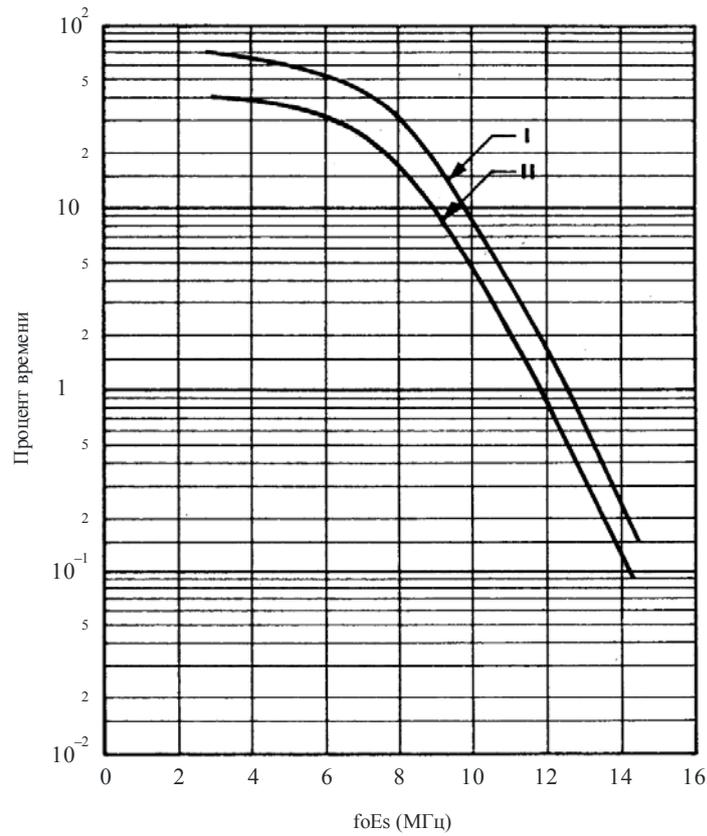


Район E: Субэкваториальная Азия
(между $\pm 6^\circ$ и $\pm 20^\circ$ магнитной широты)
I: лето (06.00–18.00)
II: лето
III: среднегодовые значения
IV: равноденствие
V: зима

P.0534-17

РИСУНОК 18

Значения f_oE_s , достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени

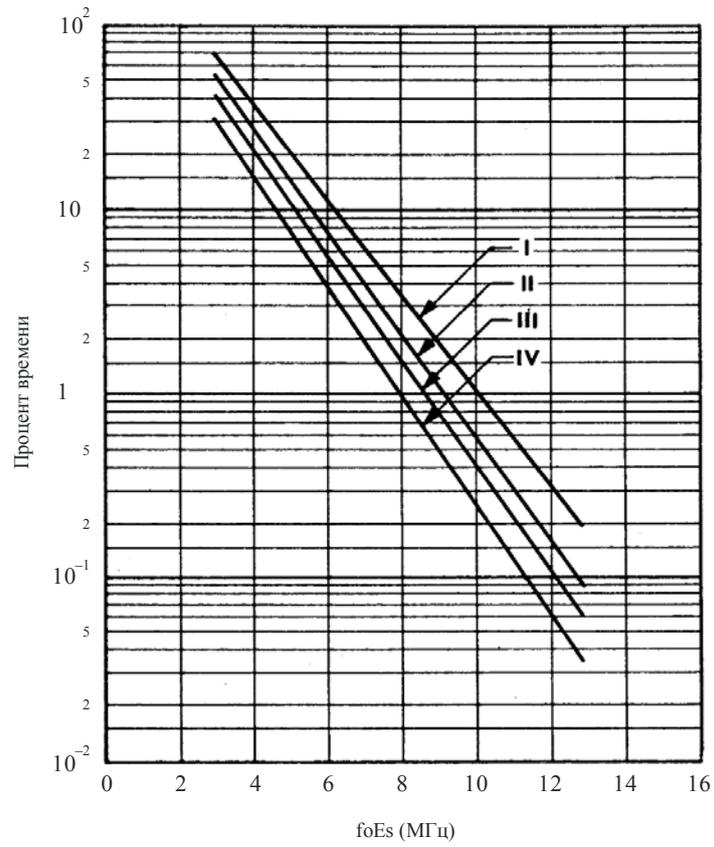


Район F: Экваториальная Африка ($\pm 6^\circ$ магнитной широты)
 I: среднегодовые значения (06.00–18.00)
 II: среднегодовые значения

Примечание. – Различия между временами года меньше среднегодовой ошибки. Значительных изменений в зависимости от уровня солнечной активности также нет.

РИСУНОК 19

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени

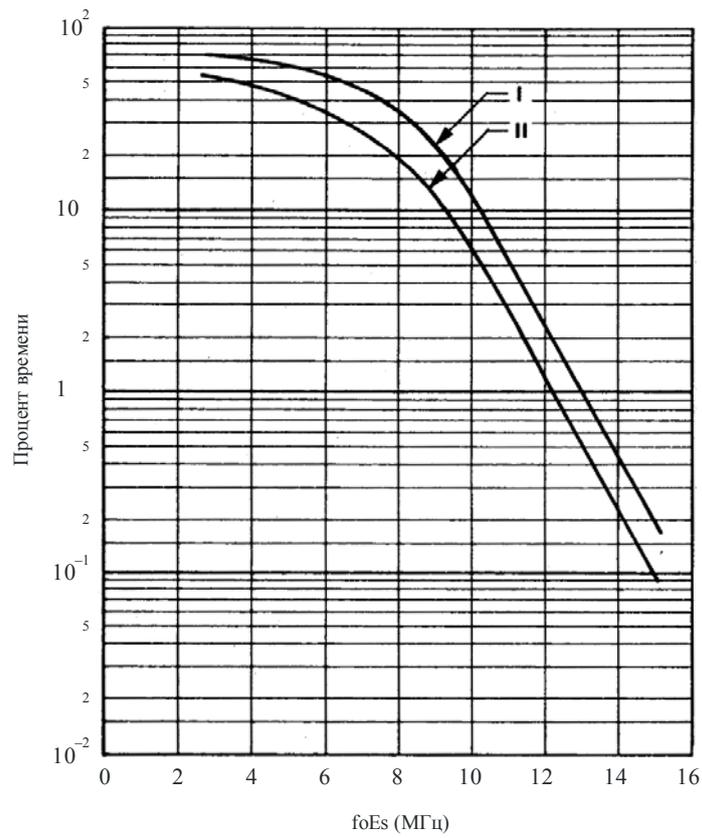


Район F: Субэкваториальная Африка
(между $\pm 6^\circ$ и $\pm 20^\circ$ магнитной широты)
I: лето (06.00–18.00)
II: лето
III: среднегодовые значения
IV: зима

P.0534-19

РИСУНОК 20

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени



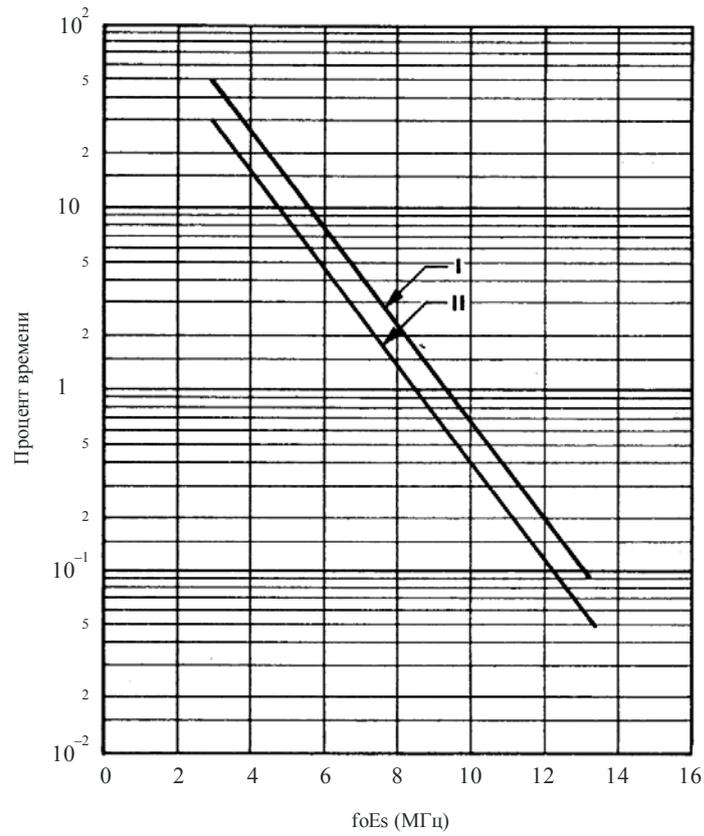
Район G: Экваториальная Америка ($\pm 6^\circ$ магнитной широты)
 I: среднегодовые значения (06 00–18 00)
 II: среднегодовые значения

Примечание. – Различия между временами года меньше среднегодовой ошибки

P.0534-20

РИСУНОК 21

Значения foEs, достигаемые или превышаемые в течение указанного процента времени



Район G: Субэкваториальная Америка
(между $\pm 6^\circ$ и ± 20 магнитной широты)
I: среднегодовые значения (06 00–18 00)
II: среднегодовые значения

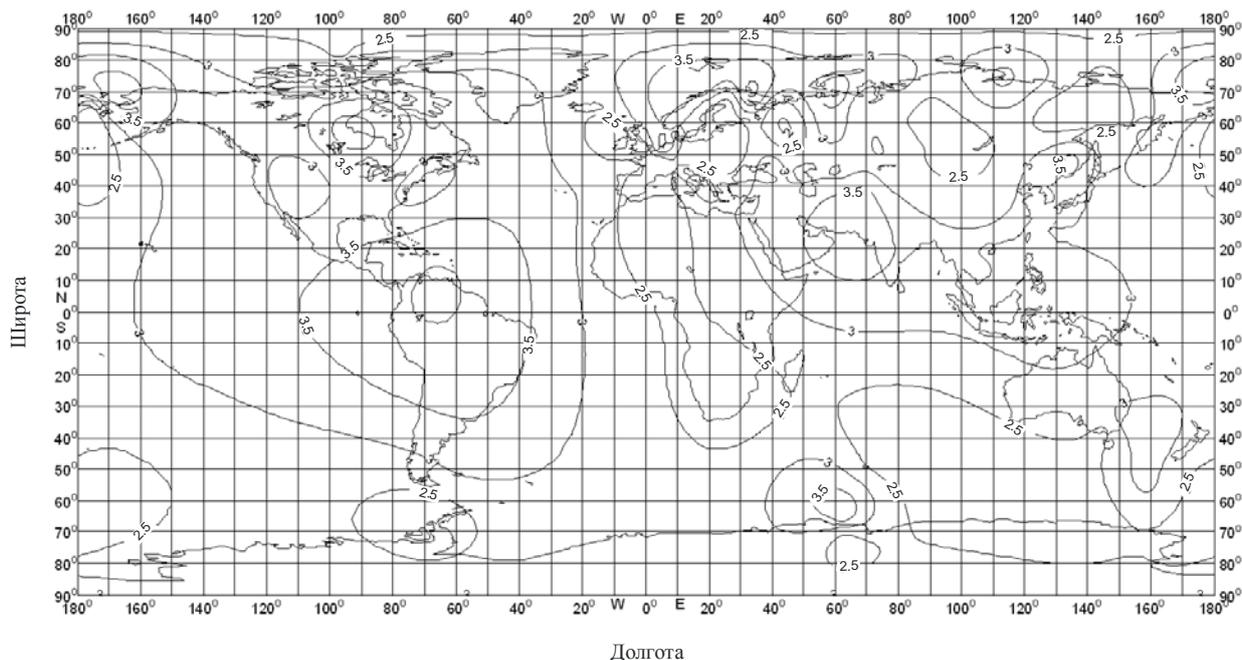
Примечание. – Различия между временами года меньше среднегодовой ошибки.

4.3 Мировые карты foEs, превышаемой в течение годового процента времени

Для упрощения прогнозирования с использованием компьютерных средств был разработан набор карт критической частоты для спорадического слоя E, foEs (МГц), не превышаемой в течение 50%, 10%, 1% и 0,1% времени среднего года. Эти карты построены на основе комплекта мировых данных, содержащего результаты долговременных измерений на 101 ионосферной станции. Карты доступны в электронном формате на веб-сайте 3-й Исследовательской комиссии МСЭ-R. На рисунке 22 приведен пример карты для 50% времени.

РИСУНОК 22

FoEs (МГц), не превышаемая в течение более 50% времени среднего года



P.0534-22

5 Прогнозирование характеристик в спорадическом слое E по картам, построенным на основе годовых статистических данных

Данный метод позволяет определить основные потери передачи в спорадическом слое, которые не превышаются в течение заданного процента времени среднего года, на основе карт foEs, превышаемых в течение 0,1%, 1%, 10% и 50% среднего года. Метод предназначен в первую очередь для компьютерной реализации, когда необходимы плавные изменения прогнозируемых потерь в зависимости от местоположения в основном для прогнозирования помех на протяженных трассах на низких и средних широтах. Метод не следует рассматривать как надежный для низких и высоких геомагнитных широт.

Вычисление включает экранирование терминала, изменяемое в соответствии с углом выхода. Следовательно, для всех трасс вычисления выполняются и для одного, и для двух пролетов. В конце процедуры эти два результата объединяются.

В случае отсутствия информации об угле места горизонта со стороны терминала и расстоянии следует использовать оценочные значения. Если известно, что рельеф интересующей области ровный или включает значительные площади водного бассейна, то возможны отражения от поверхности, способствующие ионосферному распространению, которые обуславливают уменьшение потерь. В представленном ниже методе этот эффект не оценивается.

5.1 Получение foEs

Для заданного значения $p\%$ времени установить значения процента времени, используемые для интерполяции или экстраполяции, p_1 и p_2 по таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Условия для установки значений p_1 и p_2

$p\%$ времени	p_1	p_2
$p < 1\%$	0,1%	1%
$1\% \leq p \leq 10\%$	1%	10%
$10\% < p$	10%	50%

Для данного местоположения получить f_{oEs1} и f_{oEs2} по картам f_{oEs} , превышаемой в течение p_1 и $p_2\%$, соответственно. Рассчитать f_{oEs} , превышаемую в течение $p\%$ времени, по формуле:

$$f_{oEs} = f_{oEs1} + (f_{oEs2} - f_{oEs1}) \cdot \log(p / p_1) / \log(p_2 / p_1) \quad (\text{МГц}). \quad (7)$$

5.2 Углы места горизонта

Создаваемые рельефом местности препятствия возле любого терминала могут вызывать дополнительное ослабление.

Для каждого терминала: найти точку на местности, лежащую на трассе по дуге большого круга в направлении от данного терминала к другому терминалу, которая характеризуется наибольшим углом места над местной горизонталью со стороны данного терминала. Угол места данной точки на местности определяется по формуле:

$$\varepsilon_p = \arctan \left(\frac{h_p - h_a}{1000d_p} - \frac{d_p}{2R_0} \right) \quad (\text{радианы}), \quad (8)$$

где:

d_p : расстояние до точки на местности (км);

h_p : высота точки на местности (в метрах над уровнем моря);

h_a : высота антенны терминала (в метрах над уровнем моря).

Выполнить этот расчет дважды – для каждого терминала, с тем чтобы получить следующие значения:

$\varepsilon_{ha,b}$: угол места горизонта на первом, втором терминале (радианы);

$d_{ha,b}$: расстояние до горизонта на первом, втором терминале (км).

5.3 Вычисления для распространения на одном пролете

Получить значение f_{oEs} с помощью уравнения (7) для средней точки трассы, с тем чтобы получить величину потерь в ионосфере на одном пролете, Γ_1 , по формуле (3).

Рассчитать длину наклонной трассы:

$$l_1 = 2 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h)\cos(d/(2R_0)) \right\}^{0,5} \quad (\text{км}). \quad (9)$$

Далее можно вычислить потери в свободном пространстве для наклонного расстояния:

$$L_{bfs1} = 32,4 + 20 \log(l_1 \cdot f) \quad (\text{дБ}). \quad (10)$$

Угол выхода луча над местной горизонталью на обоих терминалах для одного пролета определяется по формуле:

$$\varepsilon_{r1} = 0,5\pi - \arctan \left\{ \frac{R_0 \sin(\alpha_1)}{h + R_0[1 - \cos(\alpha_1)]} \right\} - \alpha_1 \quad (\text{радианы}), \quad (11)$$

где:

$$\alpha_1 = d/(2R_0) \quad (\text{радианы}). \quad (11a)$$

Углы дифракции, в радианах, для двух терминалов определяются по следующей формуле:

$$\delta_{1a,b} = \varepsilon_{ha,b} - \varepsilon_{r1} \quad (\text{радианы}). \quad (12)$$

Соответствующие параметры дифракции определяются по формулам:

$$v_{1a,b} = 3,651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{1a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})}, \quad \text{если } \delta_{1a,b} \geq 0 \quad (13a)$$

$$= -3,651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{1a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})} \quad \text{иначе.} \quad (13b)$$

Потери на дифракцию, в дБ, на двух терминалах определяются по формуле:

$$L_{p1a,b} = 6,9 + 20 \log \left[\sqrt{(v_{1a,b} - 0,1)^2 + 1} + v_{1a,b} - 0,1 \right], \quad \text{если } v_{1a,b} > -0,78 \quad (14a)$$

$$= 0,0 \quad \text{иначе.} \quad (14b)$$

Основные потери при однопролетной передаче посредством спорадического слоя E, таким образом, определяются по формуле:

$$L_{bEs1} = L_{bfs1} + \Gamma_1 + L_{p1a} + L_{p1b} \quad (\text{дБ}). \quad (15)$$

5.4 Вычисления для распространения на двух пролетах

Получить значение f_{oEs} , являющееся меньшим из двух значений, рассчитанных с помощью формулы (7) для одной четверти и трех четвертей на трассе, с тем чтобы пересчитать значение Γ_1 по формуле (3) и, таким образом, получить величину потерь в ионосфере на двух пролетах, Γ_2 , по формуле (4).

Рассчитать длину наклонной трассы:

$$l_2 = 4 \left\{ R_0^2 + (R_0 + h)^2 - 2R_0(R_0 + h) \cos(d/(4R_0)) \right\}^{0,5} \quad (\text{км}). \quad (16)$$

Далее можно вычислить потери в свободном пространстве для наклонного расстояния:

$$L_{bfs2} = 32,4 + 20 \log(l_2 \cdot f) \quad (\text{дБ}). \quad (17)$$

Угол выхода луча над местной горизонталью на обоих терминалах для двух пролетов определяется по формуле:

$$\varepsilon_{r2} = 0,5\pi - \arctan \left\{ \frac{R_0 \sin(\alpha_1)}{h + R_0 [1 - \cos(\alpha_1)]} \right\} - \alpha_2 \quad (\text{радианы}), \quad (18)$$

где:

$$\alpha_2 = d/(4R_0) \quad (\text{радианы}). \quad (18a)$$

Углы дифракции, в радианах, для двух терминалов определяются по следующей формуле:

$$\delta_{2a,b} = \varepsilon_{p2a,b} - \varepsilon_{r2} \quad (\text{радианы}). \quad (19)$$

Соответствующие параметры дифракции определяются по формулам:

$$v_{2a,b} = 3,651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{2a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})}, \quad \text{если } \delta_{2a,b} \geq 0 \quad (20a)$$

$$= -3,651 \sqrt{f d_{ha,b} [1 - \cos(\delta_{2a,b})] / \cos(\varepsilon_{ha,b})} \quad \text{иначе.} \quad (20b)$$

Потери на дифракцию, в дБ, на двух терминалах определяются по формуле:

$$L_{p2a,b} = 6,9 + 20 \log \left[\sqrt{(v_{2a,b} - 0,1)^2 + 1} + v_{2a,b} - 0,1 \right], \quad \text{если } v_{2a,b} > -0,78 \quad (21a)$$

$$= 0,0 \quad \text{иначе.} \quad (21b)$$

Основные потери при двухпролетной передаче посредством спорадического слоя E, таким образом, определяются по формуле:

$$L_{bEs2} = L_{bfs2} + \Gamma_2 + L_{p2a} + L_{p2b} \quad (\text{дБ}). \quad (22)$$

5.5 Основные потери передачи

Основные потери при передаче посредством спорадического слоя E, L_b (дБ), определяются следующим образом:

$$L_{bEs} = L_{bEs1} \quad L_{bEs1} < L_{bEs2} - 20 \quad (23a)$$

$$= L_{bEs2} \quad L_{bEs2} < L_{bEs1} - 20 \quad (23b)$$

$$= -10 \cdot \log\left(10^{-0,1 \cdot L_{bEs1}} + 10^{-0,1 \cdot L_{bEs2}}\right) \text{ иначе.} \quad (23c)$$
