ITUПубликации
Рекомендации

Международный союз электросвязи
Сектор радиосвязи

Рекомендация МСЭ-R P.372-17

(08/2024)

Серия P: Распространение радиоволн

Радиошум

Предисловие

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

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

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: https://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 онлайновой форме по адресу: https://www.itu.int/publ/R-REC/ru.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
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, 2025 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.372-17

Радиошум*

(Вопрос МСЭ-R 214/3)

(1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-2001-2003-2007-2009-2013-2015-2016-2019-2021-2022-2024)

Сфера применения

В Рекомендации МСЭ-R P.372 приведена информация о фоновых уровнях радиошума[1] в диапазоне частот 0,1 Гц – 100 ГГц. В Рекомендации учитывается шум, порождаемый грозовыми разрядами, атмосферными газами, облаками, дождем, поверхностью Земли, галактическим шумом, и промышленными источниками. С тем чтобы обеспечить основу для оценки работы систем, приведены цифровые данные, относящиеся к шуму или температуре.

Ключевые слова: радиошум, коэффициент шума, шумовая температура, яркостная температура неба

Аббревиатуры/Глоссарий

Amsl	Above mean sea level	Над средним уровнем моря
IDWM	ITU Digitized World Map	Цифровая карта мира МСЭ
LoS	Line-of-sight	Линия прямой видимости

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что радиошум ограничивает работоспособность радиосистем;

b) что эффективный коэффициент шума антенны, или температура шума антенны, вместе с вероятностным распределением амплитуд огибающей принимаемого шума, являются параметрами (почти всегда необходимыми, но иногда недостаточными), пригодными для использования при анализе рабочих характеристик системы и планировании системы;

c) что требуется представление о радиоизлучении от естественных источников при

– оценке влияния атмосферы на распространение радиоволн;

– распределении частот для систем дистанционного зондирования окружающей среды Земли,

d) что радиошум из промышленных источников играет значимую роль при установлении предельных норм для некоторых применений радиосвязи;

e) что в Рекомендации МСЭ-R SM.1753 описаны методы измерения радиошума;

f) что в Рекомендации МСЭ-R SM.2093 представлены методы измерения шума внутри помещений,

рекомендует

при планировании и анализе радиосистем использовать, в случае необходимости, изложенную ниже информацию о фоновых уровнях внешнего радиошума.

---

* Дополнительная компьютерная программа, связанная с расчетом атмосферного шума, обусловленного грозовыми разрядами, промышленным шумом и галактическим шумом (на частотах ниже примерно 100 МГц), который описан в настоящей Рекомендации, представлена по адресу: https://github.com/ITU-R-Study-Group-3/ITU-R-HF/releases/tag/v14.3.

[1] Термины "радиошум", "радиочастотный шум" и "РЧ-шум" являются синонимами.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ЧАСТЬ 1

Общие положения

1.1 Источники радиошума

Ниже приведено определение радиошума:

радиошум

Изменяющееся во времени электромагнитное явление, имеющее составляющие в радиочастотном диапазоне и явно не передающее информации, которое может налагаться на полезный сигнал или смешиваться с ним.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В некоторых случаях радиочастотный шум может передавать информацию о некоторых характеристиках своего источника, например о его природе или месте расположения.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Совокупность мешающих сигналов, если они отдельно неразличимы, может проявляться как радиочастотный шум.

В настоящей Рекомендации приведены данные о радиошуме, излучаемом внешними по отношению к принимающей радиосистеме источниками и принимаемом эталонной антенной, который возникает в результате следующих причин:

– естественный шум:
  - эмиссия от атмосферных газов и гидрометеоров;
  - поверхность Земли, например излучательная способность суши, океана и других препятствий на пути луча антенны;
  - излучение от небесных источников радиоволн;
  - излучение от грозовых и других статических электрических разрядов (атмосферный шум);
– промышленный шум:
  - в особенности для наружных антенн – совокупное непреднамеренное излучение от электрических механизмов, электрического и электронного оборудования и сетей, линий электропередачи или систем зажигания двигателей внутреннего сгорания, связи по линиям электропередачи, беспроводной передачи энергии, промышленного, научного и медицинского (ПНМ) оборудования или от зажигания двигателя внутреннего сгорания, а также электромагнитного излучения от неполностью экранированных корпусов и кабелей;
  - в помещениях или применительно к антеннам, установленным поблизости от препятствий, – совокупное непреднамеренное излучение, как описано выше (в той степени, в которой это возможно), включая типичные уровни излучения от единичных источников или небольших групп источников в определенных типичных условиях среды.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Приводимые здесь оценки уровней радиошума не включают вклад сигналов, связанных с параллельно работающими радиослужбами. Частью накопленного принятого уровня шума могут быть побочные излучения от отдельных передающих или приемных систем.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В настоящей Рекомендации приведены сведения только о радиошуме, который поступает на вход приемника через антенну и фидерный кабель или волновод. При этом не рассматривается шум, передаваемый на приемник через другие проводящие кабели или структуры, а также шум, принимаемый из-за ненадлежащего экранирования или симметрирования фидерного кабеля, соединителей и т. д.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – В случае промышленного шума представленные данные должны быть типичными для определенной категории среды, при типичных уровнях работы электрического и электронного оборудования в обычных условиях, на типичных расстояниях для этой среды.

1.2 Показатели для определения интенсивности шума и их взаимосвязь

Шум в приемной системе складывается из отдельных составляющих, вносимых рядом источников шума на приемном терминале системы. Рассматривать следует как внешний шум, так и шум, вырабатываемый внутри приемника. Единственной правильной контрольной точкой для оценки общего рабочего шума приемной радиосистемы является вход эквивалентной свободной от потерь приемной антенны (терминалы такой свободной от потерь антенны физически не существуют).

Этот шум можно выразить через коэффициент шума f относительно уровня теплового шума, через эффективную шумовую температуру или через напряженность электрического поля.

1.2.1 Коэффициент шума

Для приемников, нечувствительных к паразитным шумам, коэффициент шума системы определяется как:

$$f = f_a + (f_c - 1) + l_c\,(f_t - 1) + l_c\,l_t\,(f_r - 1), \tag{1}$$

где:

f_a: коэффициент внешнего шума, определяемый по формуле:

$$f_a = \frac{p_n}{k\,T_0\,b}. \tag{2}$$

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – F_a – коэффициент внешнего шума, определяемый как:

$$F_a = 10 \log f_a \qquad \text{(дБ)}$$

p_n: допустимая мощность шума с выхода эквивалентной антенны без потерь;

k: постоянная Больцмана = 1,38 × 10^{-23} Дж/К;

T_0: эталонная температура (К), принятая равной 290 К;

b: ширина полосы приемной системы на уровне мощности шума (Гц);

l_c: потери в цепи антенны (входная номинальная мощность/выходная номинальная мощность;

l_t: потери в линии передачи (входная номинальная мощность/выходная номинальная мощность;

f_r: коэффициент внутреннего шума приемника.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Fr – коэффициент шума приемника, определяемый как:

$$F_r = 10 \log f_r \qquad \text{(дБ)}$$

f_c: коэффициент шума, связанный с потерями в цепи антенны,

$$f_c = 1 + (l_c - 1)\left(\frac{T_c}{T_0}\right) \tag{3}$$

f_t: коэффициент шума, связанный с потерями в линии передачи,

$$f_t = 1 + (l_t - 1)\left(\frac{T_t}{T_0}\right), \tag{4}$$

где:

T_c: реальная температура (К) антенны и около земной поверхности;

и

T_t: реальная температура (К) линии передачи.

Если $T_c = T_t = T_0$, то уравнение (1) принимает вид:

$$f = f_a - 1 + f_c\,f_t\,f_r. \tag{5}$$

Уравнение (2) можно записать как:

$$P_n = F_a + B - 204 \qquad \text{(дБВт)}, \tag{6}$$

где:

$P_n =$ 10 log p_n : номинальная мощность (Вт);

$B =$ 10 log b и –204 = 10 log $k\,T_0$.

1.2.2 Среднеквадратичное значение напряженности шумового поля

Определив F_a, можно найти соответствующие значения E_n, используя либо уравнение (7), либо уравнение (8), в зависимости от типа применяемой антенны.

Для коротких вертикальных несимметричных вибраторов ($h << \lambda$) над идеально проводящей плоской земной поверхностью вертикальная составляющая среднеквадратичного значения напряженности поля определяется как:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{МГц}} + B - 95{,}5 \qquad \text{(дБ(мкВ/м))}, \tag{7}$$

где:

E_n: напряженность поля в ширине полосы b; и

$f_{\text{МГц}}$: средняя частота (МГц).

Аналогично для эталонной изотропной антенны в свободном пространстве:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{МГц}} + B - 96{,}8 \qquad \text{(дБ(мкВ/м))}. \tag{8}$$

1.2.3 Шумовая температура

Коэффициент внешнего шума также обычно определяется как температура, T_a, где f_a по определению равно:

$$f_a = \frac{T_a}{T_0}, \tag{9}$$

T_a – эффективная температура антенны, обусловленная внешним шумом.

1.2.4 Изменчивость уровня шума

Мощность шума, хотя и необходима, например, для определения отношения сигнал/шум, редко является достаточной для определения рабочих характеристик системы (белый гауссовский базовый шум – это единственное исключение). Здесь нужны соответствующие вероятностные описания формы волны принимаемого случайного шума. Поскольку для шумов, которые рассматриваются в настоящей Рекомендации, фаза принимаемой огибающей обычно распределена равномерно, вероятностное распределение амплитуд (ВРА) (вероятность превышения) принимаемой огибающей задается.

Для импульсных шумов на более высоких частотах (т. е. > примерно 1 ГГц) значения F_a достаточно низки, и только импульсы большей величины могут превысить пороговое значение шума на входе приемника. Импульсный шум может быть описан своим пиковым значением для данного периода времени, вероятностью превышения на этих более высоких уровнях и количеством импульсов для заданного уровня.

ЧАСТЬ 2

Уровни шума как функция от частоты

Приводимые ниже три рисунка и соответствующие пояснения к ним позволяют определить ожидаемые значения F_a в частотном диапазоне 0,1 Гц – 100 ГГц, а также другие уровни шумов, представляющие интерес. На этих трех рисунках показана относительная величина шумов различного типа, описанных в пункте 1. Дополнительные сведения для различных типов шумов приведены в других разделах настоящей Рекомендации.

Рисунок 1 охватывает частоты от 0,1 Гц до 10 кГц. Сплошная кривая – это минимальные ожидаемые часовые медианные значения F_a, полученные с помощью измерений (учитывающие земную поверхность в целом, все времена года и время суток), а пунктирная линия – максимальные ожидаемые значения. Заметим, что в указанном частотном диапазоне сезонные, суточные или географические изменения очень незначительны. Более сильная изменчивость наблюдается в диапазоне 100–10 000 Гц из-за изменения частоты среза волновода Земля-ионосфера.

РИСУНОК 1

Минимальные и максимальные значения F_a в зависимости от частоты (10^{-1}–10^4 Гц)

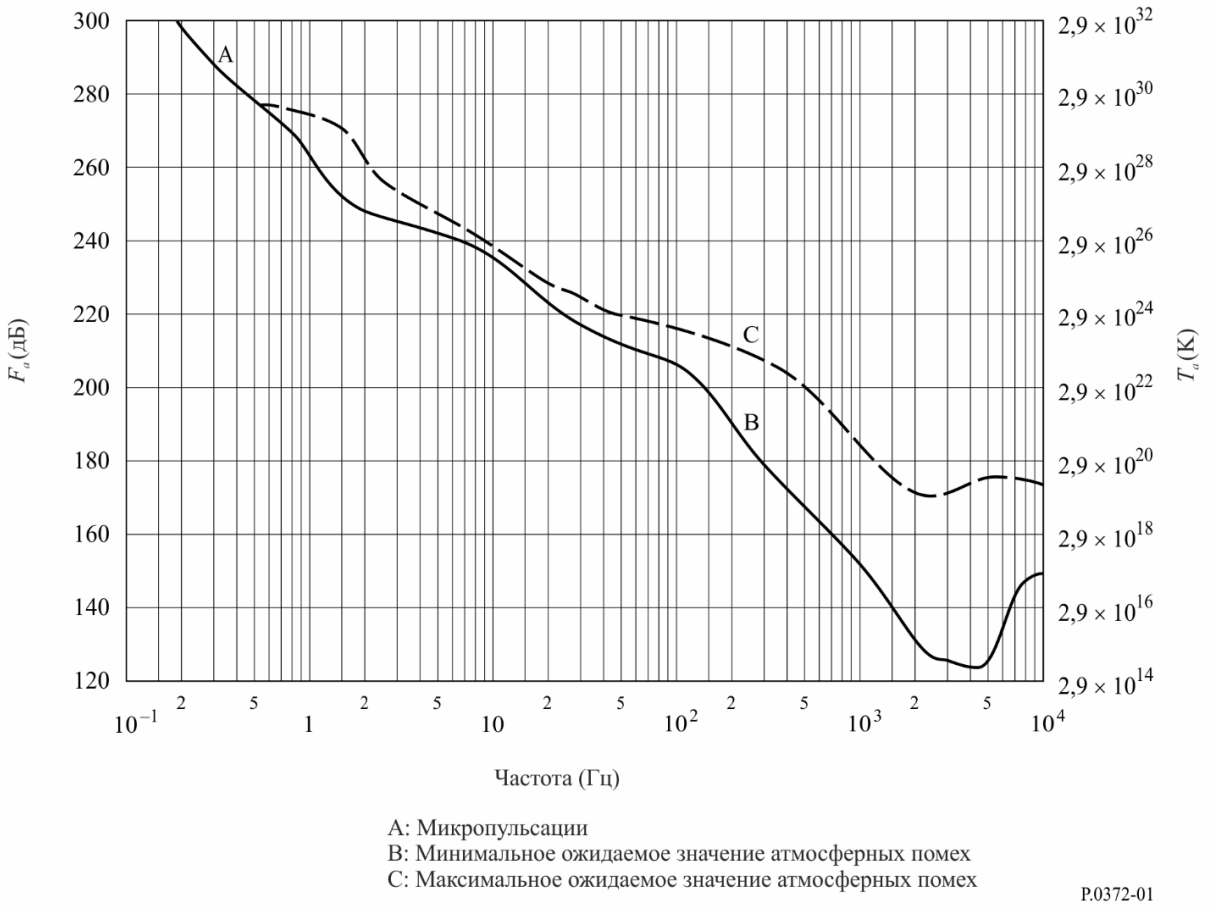


Рисунок 2 охватывает частотный диапазон 10^4–10^8 Гц, т. е. от 10 кГц до 100 МГц, для шума различных категорий. Минимальный ожидаемый шум показан сплошной линией. За минимальные ожидаемые значения атмосферных помех, обусловленных грозовыми разрядами, принимаются значения, превышаемые в течение 99,5% времени, а за максимальные – значения, превышаемые в течение 0,5% времени. Учтено влияние времени суток, времени года и земной поверхности в целом.

РИСУНОК 2

F_a в зависимости от частоты (10^4–10^8 Гц)

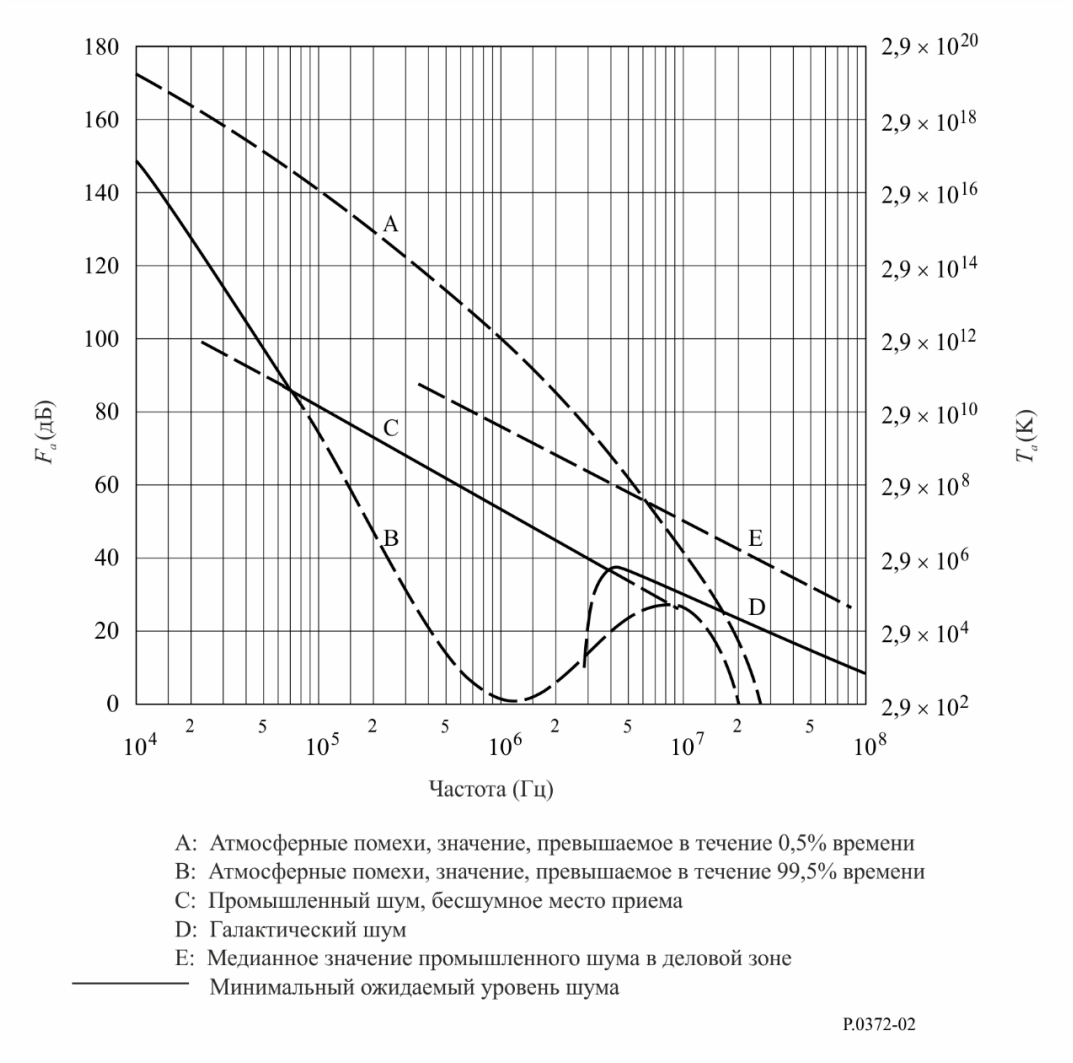


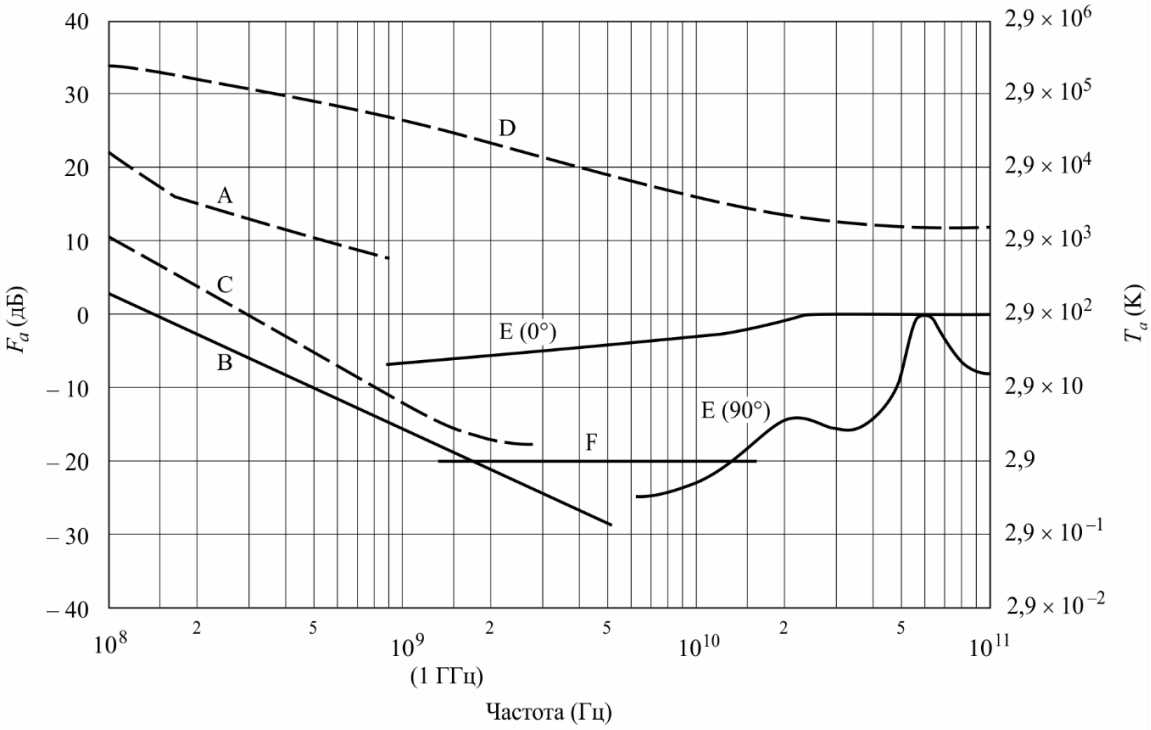
Рисунок 3 охватывает частотный диапазон от 10^8 до 10^{11} Гц, т. е. от 100 МГц до 100 ГГц. Опять-таки, минимальный уровень шума представлен сплошной кривой, а другие представляющие интерес уровни шума – пунктирной линией.

Большинство результатов, представленных на этих трех рисунках, относятся к ненаправленным антеннам (за исключением случаев, отмеченных на рисунках). Что касается направленных антенн, то исследования показали, что, например, на ВЧ в случае антенн с очень узкой диаграммой направленности уровень атмосферных помех, обусловленных грозовыми разрядами, может колебаться в пределах 10 дБ (5 дБ выше и 5 дБ ниже показанного среднего значения F_a) в зависимости от направления ориентации антенны, частоты и географического местоположения.

Среднее значение галактического шума (усредненное по всему небосводу) представлено сплошной кривой с соответствующей пометкой (рисунки 2 и 3). Измерения показывают, что колебания относительно этой кривой составляют ±2 дБ, причем ионосферное экранирование не учитывается. Минимальное значение галактического шума (узконаправленная антенна, ориентированная на галактический полюс) на 3 дБ меньше значения, представленного на рисунке 3 сплошной кривой. Максимальный галактический шум для узконаправленной антенны показан на рисунке 3 пунктирной линией.

РИСУНОК 3

F_a в зависимости от частоты (10^8–10^{11} Гц)



A: Оценка медианного значения промышленного шума в деловой зоне
B: Галактический шум
C: Галактический шум (антенна, ориентированная к центру галактики, с бесконечно узким лучом)
D: Спокойное Солнце (ширина луча ½° в направлении Солнца)
E: Шум неба за счет кислорода и паров воды (антенна с очень узким лучом); верхняя кривая, угол места – 0°; нижняя кривая, угол места – 90°
F: Черное тело (космический фон), 2,7 K
——— Минимальный ожидаемый уровень шума

P.0372-03

ЧАСТЬ 3

Шум от атмосферных газов и земной поверхности

Шум от отдельных источников, таких как Солнце, атмосферные газы, земная поверхность и т. д., обычно выражается через яркостную температуру, T_b. Температура антенны, T_a, является сверткой диаграммы направленности антенны и яркостной температуры неба и земной поверхности. Для антенн, диаграмма направленности которых охватывает только один источник, температура антенны и яркостная температура совпадают (например, кривые C, D и E на рисунке 3).

На рисунках 4 и 5 показана яркостная температура атмосферы для расположенного на земной поверхности приемника, без учета вклада от космического шума порядка 2,7 K или других внеземных источников, для частот от 1 до 340 ГГц в первом случае и от 1 до 60 ГГц – во втором. Кривые рассчитаны для семи различных углов места и средней атмосферы (плотность паров воды у поверхности 7,5 г, температура у поверхности – 288 K и приведенная высота для паров воды – 2 км.) с помощью программы расчета распространения излучения. Сухая атмосфера описывается Стандартной атмосферой США 1976 года. Выше тропопаузы добавляется вклад за счет паров воды в виде его типичного значения.

РИСУНОК 4

Яркостная температура (ясное небо) при концентрации паров воды 7,5 г/м^3 (температура и давление у поверхности равны 15°C и 1023 мб); θ – угол места

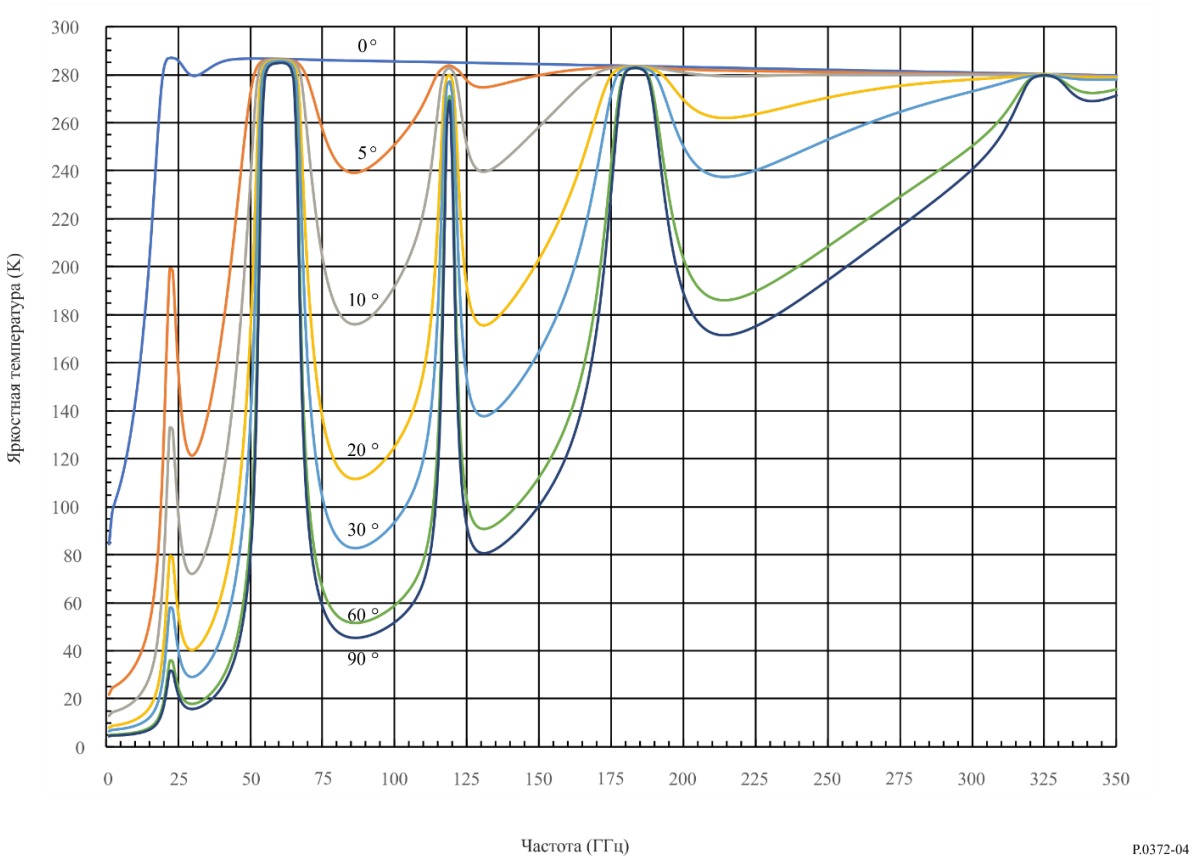
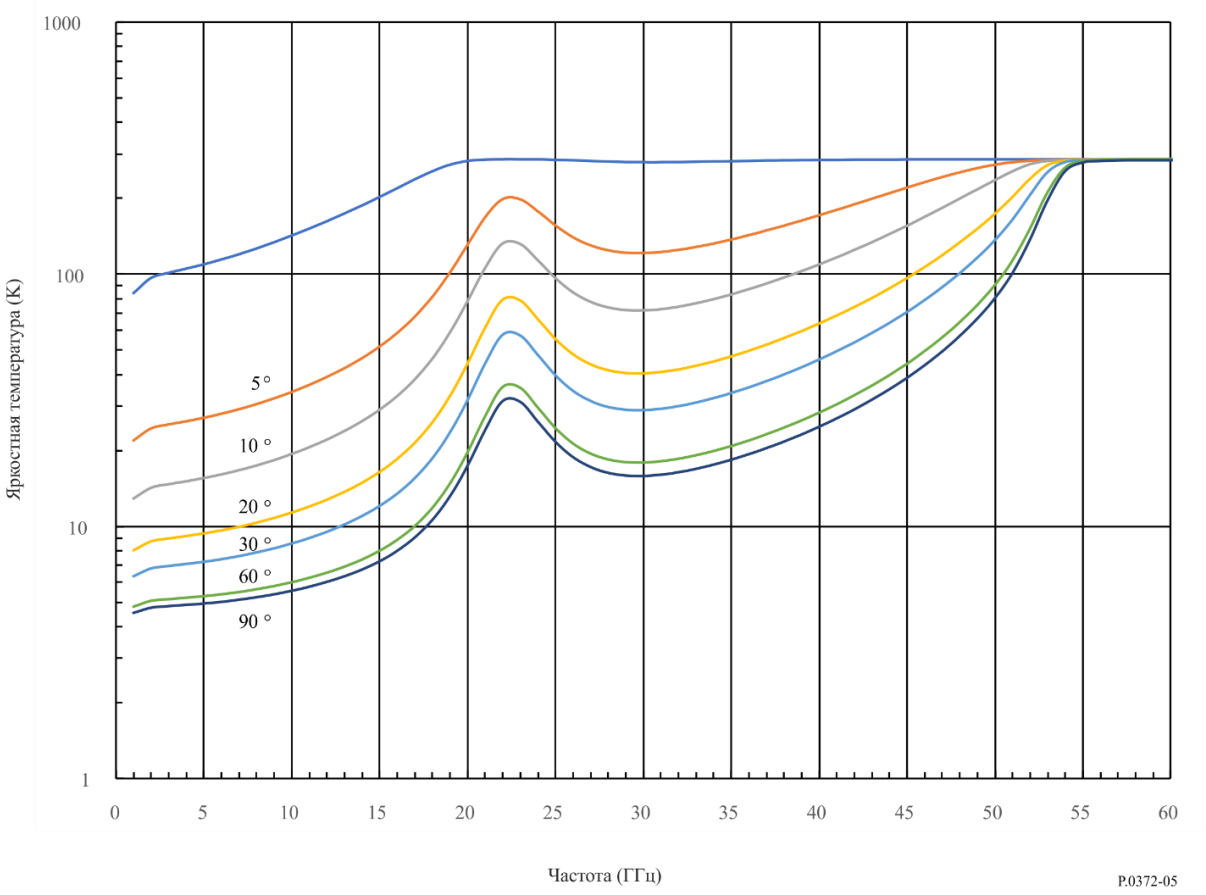


РИСУНОК 5

Яркостная температура при ясном небе при концентрации паров воды 7,5 г/м^3 (увеличенный масштаб по оси абсцисс рис. 4); θ – угол места



3.1 Радиошум, обусловливаемый атмосферой Земли, который влияет на земные станции

3.1.1 Метод прогнозирования мгновенного значения яркостной температуры

Мгновенное значение яркостной температуры неба, $T_B(f)$, K, на любой заданной частоте, при любом угле места и в любом местоположении на поверхности Земли возможно прогнозировать на основе одновременного мгновенного значения общего ослабления (исключая замирание, вызванное мерцанием), а также приземных значений полного (барометрического) давления, температуры и плотности водяного пара в рассматриваемом местоположении следующим образом:

$$T_B(f) = 2{,}73 \cdot 10^{-\frac{A_T(f,\theta)}{10}} + T_{mr}\left(f, T_s, P_s, \rho_{w_s}\right) \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_T(f,\theta)}{10}}\right) \quad \text{(K)}, \qquad (10)$$

где:

$$T_{mr}\left(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}\right) = \begin{cases} a_t(f) + b_t(f) \cdot T_s + c_t(f) \cdot P_s + d_t(f) \cdot \rho_{w_s}, & \text{при отсутствии дождя} \\ 275, & \text{при наличии дождя} \end{cases} \quad \text{(K)} \qquad (11)$$

и

f : частота, ГГц, при отсутствии дождя: $1 \le f \le 200$ ГГц;
при наличии дождя: $1 \le f \le 55$ ГГц;

P_s : мгновенное полное (барометрическое) приземное давление в заданном местоположении, гПа;

T_s : мгновенная приземная температура в заданном местоположении, K;

ρ_{w_s} : мгновенная приземная плотность водяного пара в заданном местоположении, г/м^3;

θ : угол места на поверхности Земли в рассматриваемом местоположении;

$A_T(f,\theta)$: мгновенное общее ослабление в атмосфере, исключая мерцание, для заданной наклонной трассы космос-Земля, дБ.

Коэффициенты a_t, b_t, c_t и d_t для рассматриваемой частоты линейно интерполируются между частотами, указанными в файле данных Tmr_approx.txt, который является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации. Этот файл данных содержит коэффициенты a_t, b_t, c_t и d_t соответственно в столбцах 2, 3, 4 и 5 для частот от 1 ГГц до 200 ГГц с шагом 0,5 ГГц, указанных в столбце 1.

Tmr_approx.txt

3.1.2 Метод прогнозирования статистического значения яркостной температуры

Статистические значения яркостной температуры неба, $T_B(f,p)$, K, на любой заданной частоте, при любом угле места, в любом местоположении на поверхности Земли и при любой вероятности превышения (CCDF), p, %, возможно прогнозировать на основе зависимости значения общего ослабления (исключая замирание, вызванное мерцанием) от вероятности превышения, а также средних приземных значений полного (барометрического) давления, температуры и плотности водяного пара в рассматриваемом местоположении следующим образом:

$$T_B(f,p) = 2.73 \cdot 10^{-\frac{A_T(f,p,\theta)}{10}} + T_{mr}\left(f,\overline{P_s},\overline{T_s},\overline{\rho_{w_s}}\right) \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_T(f,p,\theta)}{10}}\right) \quad \text{(K)}, \tag{12}$$

где:

$$T_{mr}\left(f,\overline{P_s},\overline{T_s},\overline{\rho_{w_s}}\right) = \begin{cases} a_t(f) + b_t(f) \cdot \overline{T_s} + c_t(f) \cdot \overline{P_s} + d_t(f) \cdot \overline{\rho_{w_s}}, & \text{при отсутствии дождя} \\ 275, & \text{при наличии дождя} \end{cases} \quad \text{(K)} \tag{13}$$

и

f : частота, ГГц, при отсутствии дождя: $1 \le f \le 200$ ГГц;
при наличии дождя: $1 \le f \le 55$ ГГц;

$\overline{P_s}$: среднее полное (барометрическое) приземное давление в заданном местоположении, гПа;

$\overline{T_s}$: средняя приземная температура в заданном местоположении, K;

$\overline{\rho_{w_s}}$: средняя приземная плотность водяного пара в заданном местоположении, г/м^3;

θ : угол места на поверхности Земли в рассматриваемом местоположении;

$A_T(f,p,\theta)$: общее ослабление в атмосфере, исключая мерцание, при вероятности превышения, p, для заданной наклонной трассы космос-Земля, дБ.

Коэффициенты a_t, b_t, c_t и d_t для рассматриваемой частоты линейно интерполируются между частотами, указанными в файле данных Tmr_approx.txt, который является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации. Этот файл данных содержит коэффициенты a_t, b_t, c_t и d_t соответственно в столбцах 2, 3, 4 и 5 для частот от 1 ГГц до 200 ГГц с шагом 0,5 ГГц, указанных в столбце 1.

Tmr_approx.txt

3.2 Радиошум, обусловливаемый атмосферой Земли и поверхностью Земли, который влияет на космические станции

Яркостную температуру земной поверхности под определенным углом со стороны надира можно рассчитать с помощью уравнения распространения излучения, описывающего процесс отражения падающего атмосферного излучения и эмиссию излучения от земной поверхности.

Этот расчет заключается в интегрировании падающего излучения по всем углам и учитывает ослабление в атмосфере.

Уравнение можно упростить до следующего выражения:

$$T = \varepsilon \cdot T_{surf} + \rho\, T_{atm}, \tag{14}$$

где:

ε : эффективная эмиссионная способность земной поверхности;

ρ : эффективный коэффициент отражения;

T_{surf}: физическая температура земной поверхности (K);

T_{atm}: взвешенное среднее значение яркостной температуры неба.

Вплоть до частоты 100 ГГц, но особенно на частотах ниже 10 ГГц, коэффициент отражения ρ обычно высок, а эмиссионная способность ε мала.

На рисунке 7a) показана эмиссионная способность и яркостная температура гладкой поверхности водоема для вертикальной и горизонтальной поляризации для двух углов падения излучения. Следует отметить, что на частотах более 5 ГГц пресная и соленая вода имеют одинаковые характеристики.

На рисунке 7b) показана яркостная температура морской поверхности в надире для трех частот в виде функции от физической температуры морской поверхности при солености, равной 36 частям на тысячу.

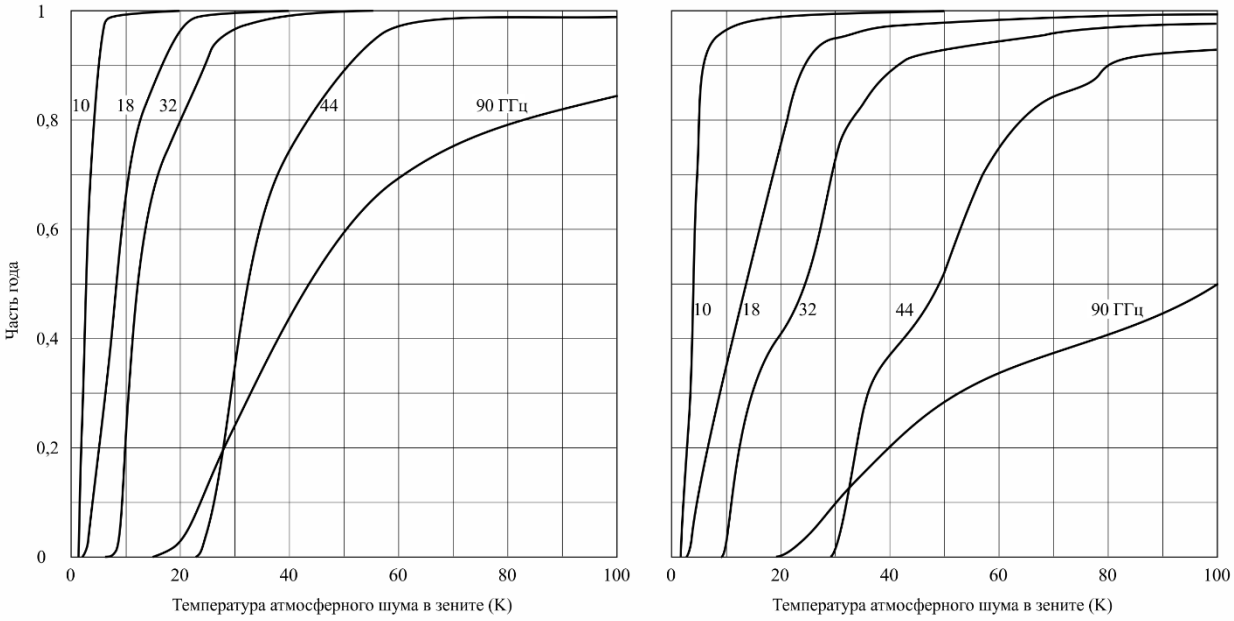
На рисунке 7c) и 7d) показано, как увеличивается яркостная температура морской поверхности при увеличении скорости ветра. Эти рисунки могут быть полезным инструментом при прогнозировании штормов.

Эмиссионная способность (и, следовательно, яркостная температура) поверхности суши выше, чем у водоемов, так как диэлектрические константы суши меньше по величине. На рисунке 8a) показана яркостная температура ровной земной поверхности с различным содержанием влаги; на рисунке 8b) представлена яркостная температура для земной поверхности с различной степенью неровности. Эти кривые получены для вертикальной горизонтальной и круговой поляризации. При увеличении содержания влаги яркостная температура уменьшается; при увеличении неровности яркостная температура увеличивается.

На рисунке 9 приведены расчеты яркостной температуры, наблюдаемой с геостационарной орбиты спутником, использующим луч, покрывающий Землю (Земля заполняет основной луч между точками на уровне 3 дБ). По мере движения спутника по орбите можно наблюдать влияние большого участка суши (горячего) на 30° восточной долготы, коим является Африка, коим является Африка, и Тихого океана (холодного) между 180° и 150° западной долготы. Яркостная температура увеличивается при увеличении частоты в основном за счет поглощения газами. Кривые получены для стандартной атмосферы США при плотности водяных паров 2,5 г/м^3 50-процентной облачности. Диаграмма направленности антенны с зоной покрытия, в которую попадет Земля, определяется как $G(\varphi) = -3 \times (\varphi/8{,}715)^2$ дБ при $0 \le \varphi \le 8{,}715$, где φ – угол отклонения от точки прицеливания.

РИСУНОК 6

Период времени, в течение которого температура шума неба в зените (яркостная) равна или меньше значения абсциссы для типичного года

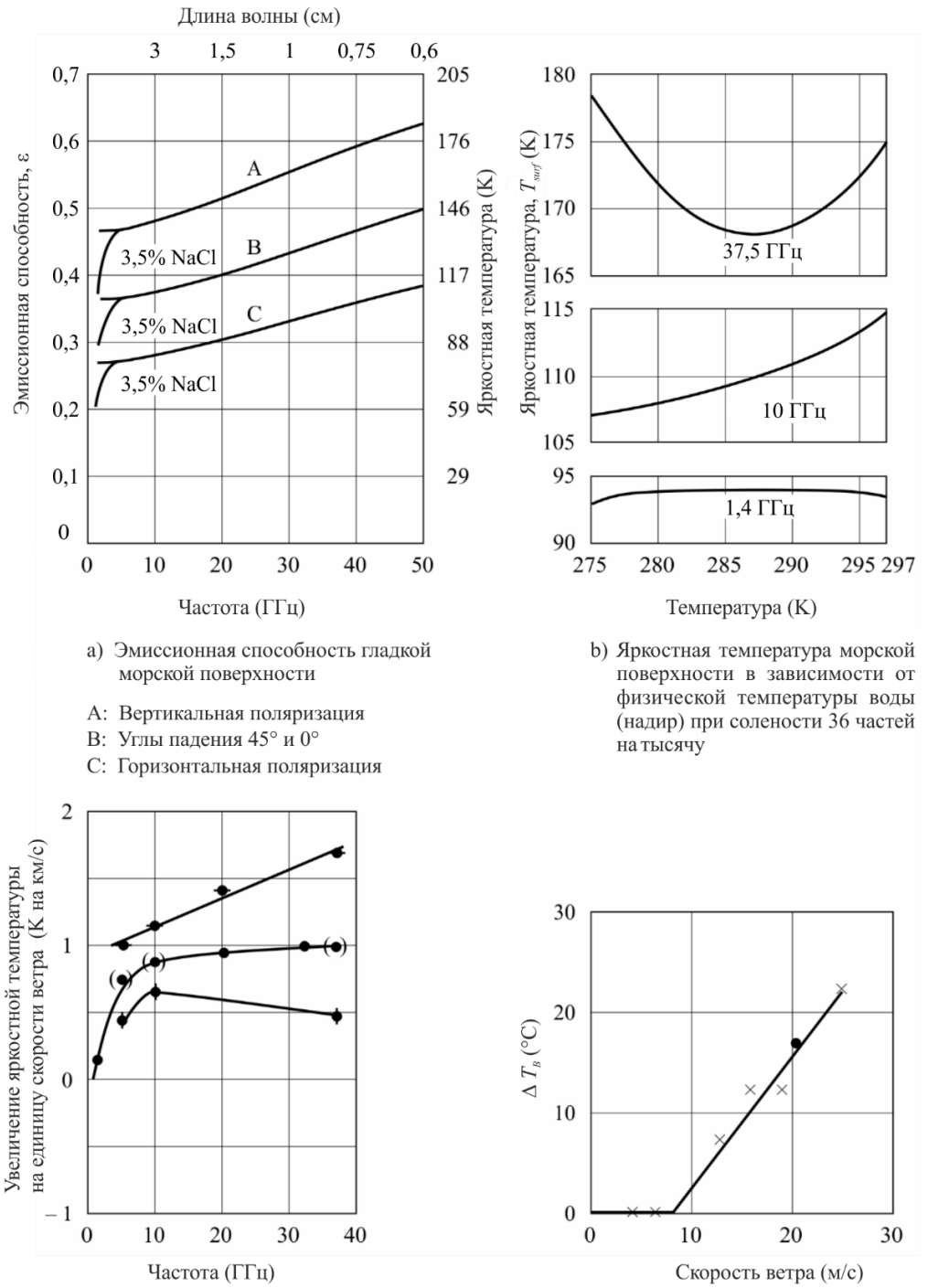


a) Юма, штат Аризона, США (1961 г.; общий уровень дождевых осадков: 55 мм)

b) Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, США (1959 г.; общий уровень дождевых осадков: 985 мм)

РИСУНОК 7

Изменения эмиссионной способности и яркостной температуры морской поверхности



a) Эмиссионная способность гладкой морской поверхности

A: Вертикальная поляризация
B: Углы падения 45° и 0°
C: Горизонтальная поляризация

b) Яркостная температура морской поверхности в зависимости от физической температуры воды (надир) при солености 36 частей на тысячу

c) Спектр увеличения яркостной температуры морской поверхности за счет ветра

● Надир
Вертикальная поляризация (38°)
Горизонтальная поляризация (38°)
(●) Результат

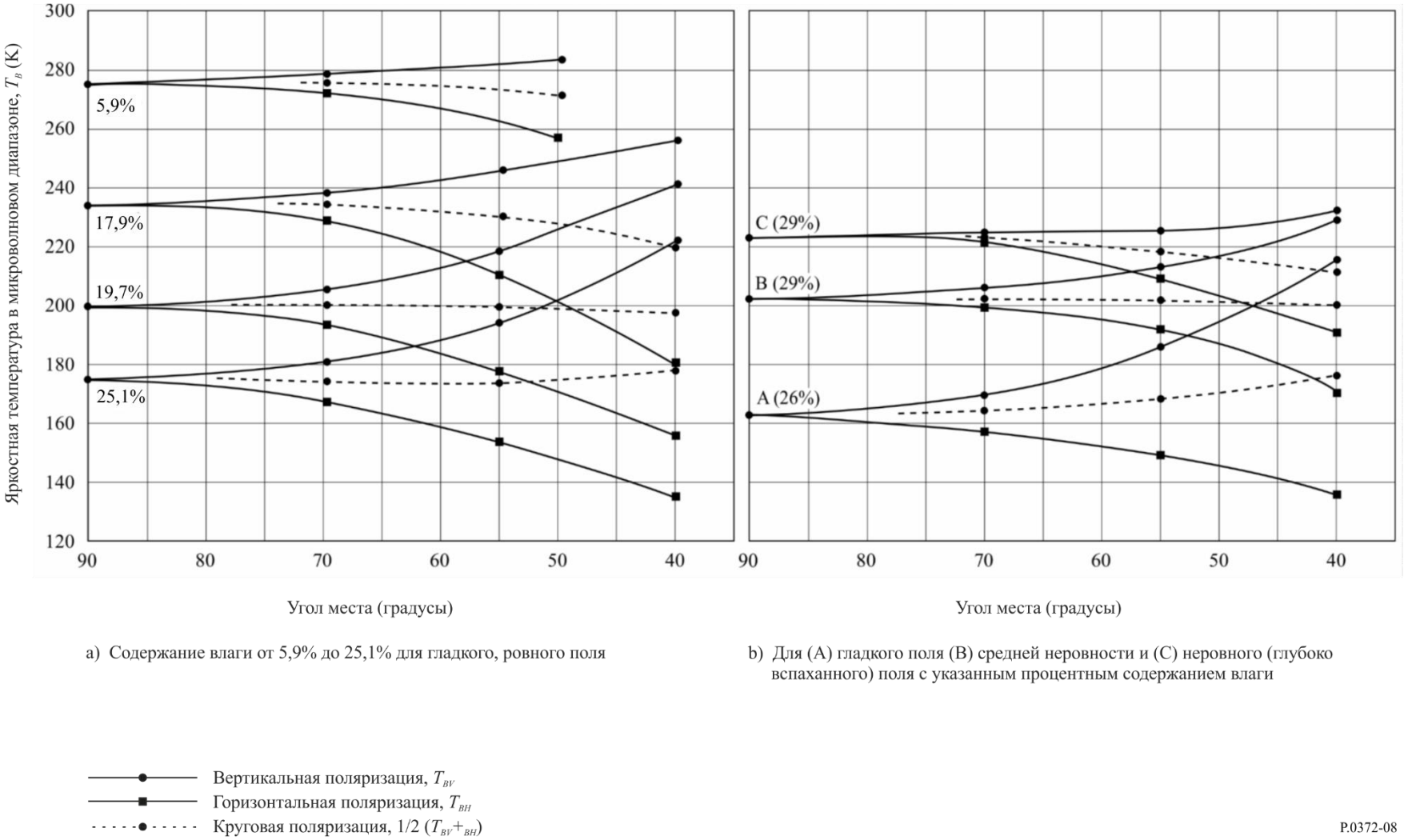
d) Увеличение яркостной температуры поверхности океана за счет ветра на частоте 19,35 ГГц

× Атлантика, Северное море
● Солтон-Си

P.0372-07

РИСУНОК 8

Яркостная температура земной поверхности на частоте 1430 МГц в зависимости от угла места

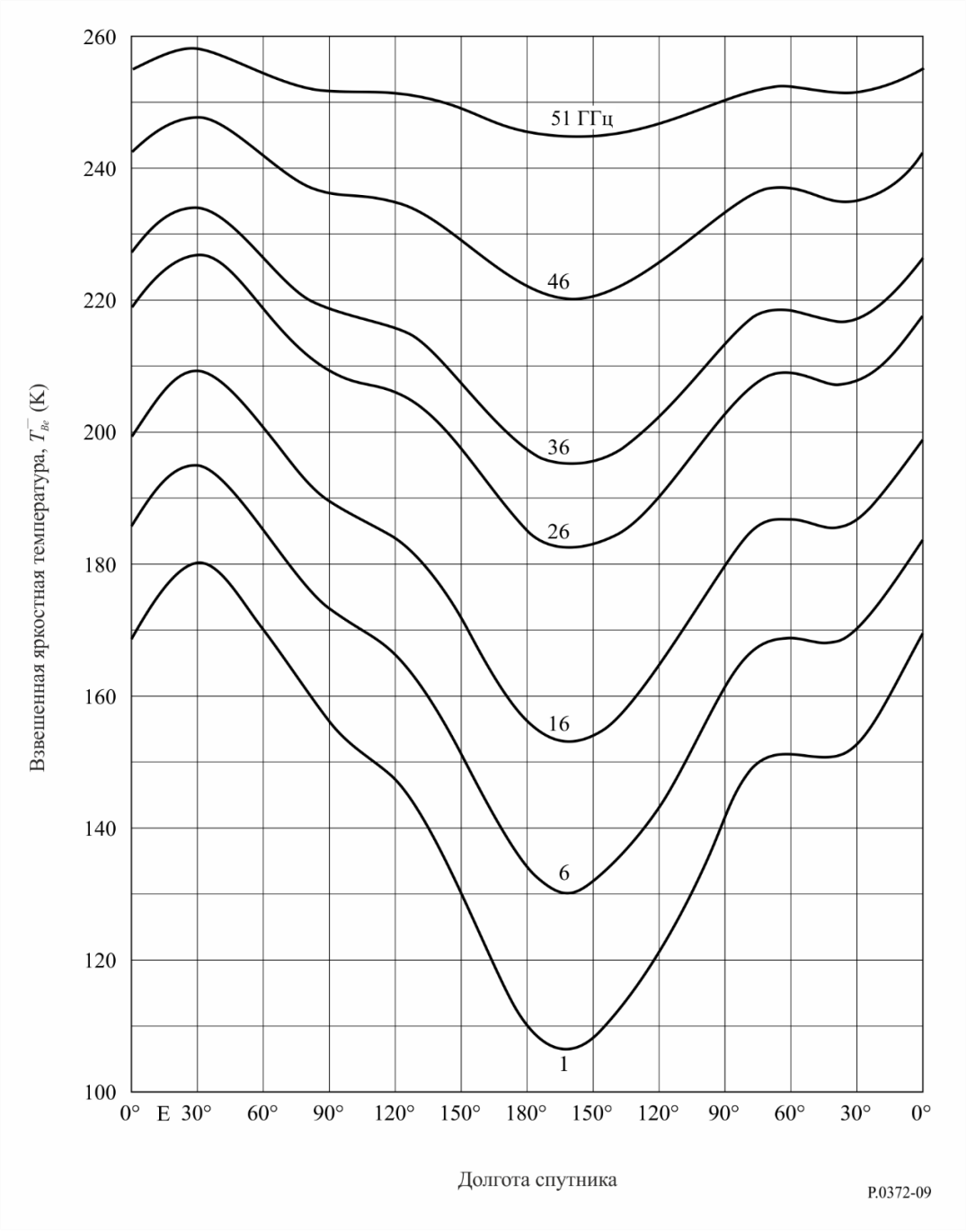


a) Содержание влаги от 5,9% до 25,1% для гладкого, ровного поля

b) Для (A) гладкого поля (B) средней неровности и (C) неровного (глубоко вспаханного) поля с указанным процентным содержанием влаги

РИСУНОК 9

Взвешенные значения яркостной температуры Земли в зависимости от долготы, наблюдаемой с геостационарной орбиты, на частотах от 1 до 51 ГГц



ЧАСТЬ 4

Яркостная температура, обусловливаемая внеземными источниками

4.1 Яркостная температура, обусловливаемая внеземными источниками

Как правило, для связи на частотах ниже 2 ГГц необходимо учитывать влияние Солнца и галактики (Млечный путь), которое проявляется в виде широкого пояса с сильным излучением. На частотах приблизительно до 100 МГц медианное значение коэффициента галактического шума для вертикальной антенны, без учета ионосферного экранирования, определяется по формуле:

$$F_{am} = 52 - 23 \log f \qquad \text{(дБ)}, \tag{15}$$

где:

f: частота (МГц).

Отклонение децилей средней мощности галактического шума составляет ±2 дБ.

В этих условиях варьирование как верхних, так и для нижних децилей для галактического шума составляет 2 дБ.

Галактический шум не будет наблюдаться на частотах ниже foF2 и будет меньше, чем определяется уравнением (16), для частот, приблизительно в три раза превышающих foF2.

Выше 2 ГГц следует рассматривать только Солнце и несколько очень сильных нетепловых источников, таких как Кассиопея A, Лебедь A и X и туманность Рака, поскольку вклад от космического фона составляет только 2,7 K, а Млечный путь проявляет себя как узкая зона несколько большей интенсивности. На рисунке 10 показан диапазон изменения яркостной температуры известных внеземных источников шума на частотах 0,1–100 ГГц.

На рисунках 11a, 11b, 11c и 11d представлены сглаженные кривые общей радиотемпературы неба на частоте 408 МГц с угловым разрешением 5°. Рисунок 11 даны в экваториальных координатах – склонение, δ (широта) и прямое восхождение, α (в часах, начиная от весеннего равноденствия, по направлению на восток вокруг экватора). Контуры дают температуру в K выше 2,7 K. Точность составляет 1 K. Интервалы между контурами следующие:

– 2 K ниже 60 K;

– 4 K от 60 K до 100 K;

– 10 K от 100 K до 200 K;

– 20 K выше 200 K.

Стрелки на непомеченных контурах показывают направление движения по часовой стрелке вокруг минимального значения в распределении яркостной температуры.

Пунктирная синусоидальная кривая между ±23,5° на рисунках 11a и 11d определяет эклиптику, которая пересекает Млечный путь вблизи центра галактики. Это означает, что если в межпланетном пространстве находится космический корабль, то возможно этот факт необходимо учитывать. Наиболее сильные точечные источники дают острые пики в распределении температуры, тогда как влияние более слабых отражено не так явно из-за недостаточного углового разрешения.

Интенсивность фонового галактического излучения зависит от частоты. Для того чтобы получить яркостную температуру фонового излучения на других частотах, f_i, используется формула:

$$T_b(f_i) = T_b(f_0)\,(f_i/f_0)^{-2,75} + 2,7 \qquad \text{(K)}. \tag{16}$$

Таким образом, для T_b = 200 K, f_0 = 408 МГц и f_i = 1 ГГц такая экстраполяция даст значение:

$$T_b = 19,7 \qquad \text{K}.$$

Более точная экстраполяция с использованием этой формулы требует учета изменений экспоненты в зависимости от частоты и местоположения на небосводе. Для точечных источников изменение интенсивности излучения с частотой зависит от их физических условий.

Для электросвязи с использованием спутников на геостационарной орбите особый интерес представляет ограниченный участок небосвода, как показано на рисунке 12a. Соответствующий диапазон склонений (±8,7°) показан на рисунке 12b с указанием наиболее сильных источников излучения.

Солнце является мощным источником шума, температура которого меняется от примерно 10^6 K на частотах от 50 до 200 МГц до, по крайней мере, 10^4 K на частоте 10 ГГц при спокойном Солнце. Сильные всплески интенсивности шума возникают в периоды солнечной активности. Яркостная температура Луны почти не зависит от частоты, если она выше 1 ГГц; она колеблется от 140 K во время новолуния до 280 K при полнолунии. Траектория Солнца проходит через плоскость эклиптики (пунктирная кривая на рисунке 11). Луну можно наблюдать в пределах ±5° склонения плоскости эклиптики.

РИСУНОК 10

Внеземные источники шума

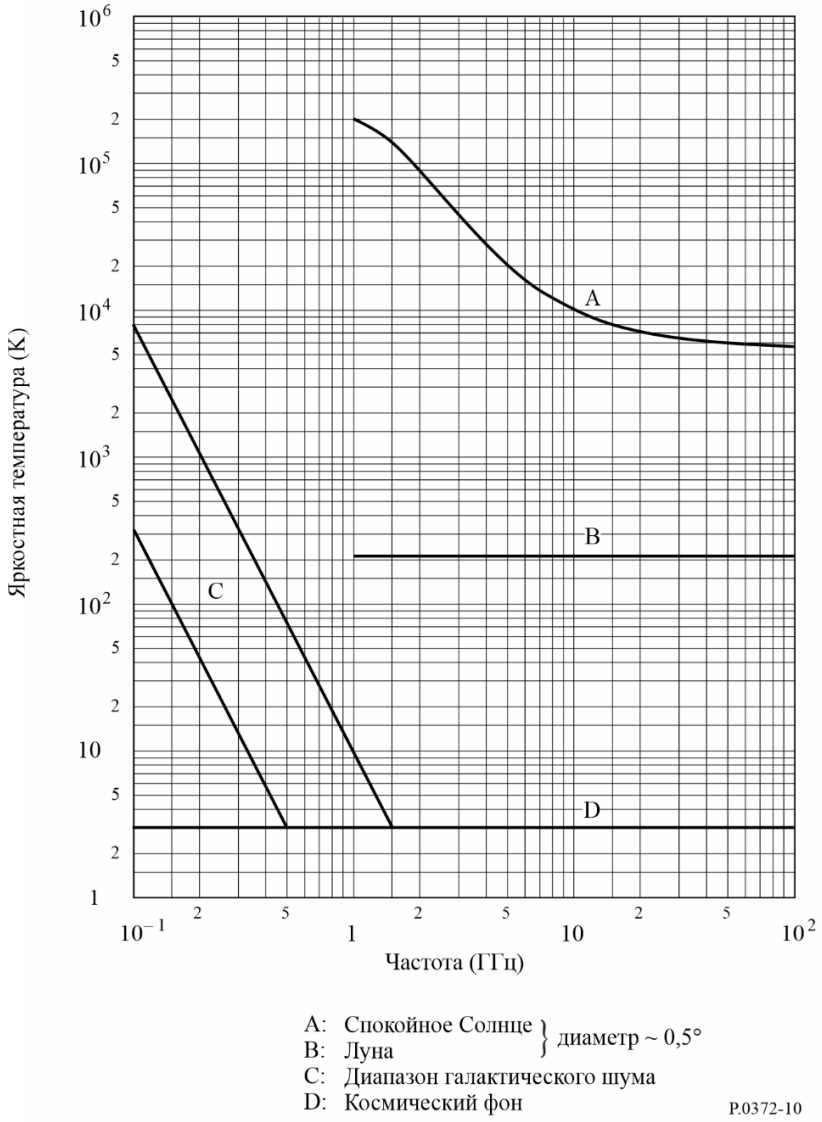
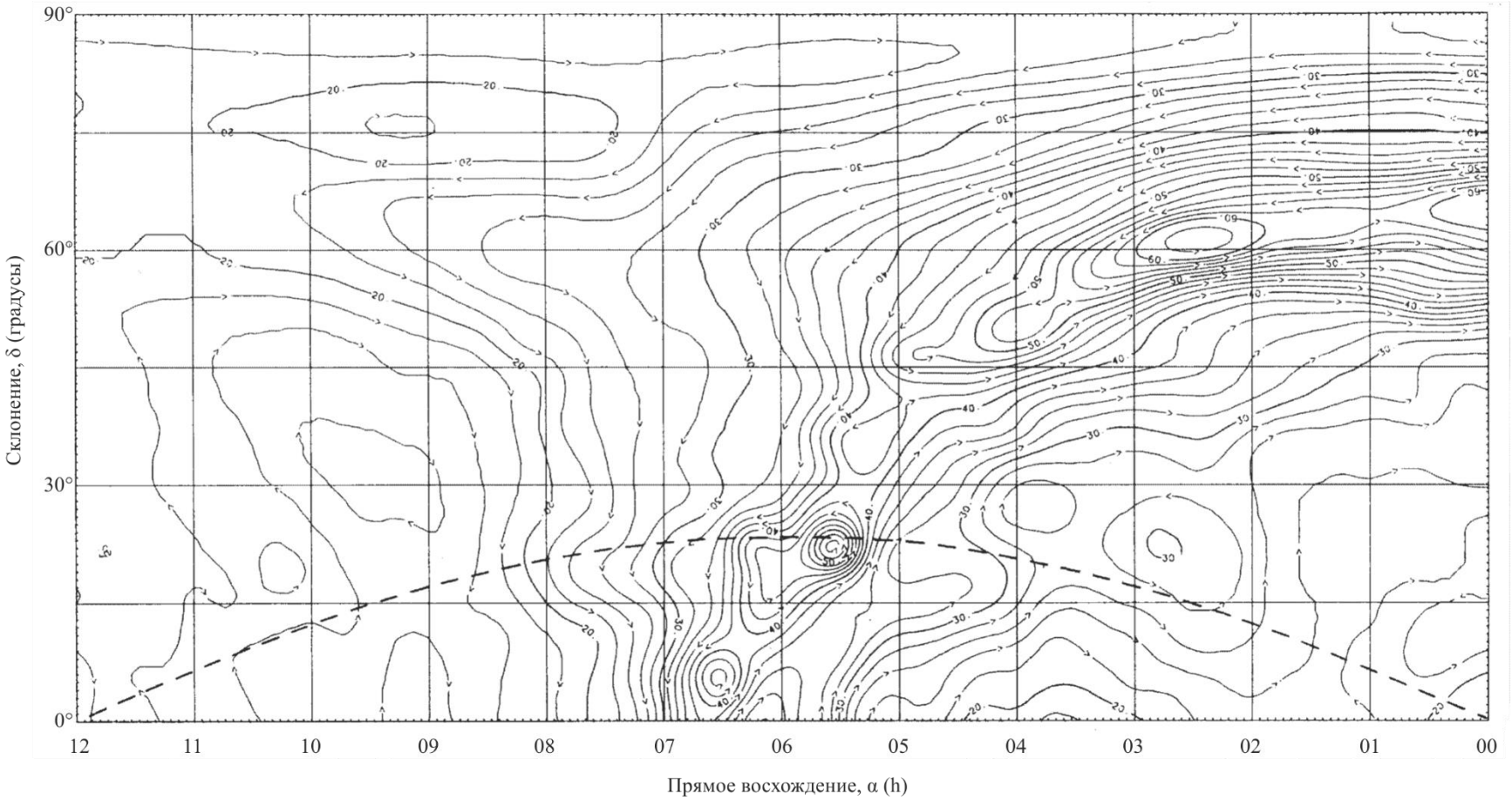


РИСУНОК 11a

Радиотемпература неба на частоте 408 МГц

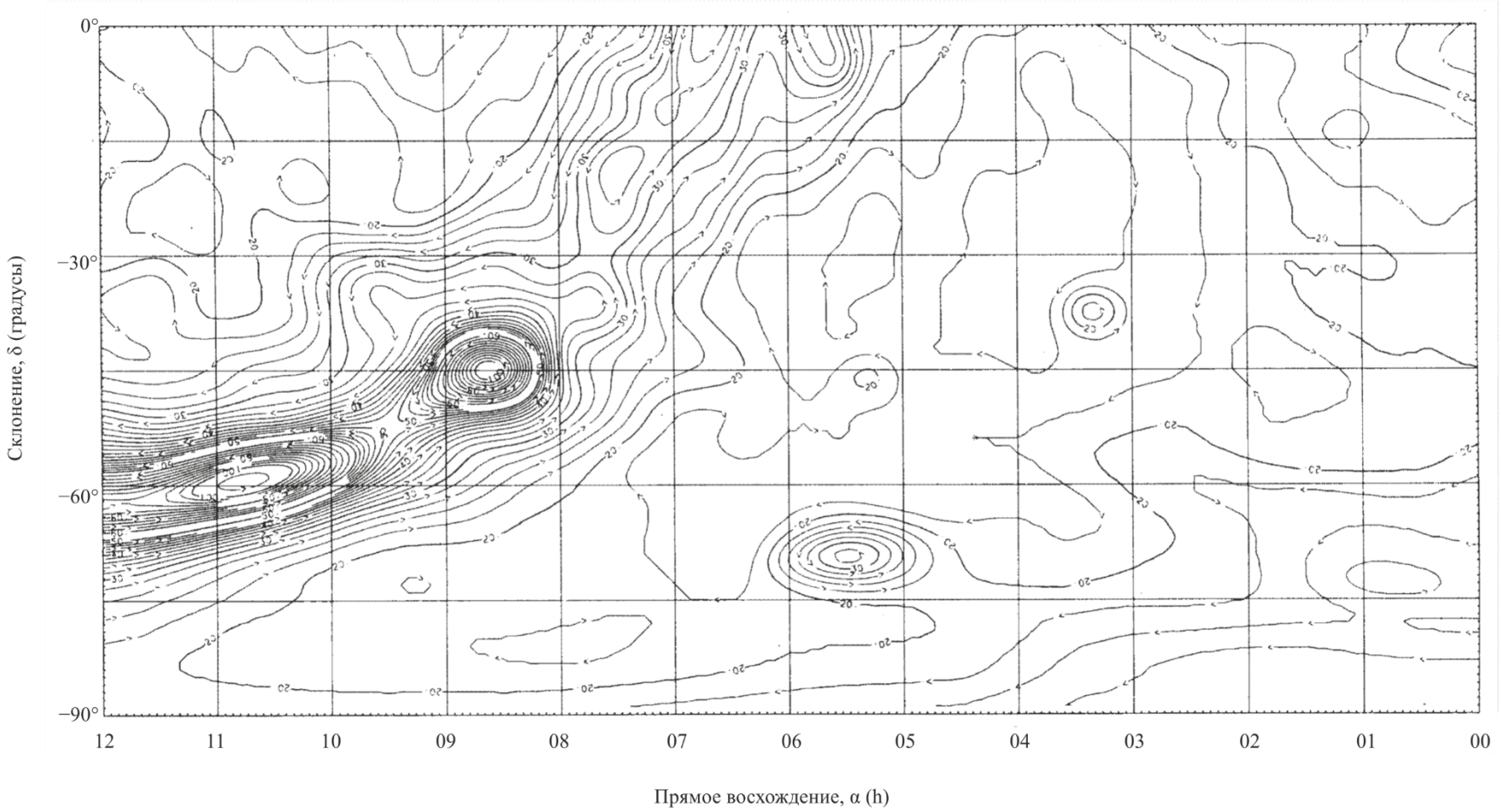


Прямое восхождение от 0000 ч до 1200 ч, склонение от 0° до +90°, пунктирная кривая; эклиптика

P.0372-11a

РИСУНОК 11b

Радиотемпература неба на частоте 408 МГц

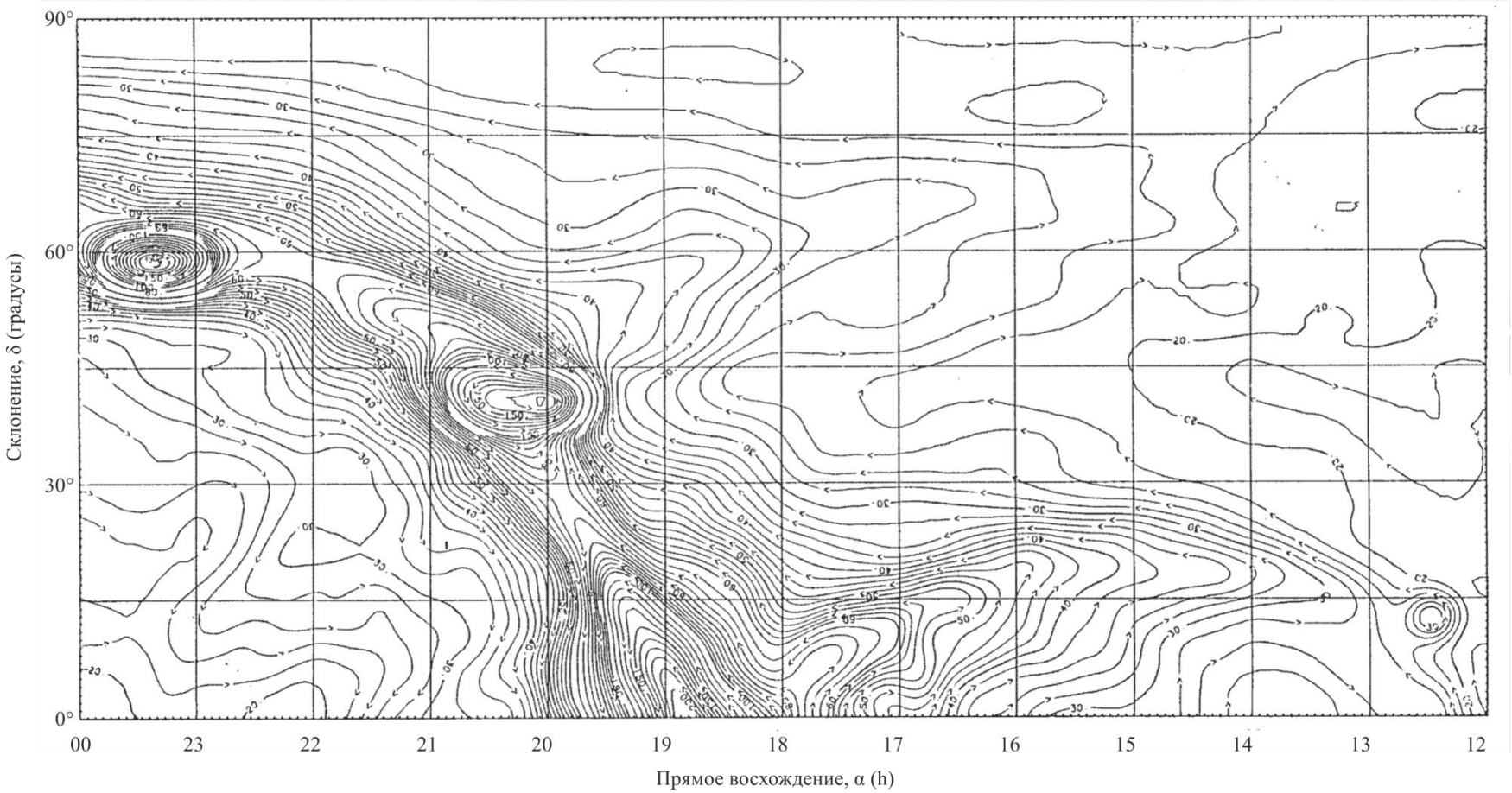


Прямое восхождение от 0000 ч до 1200 ч, склонение от 0° до −90°

P.0372-11b

РИСУНОК 11c

Радиотемпература неба на частоте 408 МГц

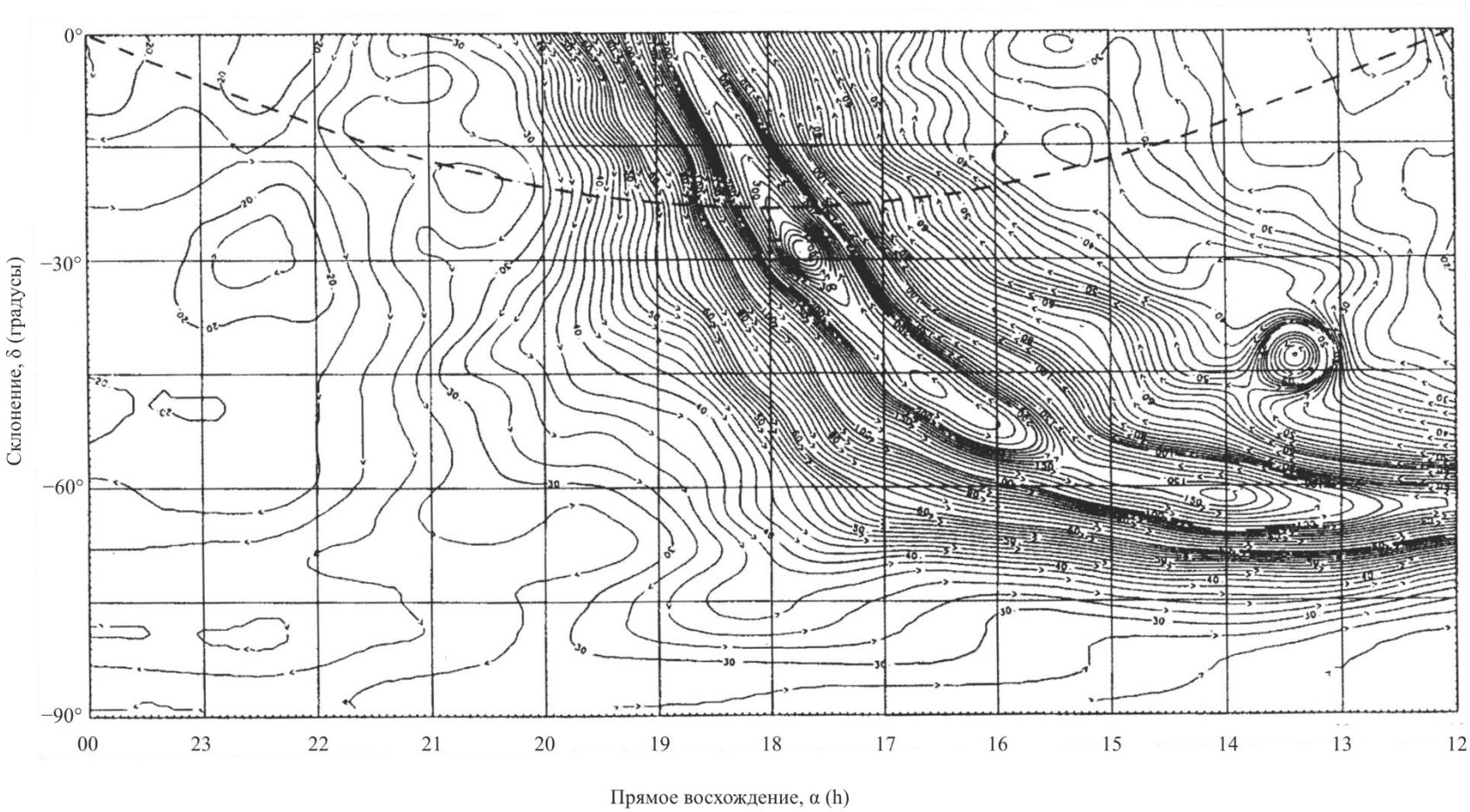


Прямое восхождение от 1200 ч до 2400 ч, склонение от 0° до +90°

P.0372-11c

РИСУНОК 11d

Радиотемпература неба на частоте 408 МГц

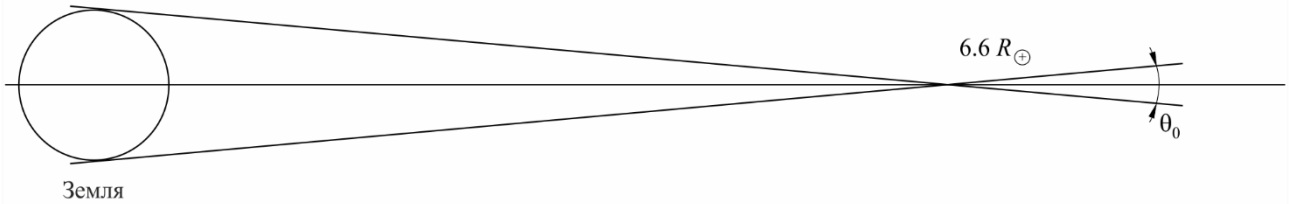


Прямое восхождение от 1200 ч до 2400 ч, склонение от 0° до −90°, пунктирная кривая, эклиптика

P.0372-11d

РИСУНОК 12

Участок небосвода, представляющий интерес для электросвязи с использованием спутников на геостационарной орбите



a) Геостационарная орбита, видимая с Земли под углом θ_0 ($R_{\oplus}$: радиус Земли)

b) Местоположения наиболее сильных (○) источников излучения для полосы ± 8,7° относительно небесного экватора.
Цифры относятся к обозначениям, используемым в каталоге, например 3C обозначает третий Кэмбридж.

P.0372-12

ЧАСТЬ 5

Атмосферные помехи, обусловливаемые грозовыми разрядами

5.1 Атмосферные помехи, обусловливаемые грозовыми разрядами

Карты мира фоновых атмосферных радиошумов, на которых приведены ожидаемые медианные значения средней мощности шума, F_{am} (дБ) выше $k\ T_0\ b$, на частоте 1 МГц для каждого времени года при 4-часовых временных блоках, время местное, показаны на рисунках 13a–36a. Трехмесячные временные блоки: 1) декабрь, январь, февраль; 2) март, апрель, май; 3) июнь, июль, август; 4) сентябрь, октябрь, ноябрь. 4-часовые временные блоки составлены применительно к местному времени, которое является одинаковым местным временем в разных регионах с долготой 15°. Изменение F_{am} с частотой для каждого блока сезон-время можно видеть на рисунках 13b−36b, а изменение других параметров шума в зависимости от частоты – на рисунках 13c–36c. В качестве эталонной антенны для этих атмосферных помех принят короткий вертикальный вибратор над идеально проводящей плоской земной поверхностью (влияние идеально проводящей плоской земной поверхности рассматривается в Рекомендации МСЭ-R P.341, Приложение 2). Оценки представляют собой оценки атмосферных помех, агрегированные по всем направлениям, и нецелесообразно принимать во внимание направленность конкретных антенн. Напряженность падающего поля можно определить с помощью формул, приводимых в пункте 2.

Можно заметить, что на рисунках указаны значения атмосферных помех ниже ожидаемых уровней промышленного шума и галактического шума. Этими значениями следует пользоваться с осторожностью, поскольку они являются всего лишь оценками возможных уровней атмосферных помех в отсутствие шума других типов. Однако анализ данных показал, что в некоторых редких случаях такие низкие уровни помех были действительно измерены.

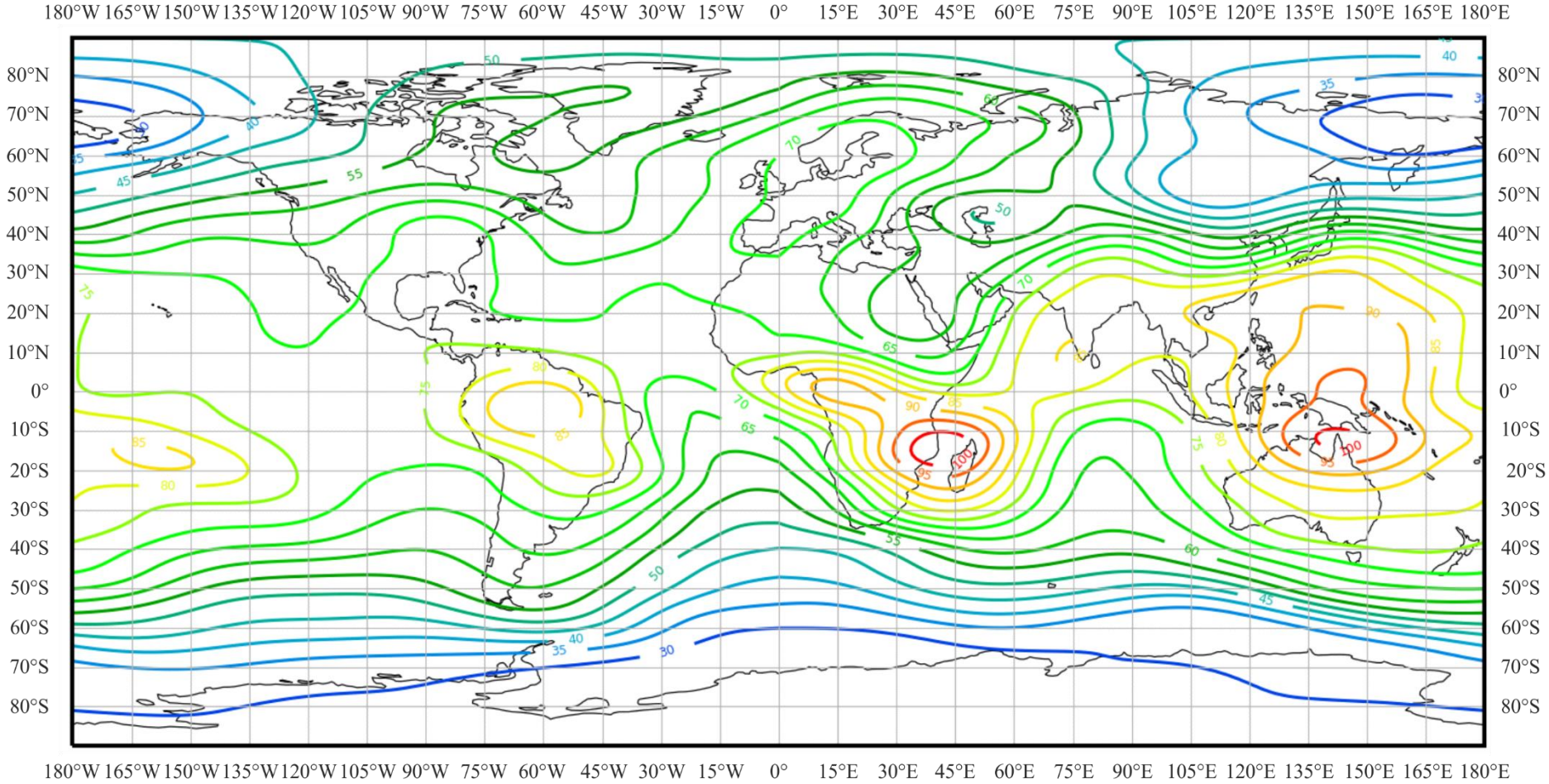
Атмосферные помехи, обусловленные грозовыми разрядами, как правило, по своему характеру не являются гауссовскими, и их функция плотности вероятности может быть важной при определении рабочих характеристик цифровых систем. Амплитуда распределения вероятности (АРВ) такого типа шума описывается в понятиях отклонения напряжения, V_d, коэффициента среднеквадратичного значения средней величины огибающей напряжения шума.

Кривые АРВ, соответствующие различным значениям V_d, приведены на рисунке 37, где за эталонное принято среднеквадратичное значение огибающей напряжения A_{rms}. Измеренные значения V_d колеблются относительно предсказанного медианного значения, V_{dm}, и размах этих вариаций определяется параметром σV_d. Кривые АРВ можно использовать в широкой полосе частот. Приведенные оценки V_d (рисунки 13c–36c) пригодны для ширины полосы 200 Гц, а с помощью рисунка 39 можно преобразовать это значение V_d в значение, соответствующее V_d в другой ширине полосы. Строго говоря, рисунок 39 справедлив лишь в диапазонах СЧ и ВЧ, поэтому использовать эти данные на более низких частотах (т. е. на НЧ, ВНЧ и КНЧ) следует с осторожностью.

Рисунки используются следующим образом. Значение F_{am} для частоты 1 МГц получено по диаграммам уровней шума (рисунки 13a–36a) для рассматриваемого времени года. Используя это значение в качестве градуировочного, можно по кривым частот на рисунках 13b–36b определить F_{am} для требуемой частоты. Параметры, характеризующие изменчивость, σ_{Fam}, D_u, σ_{Du} и др., получают для требуемой частоты с помощью рисунков 13c–36c. Значения D и σ_D для других процентов времени можно получить, сделав предположение о том, что распределение по обе стороны от медиан следует логарифмически нормальному закону.

РИСУНОК 13a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (дек.–янв.–февр.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-13a

РИСУНОК 13b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

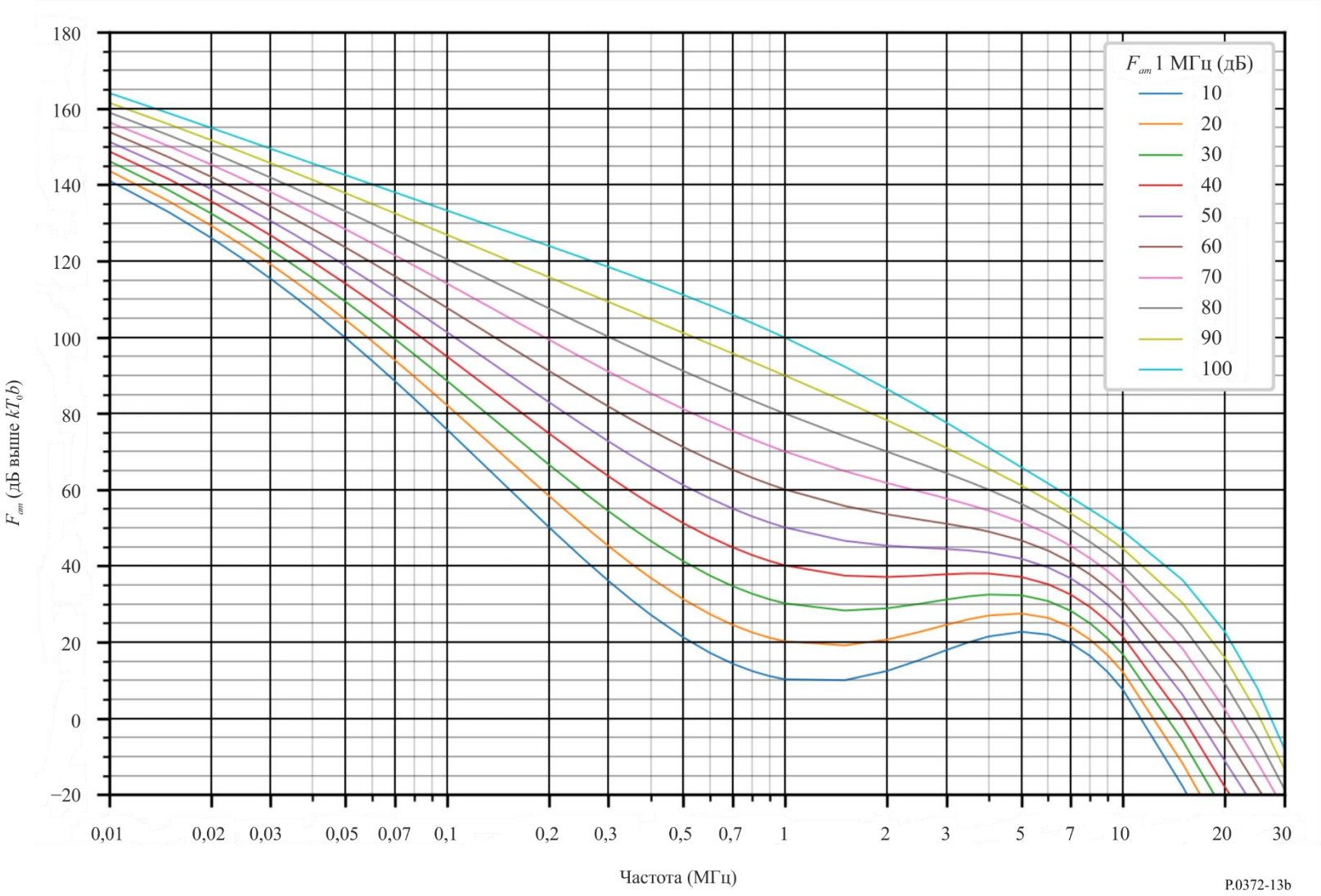


РИСУНОК 13c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

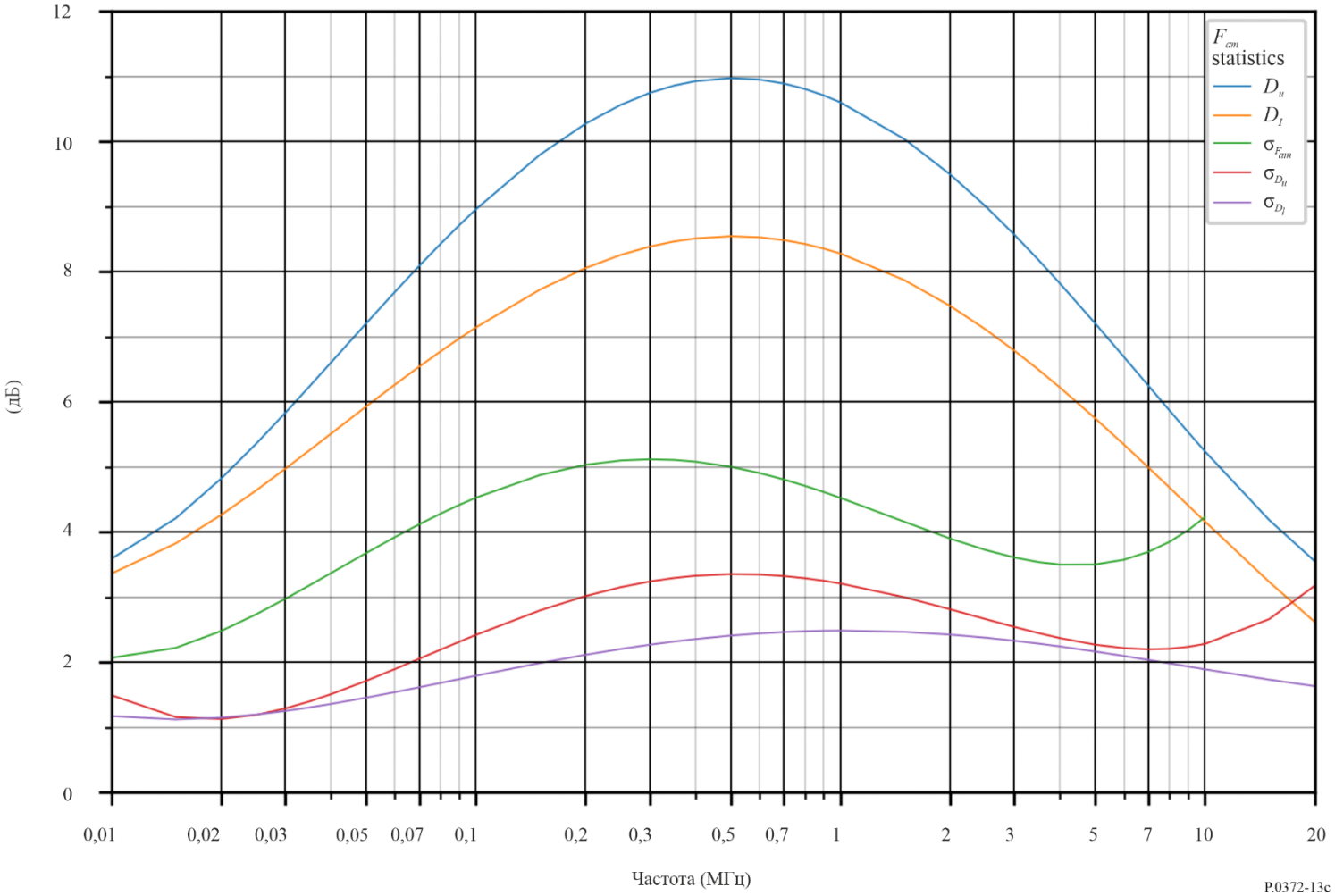
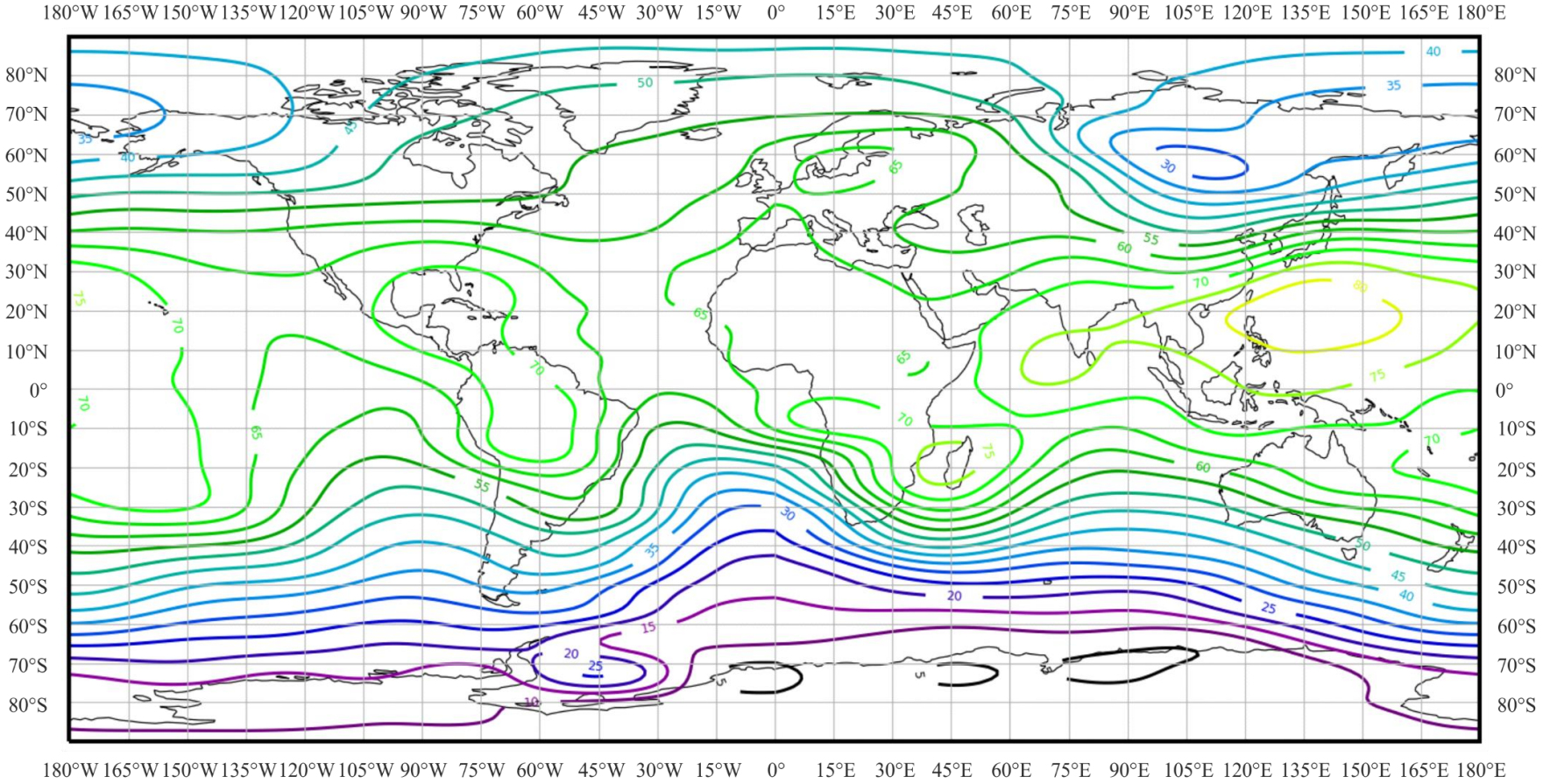


РИСУНОК 14a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (дек.–янв.–февр.; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-14a

РИСУНОК 14b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)

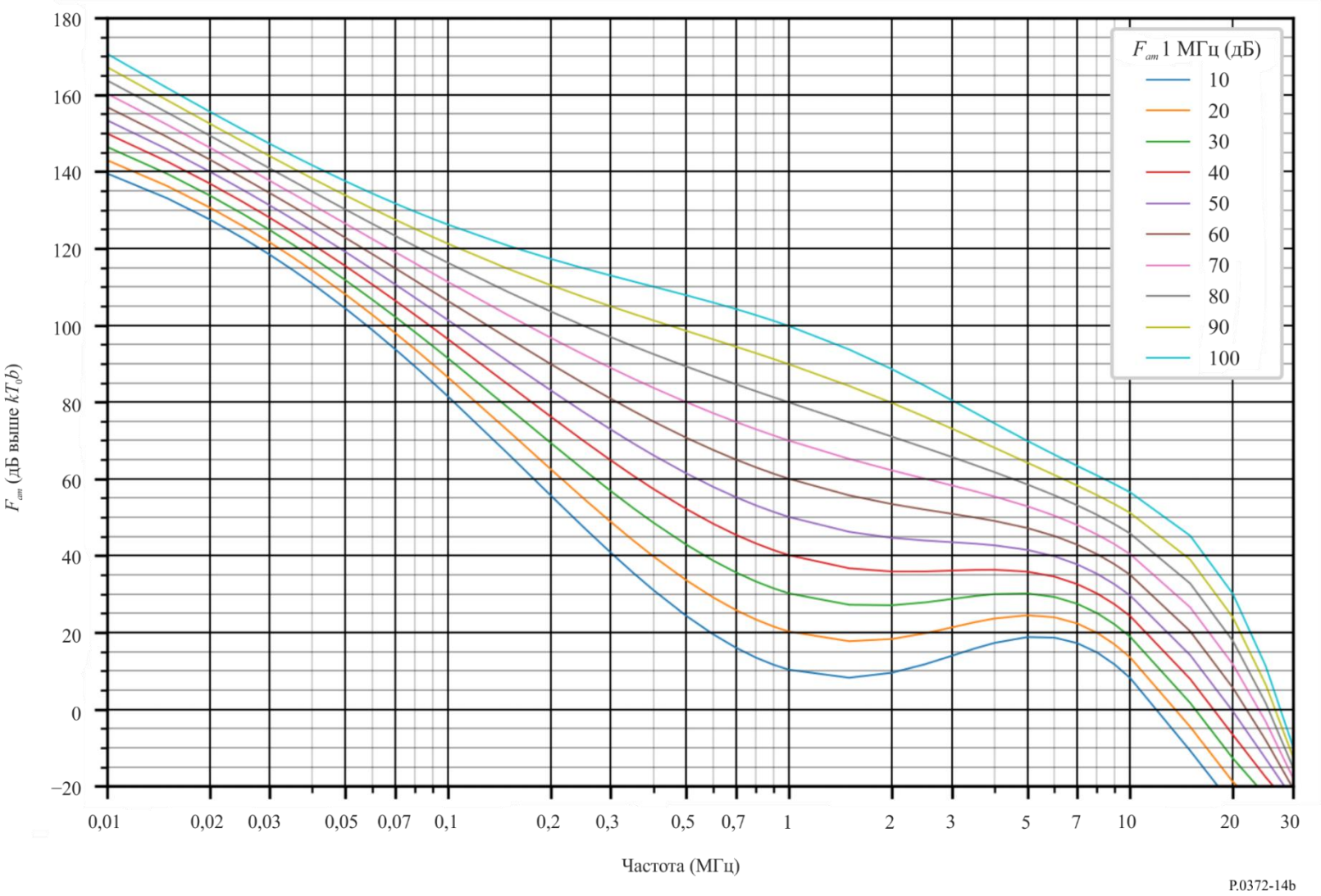


РИСУНОК 14c

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

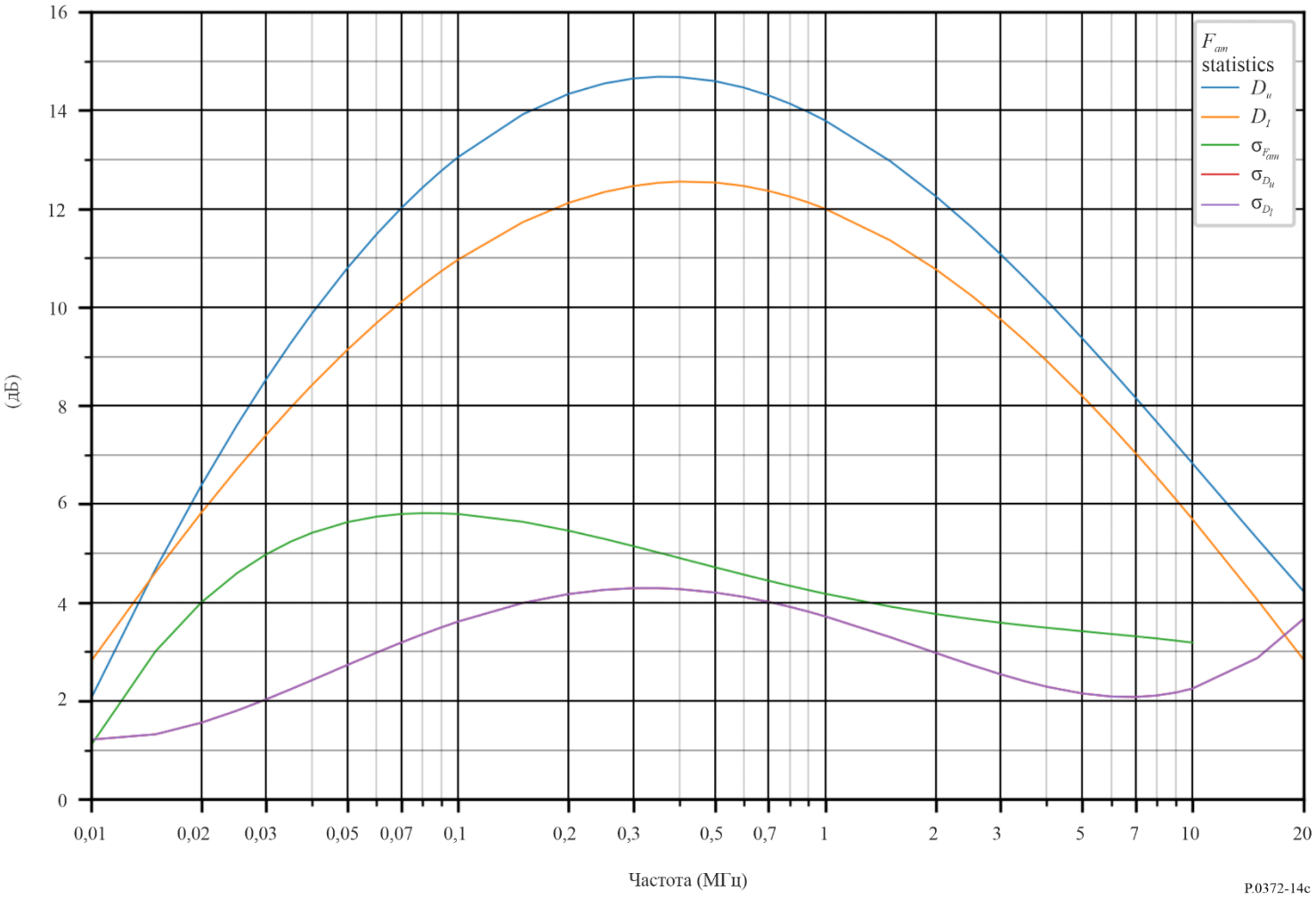
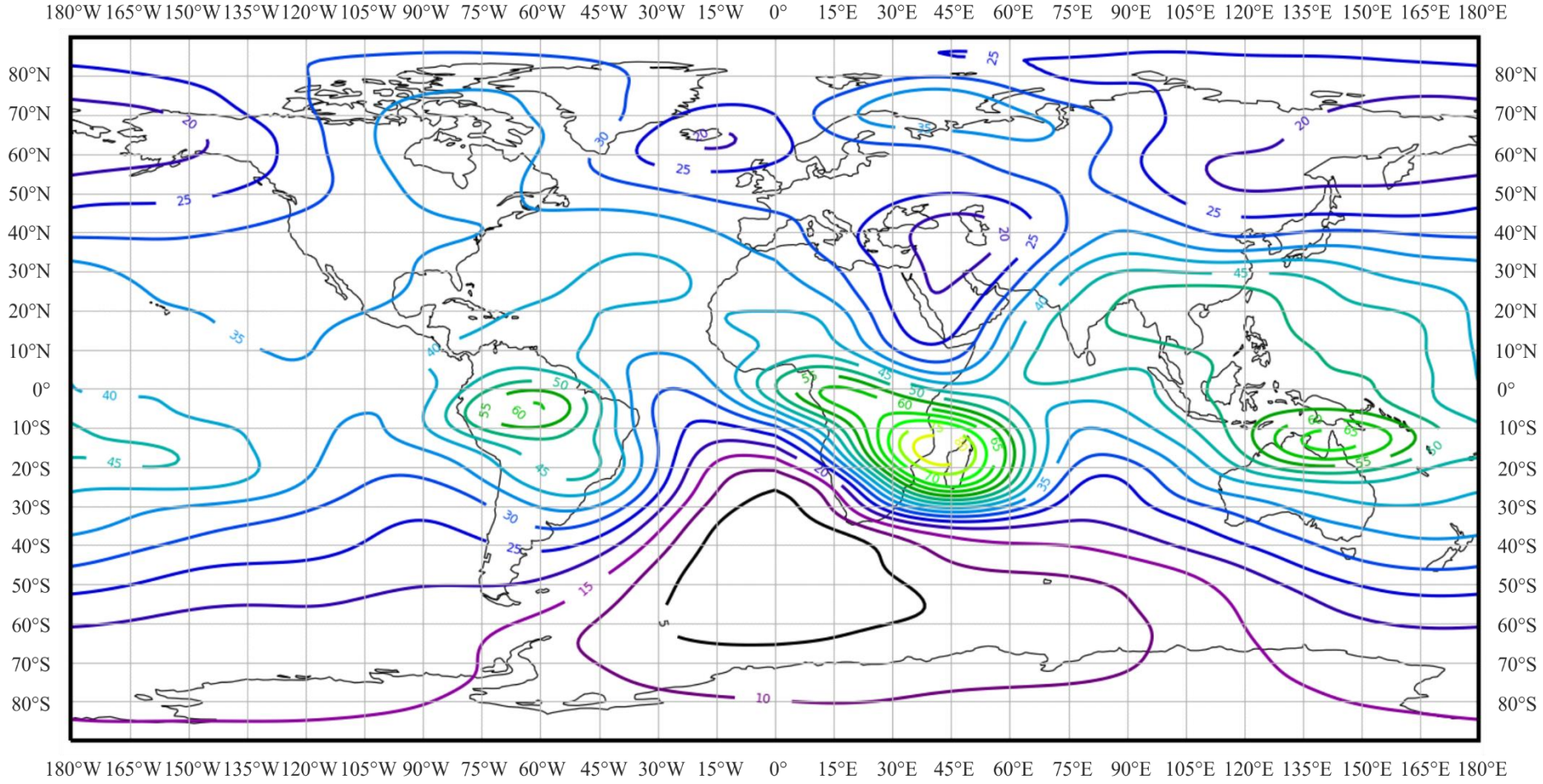


РИСУНОК 15a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (дек.–янв.–февр.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-15a

РИСУНОК 15b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)

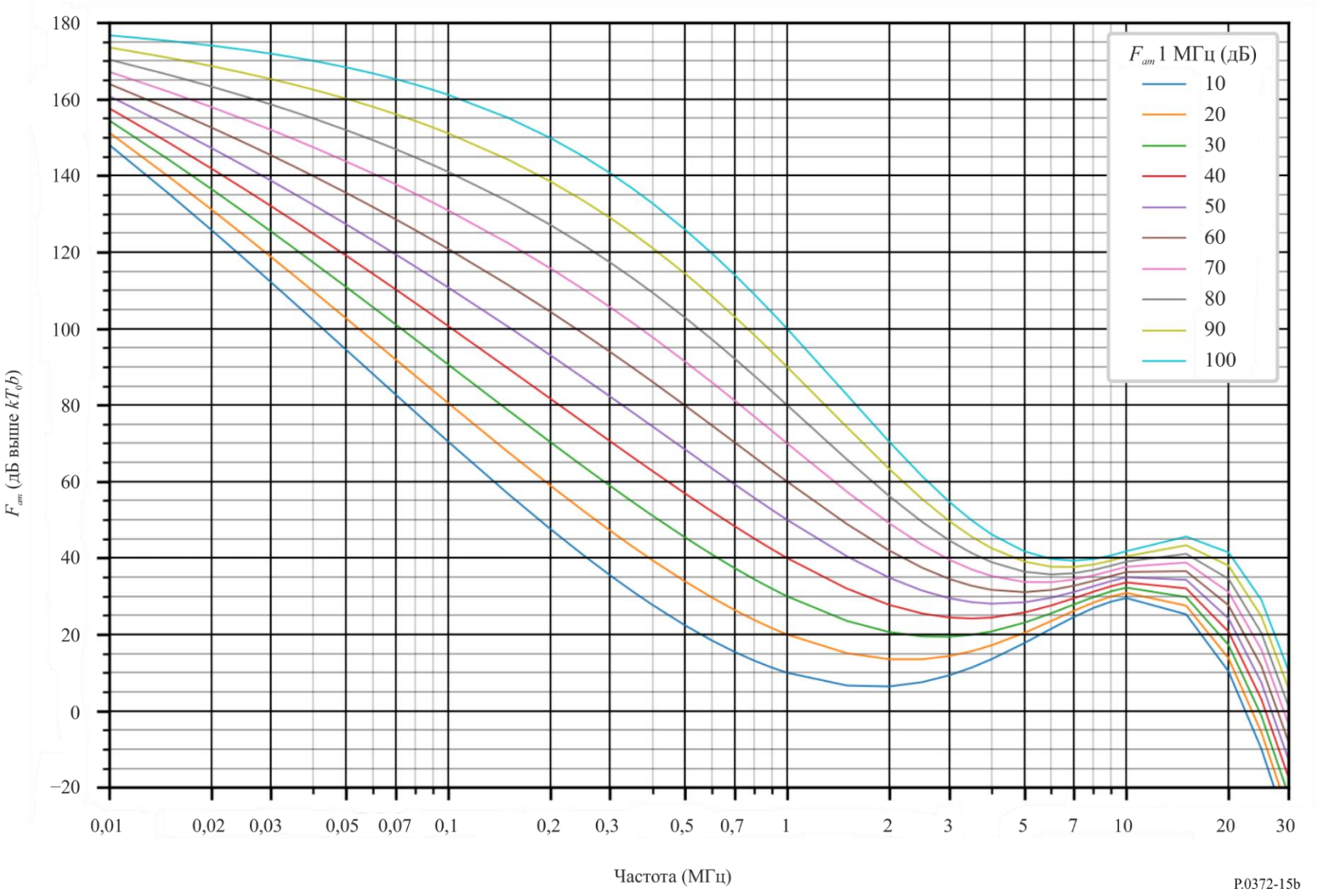


РИСУНОК 15c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)

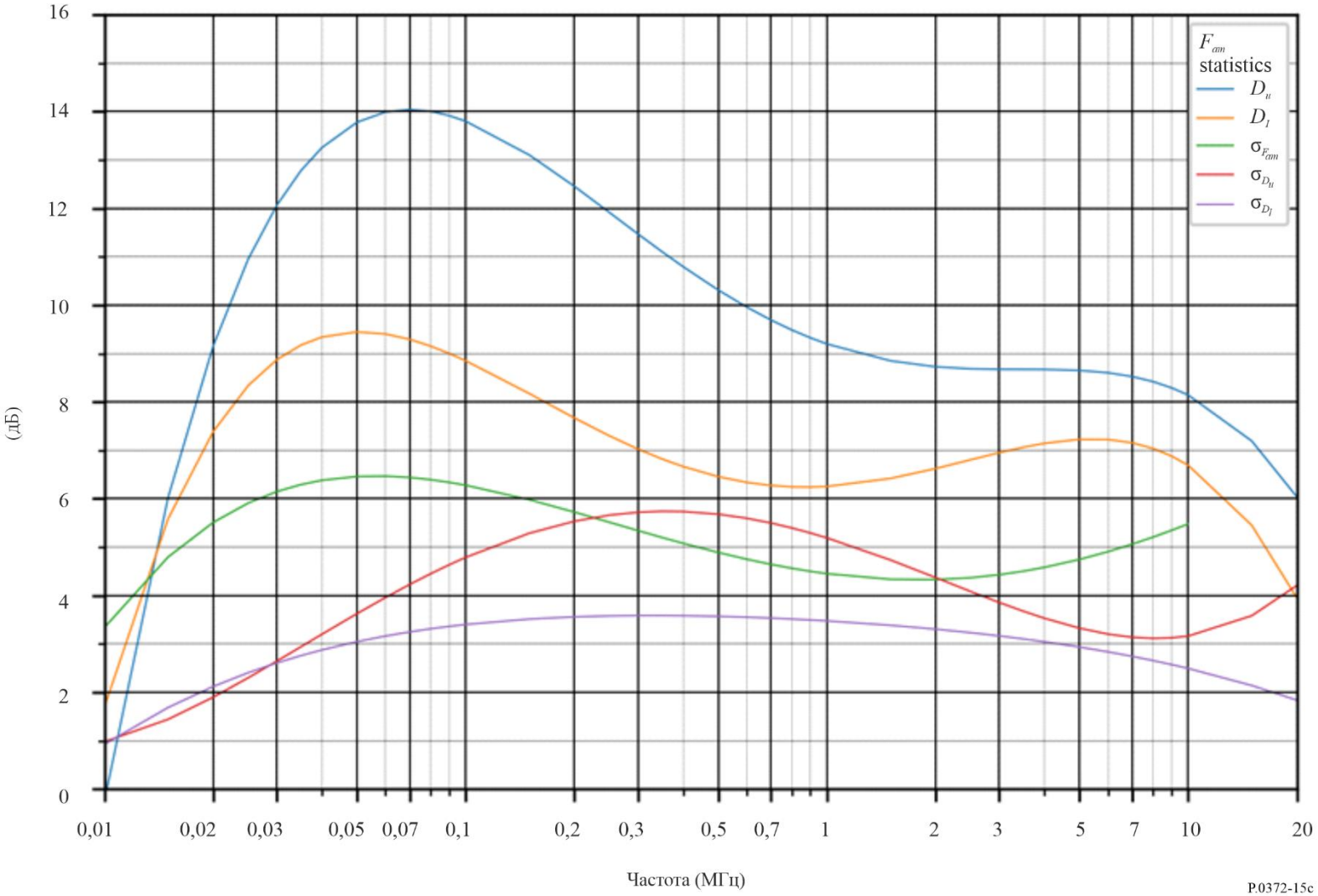
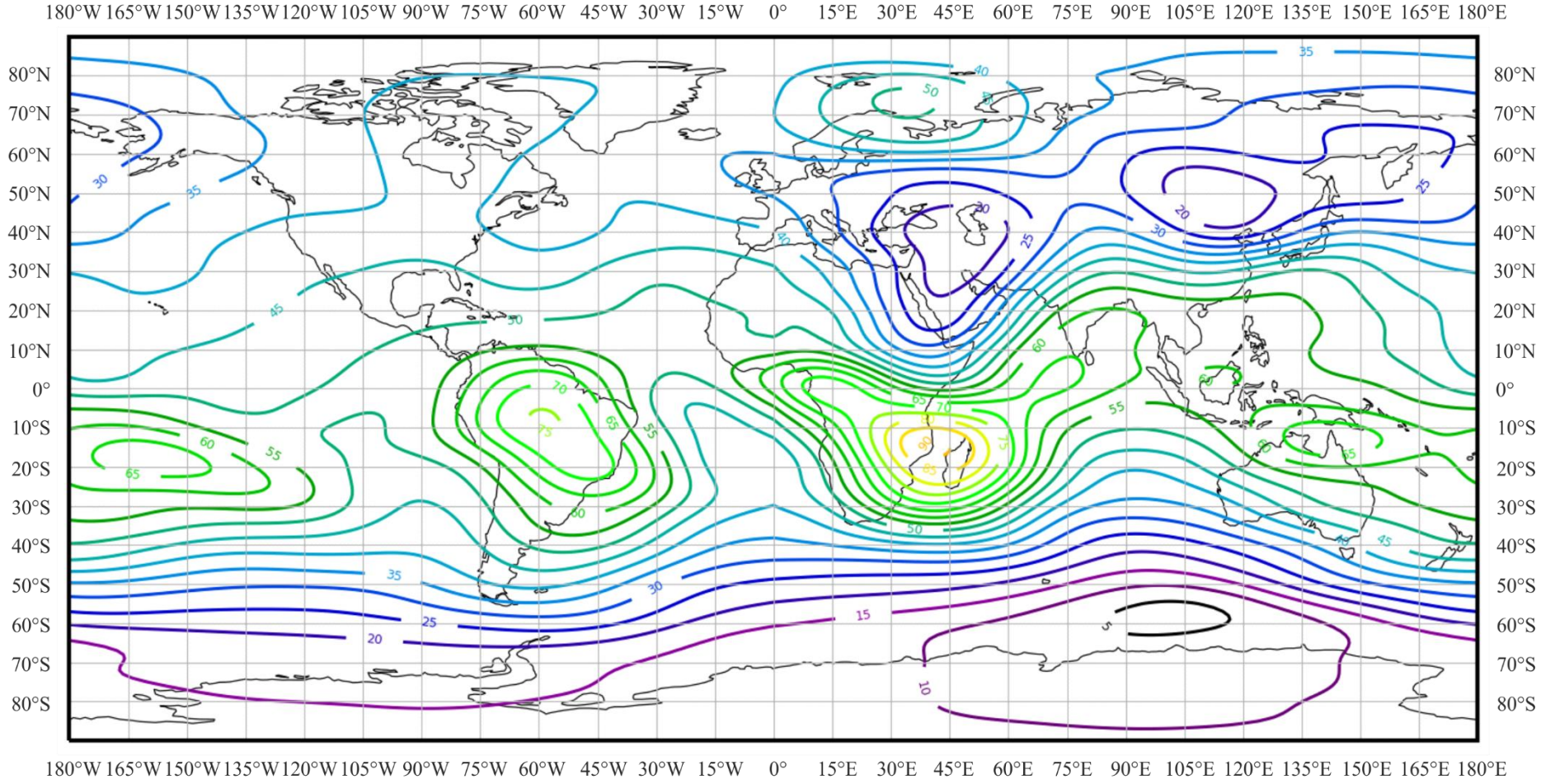


РИСУНОК 16a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (дек.–янв.–февр.; 12 час. 00 мин. –16 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-16a

РИСУНОК 16b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 12 час. 00 мин. – 16 час. 00 мин. местного времени)

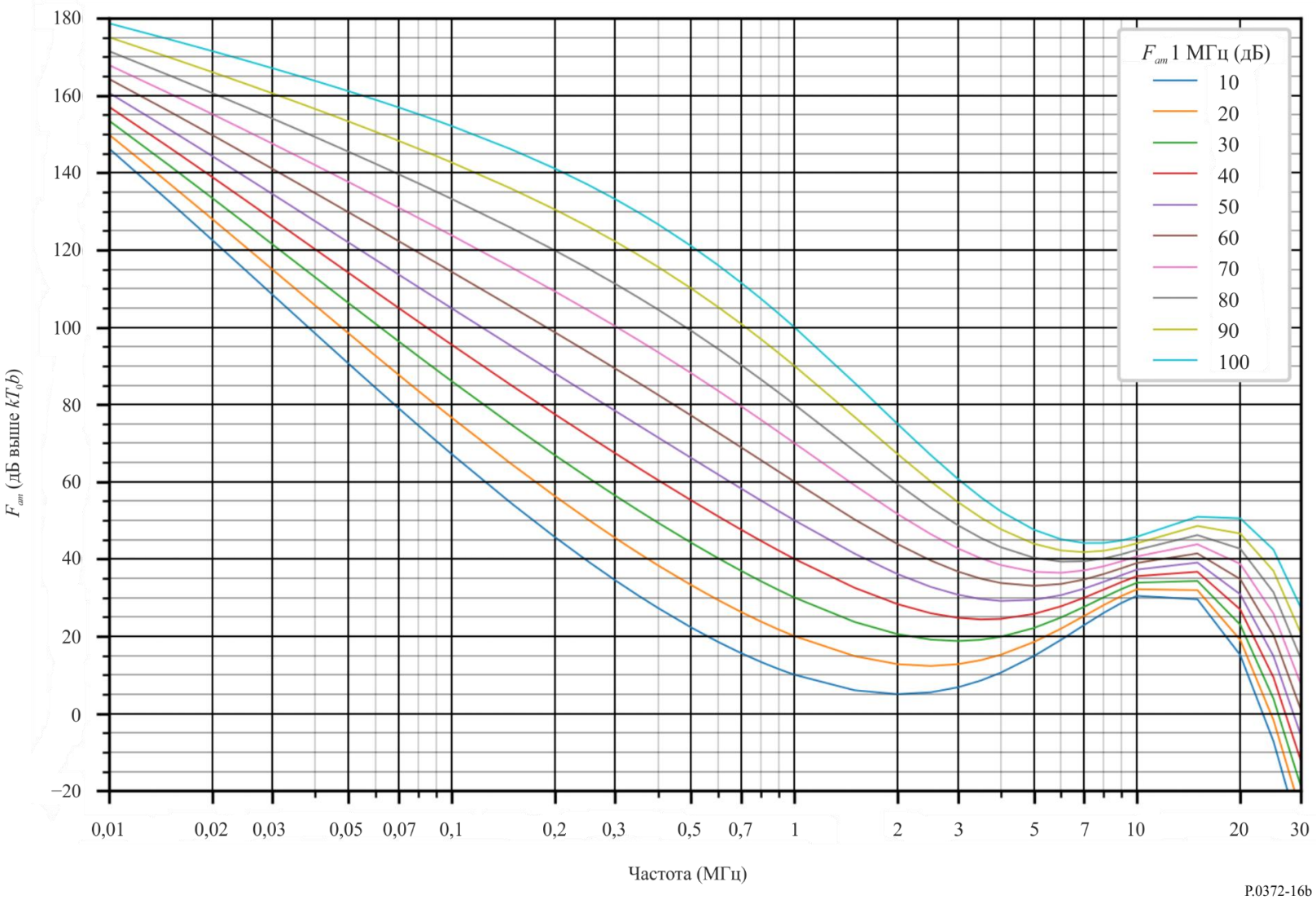


РИСУНОК 16c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 12 час. 00 мин. – 16 час. 00 мин. местного времени)

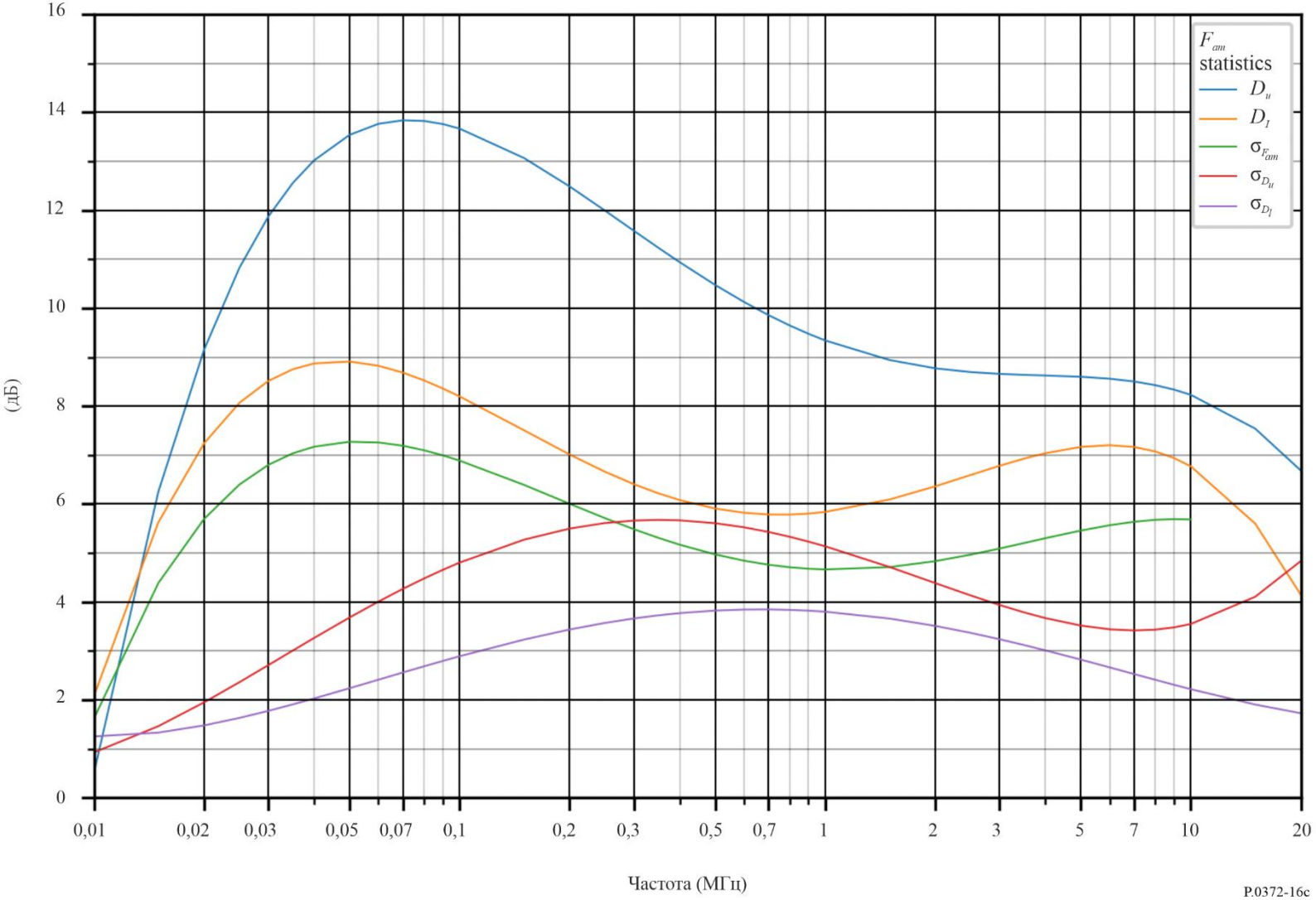
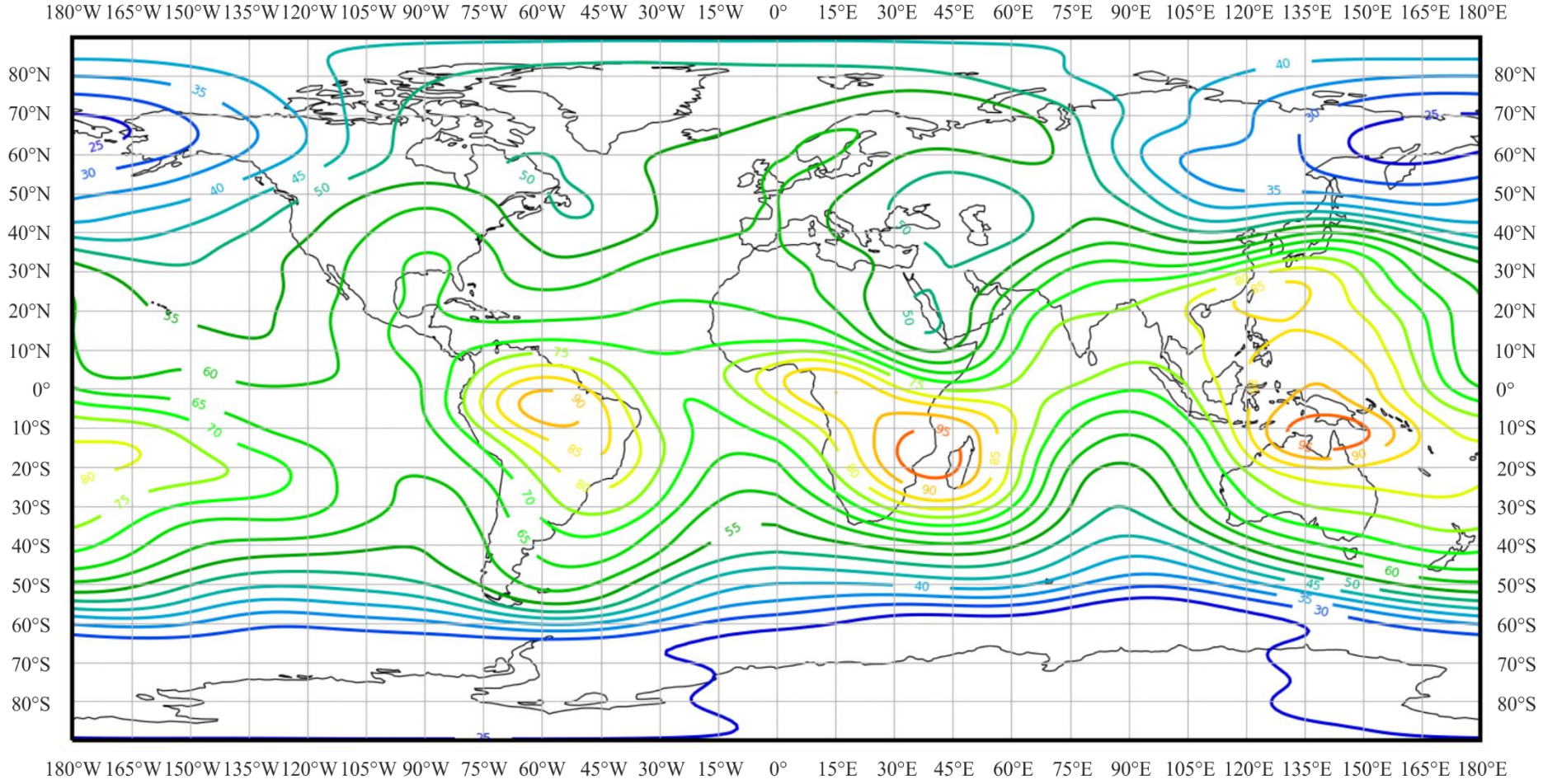


РИСУНОК 17a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (дек.–янв.–февр.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-17a

РИСУНОК 17b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)

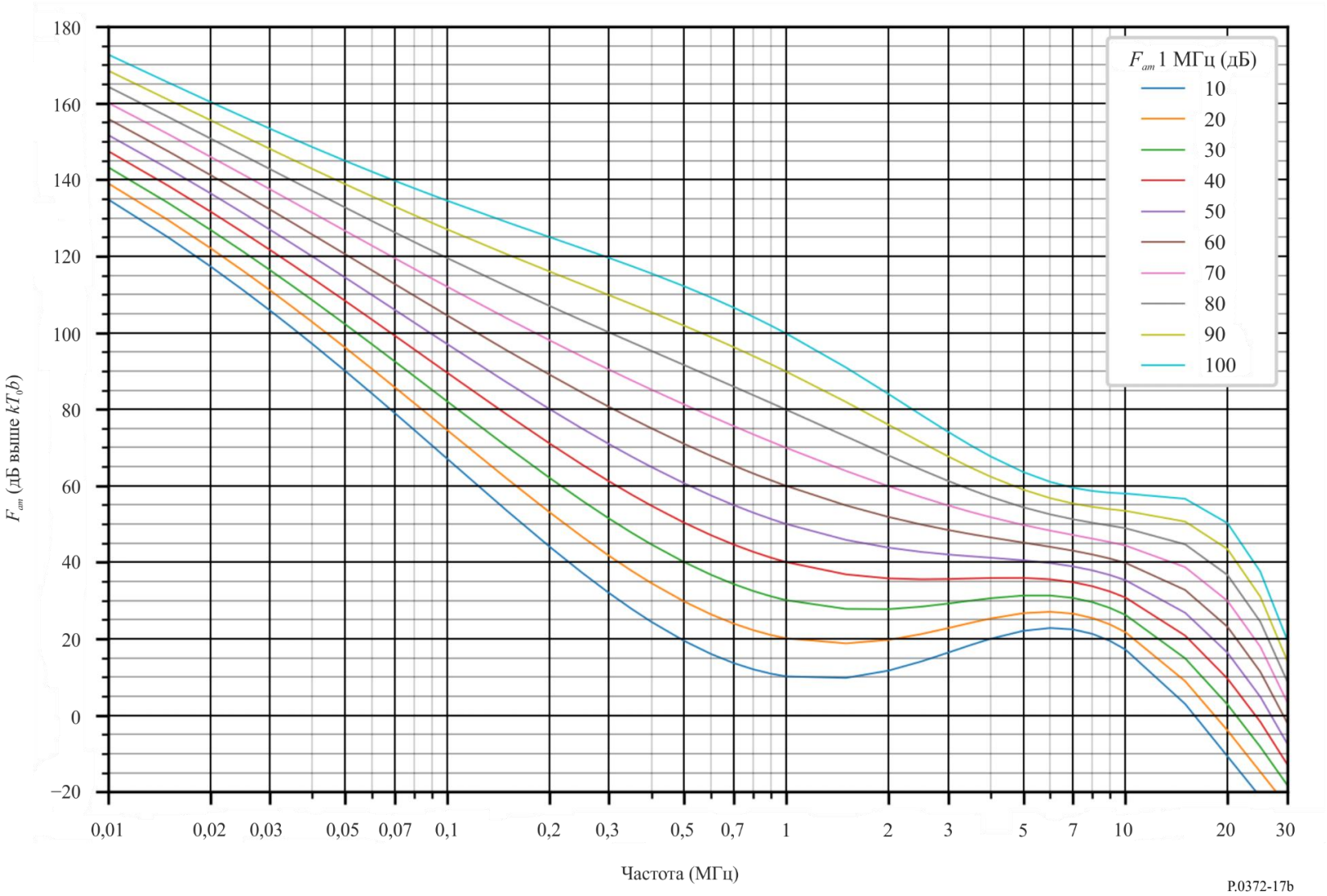


РИСУНОК 17c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)

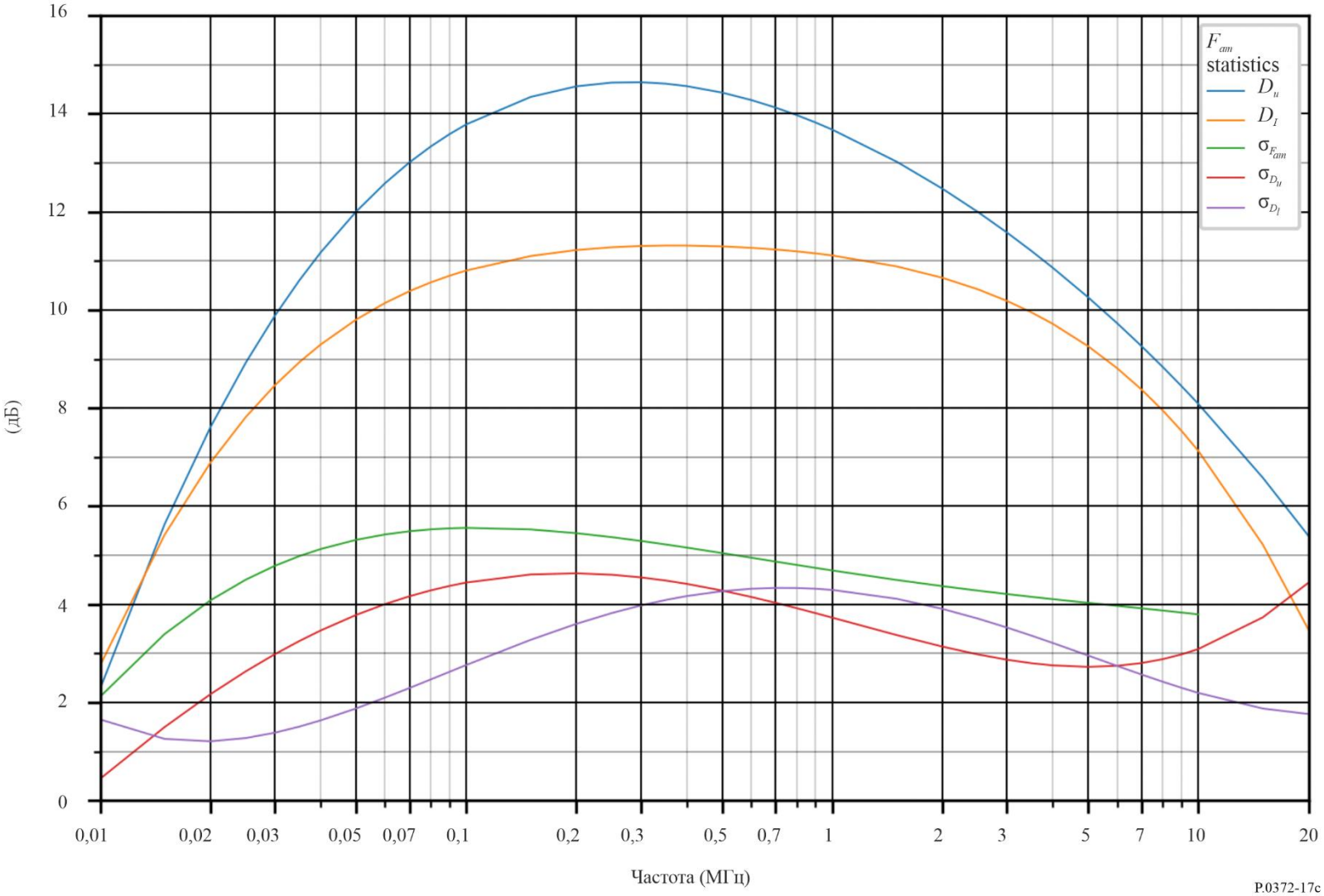
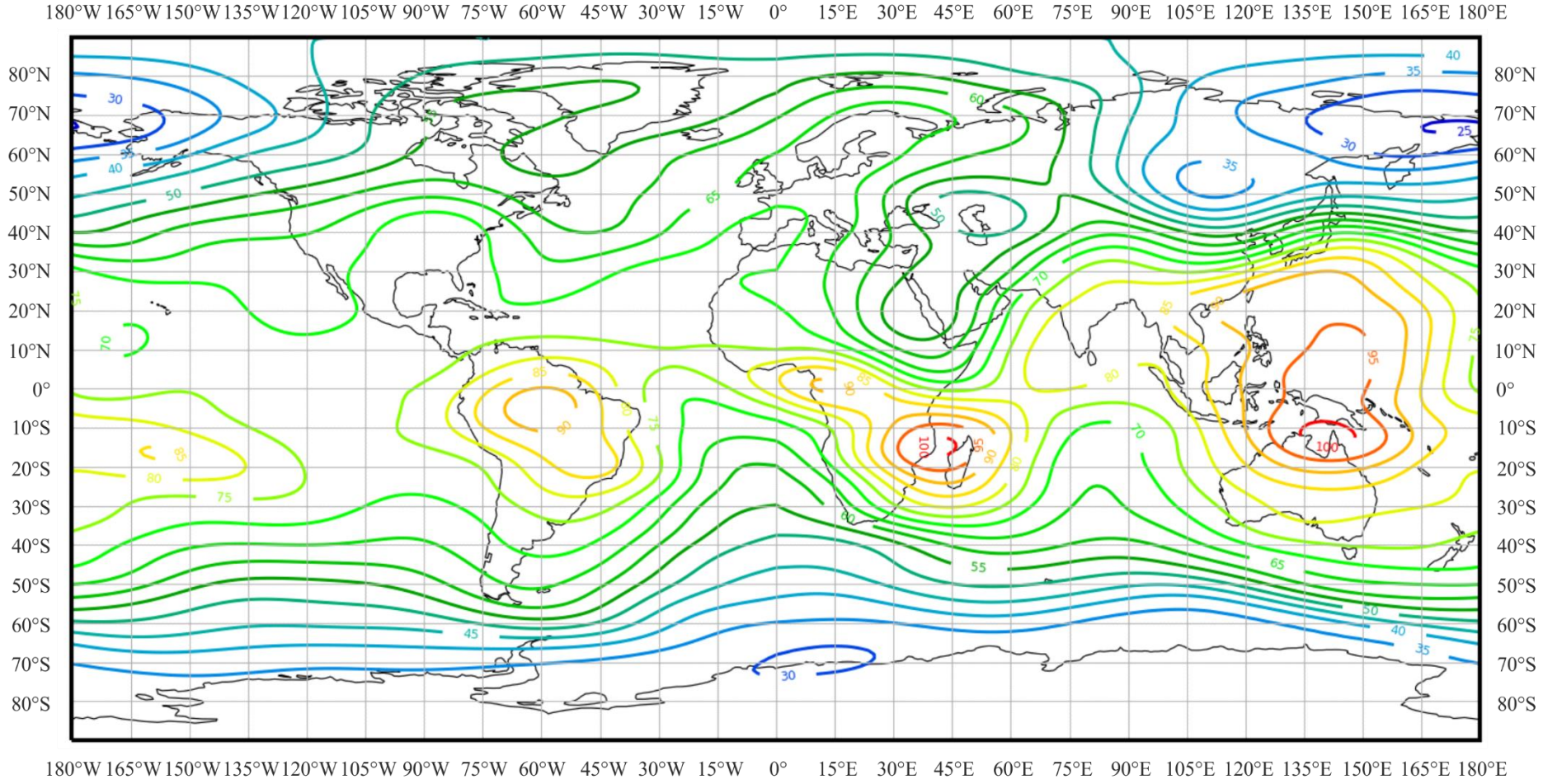


РИСУНОК 18a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (дек.–янв.–февр.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-18a

РИСУНОК 18b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

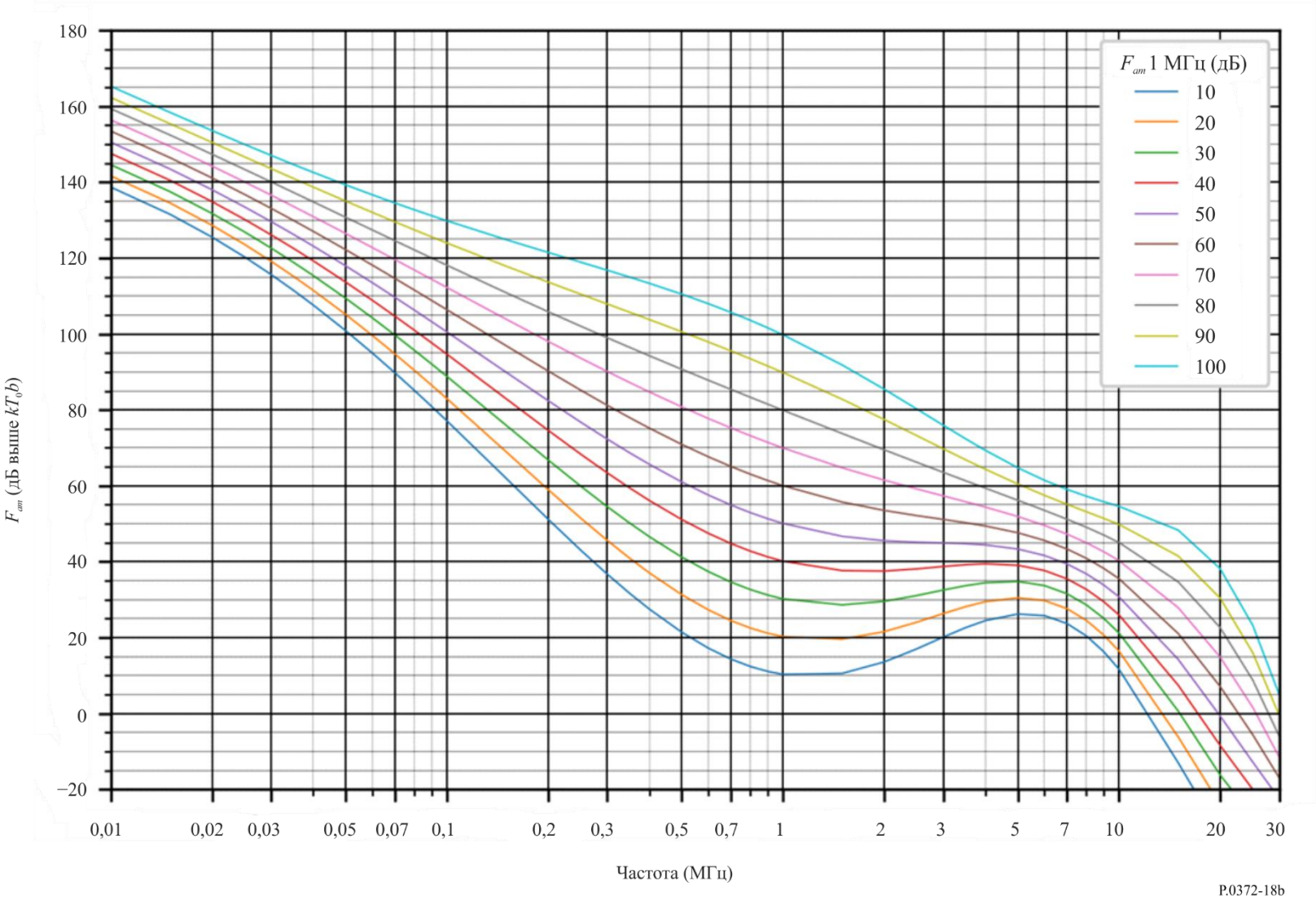


РИСУНОК 18c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: дек.–янв.–февр.; Южное полушарие: июнь–июль–авг.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

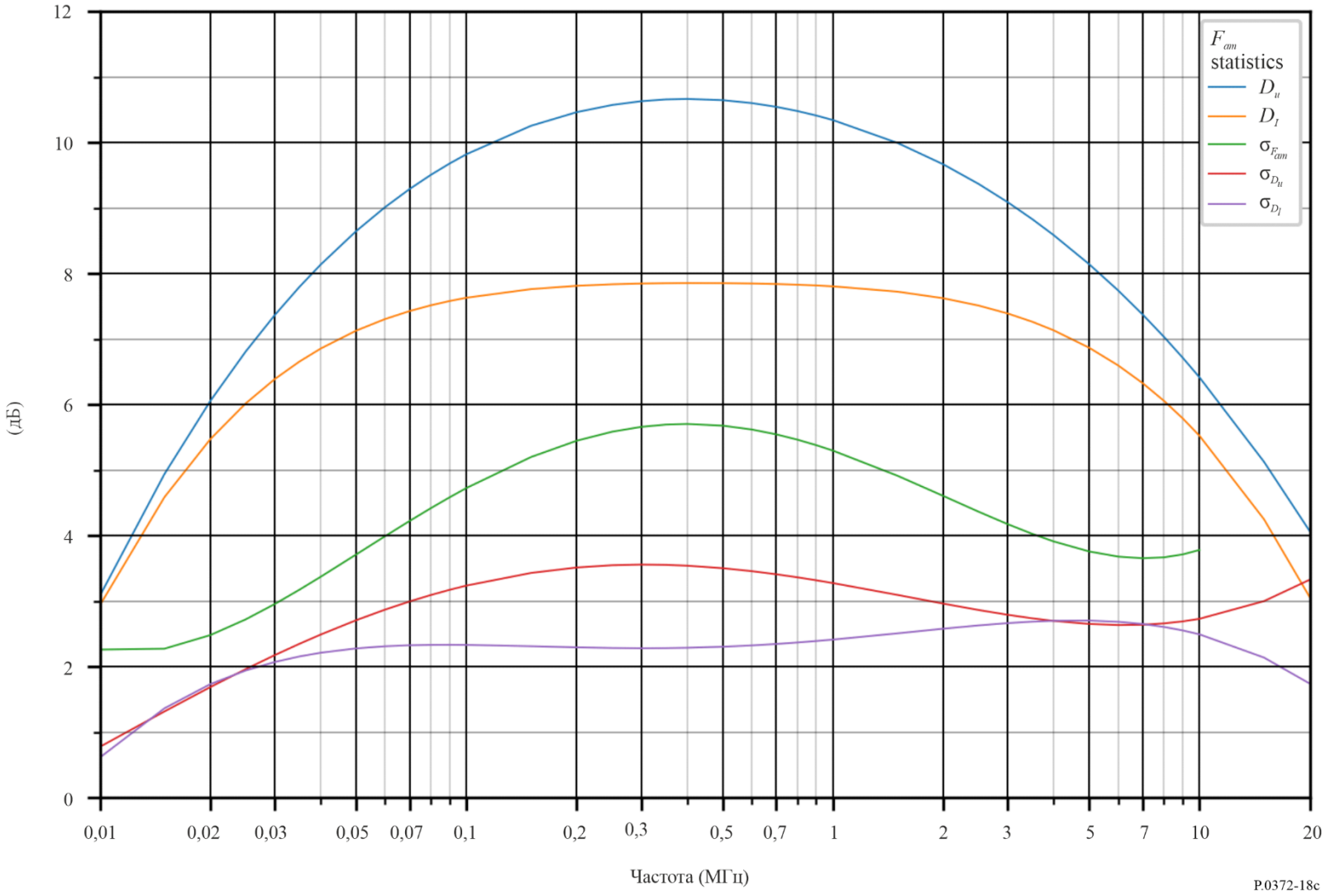
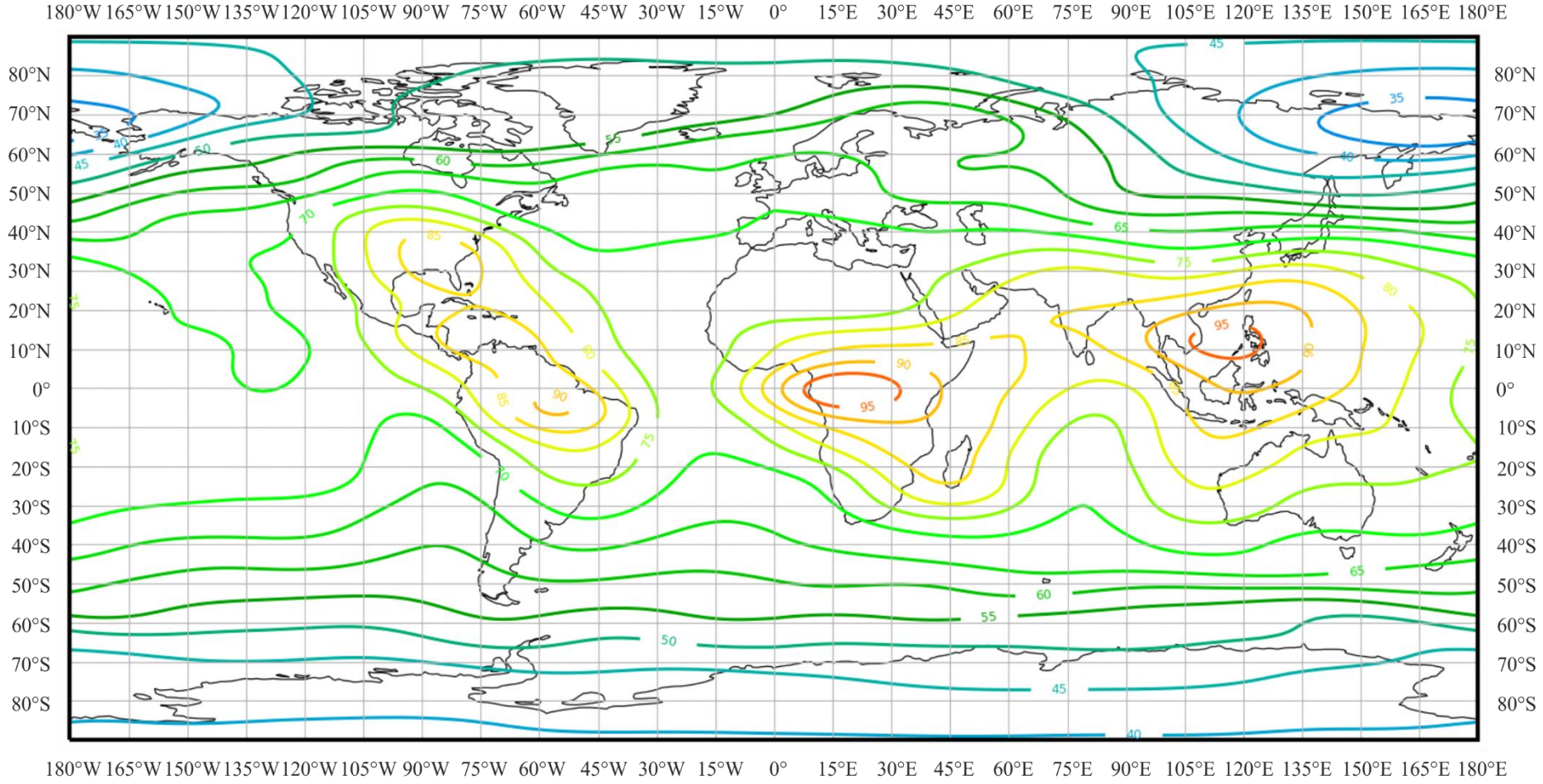


РИСУНОК 19a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше $k\ T_0\ b$ на частоте 1 МГц) (март−апр.−май; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-19a

РИСУНОК 19b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

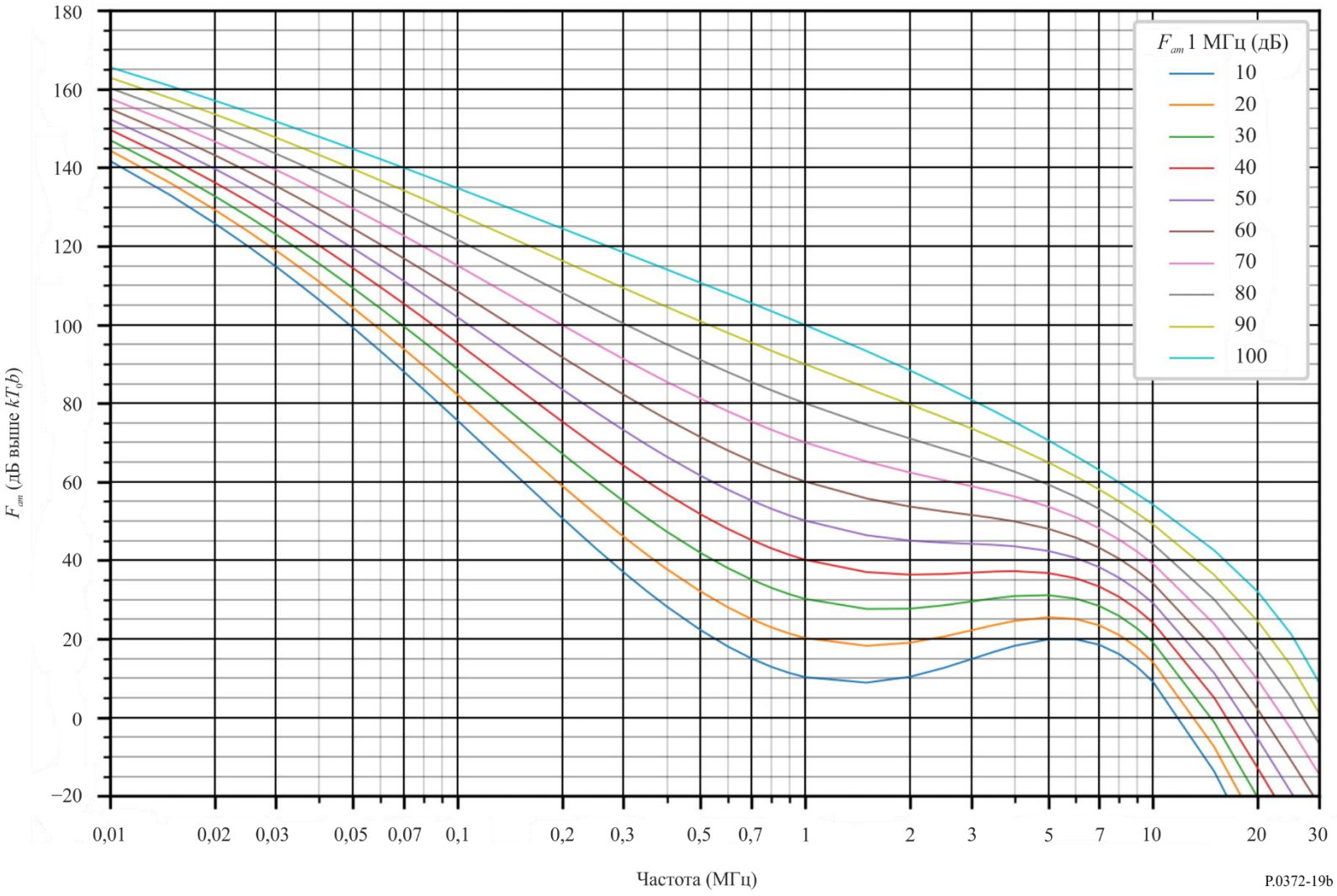


РИСУНОК 19c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

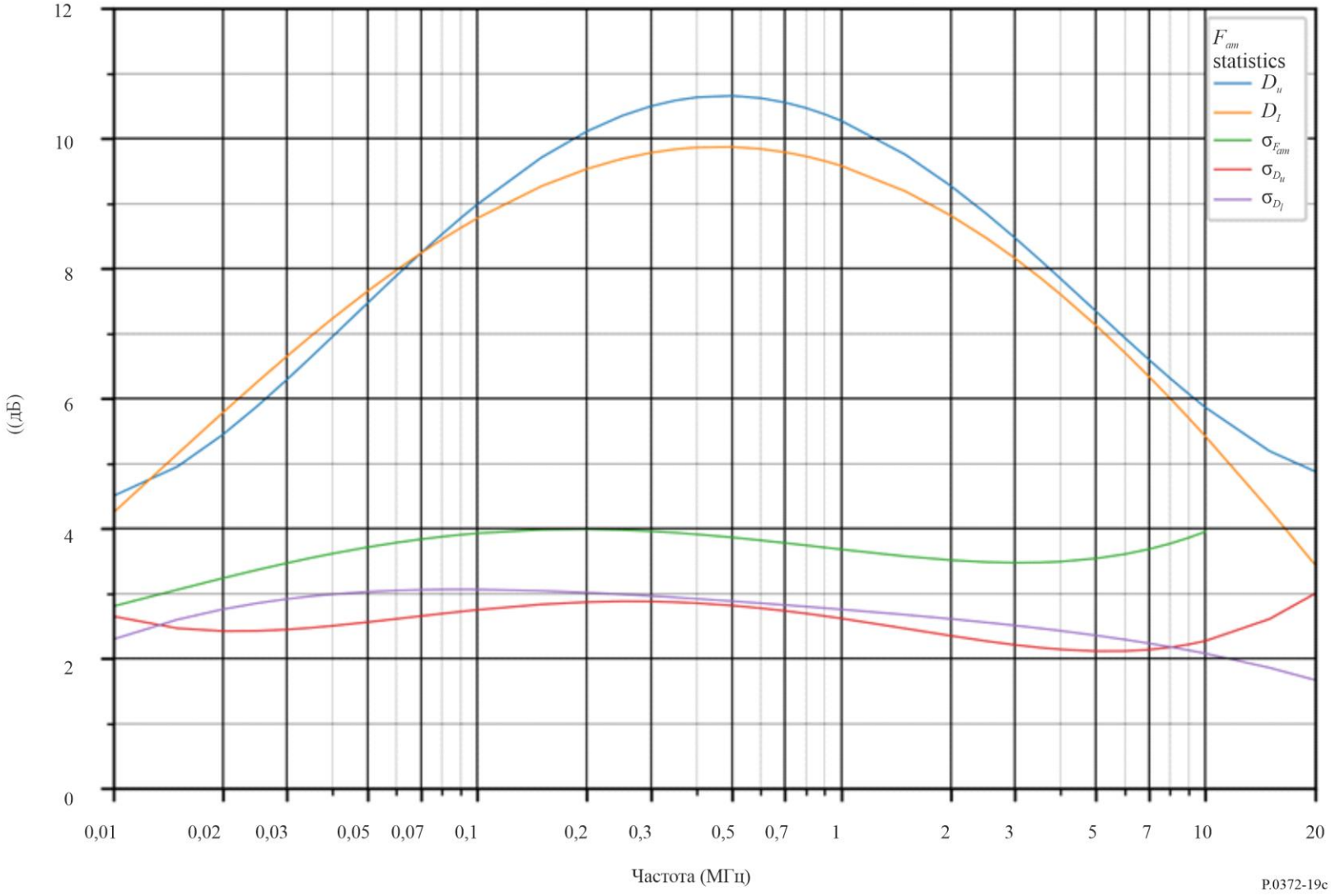
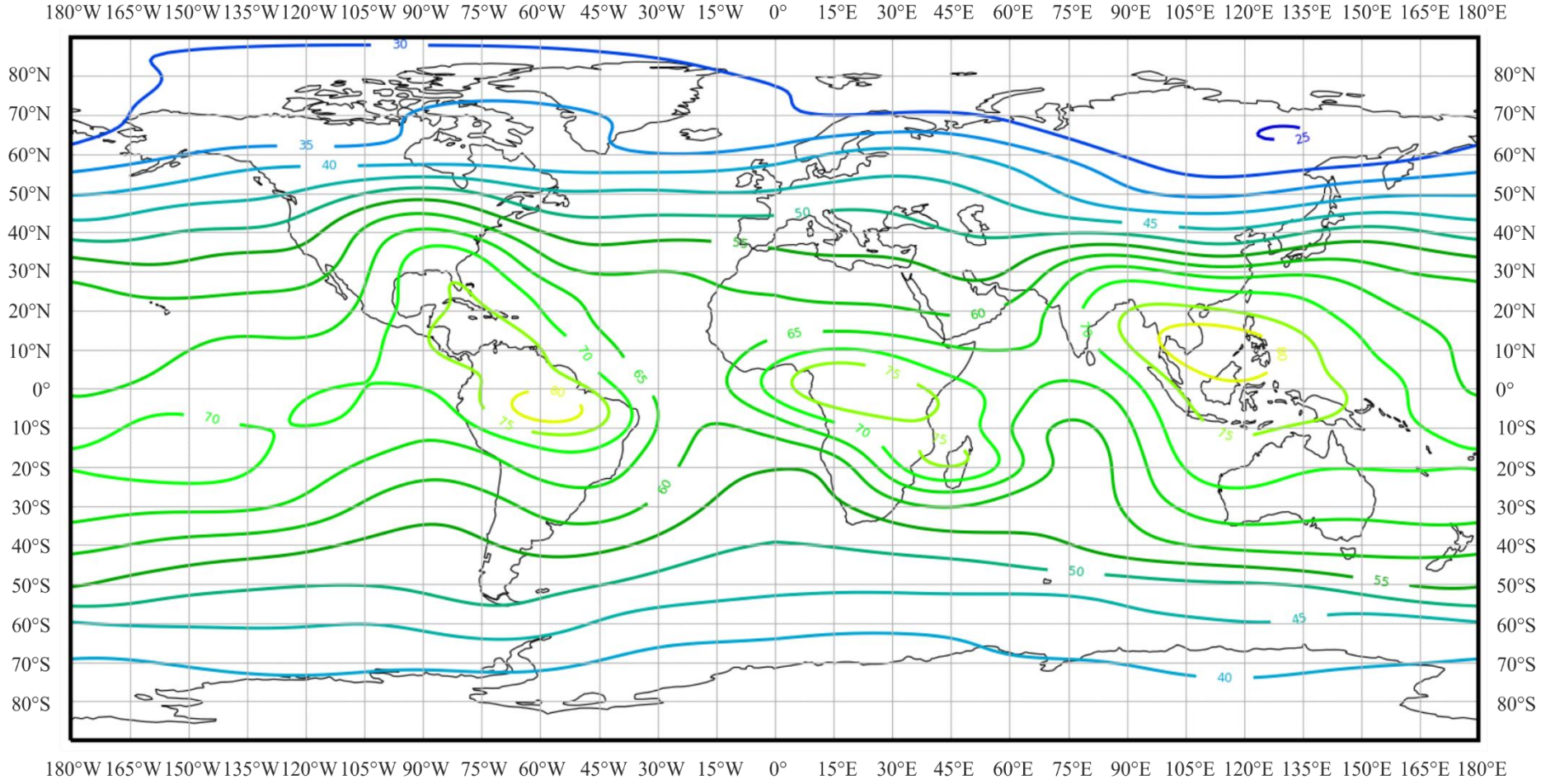


РИСУНОК 20a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (март–апр.–май; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-20a

РИСУНОК 20b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)

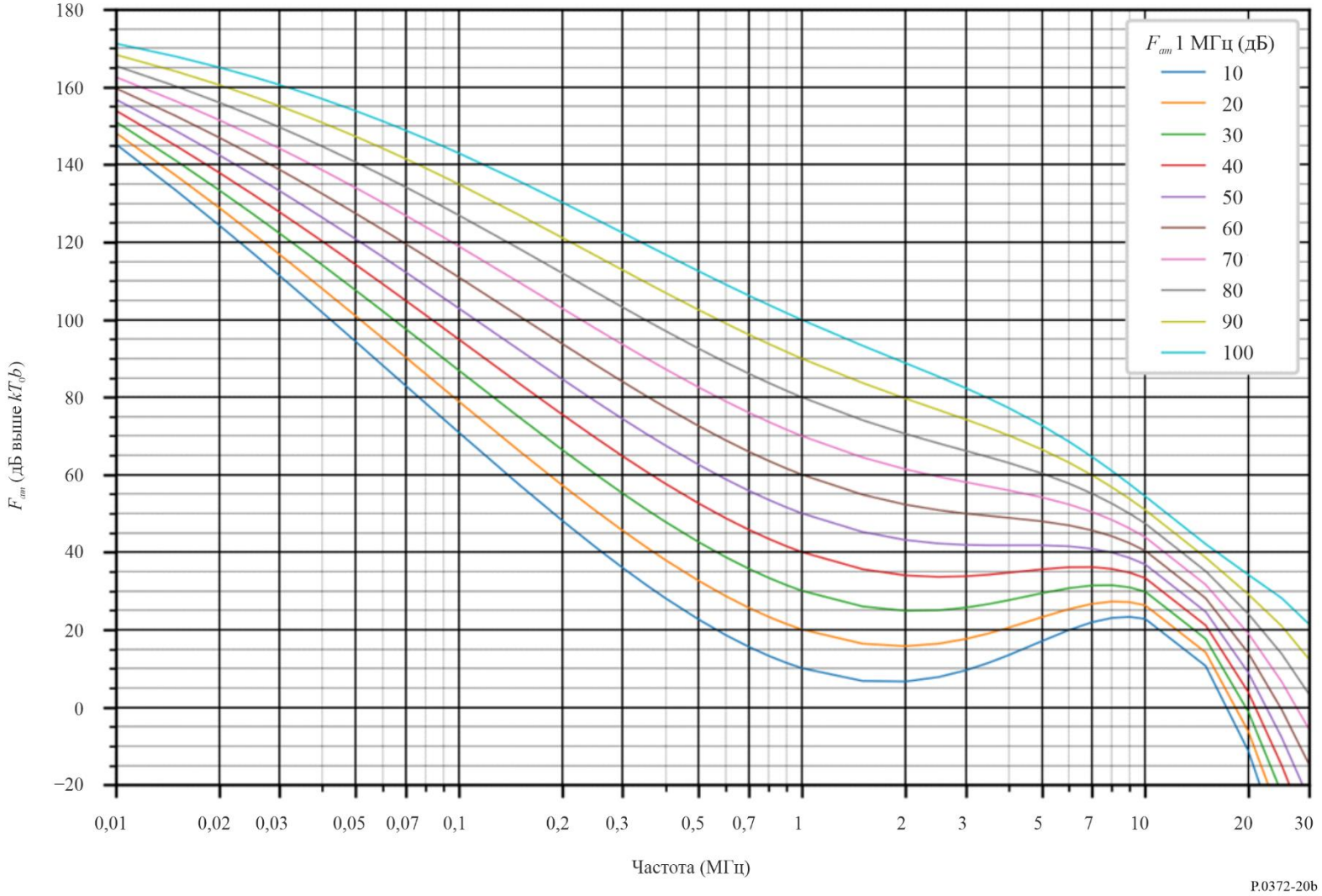


РИСУНОК 20c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)

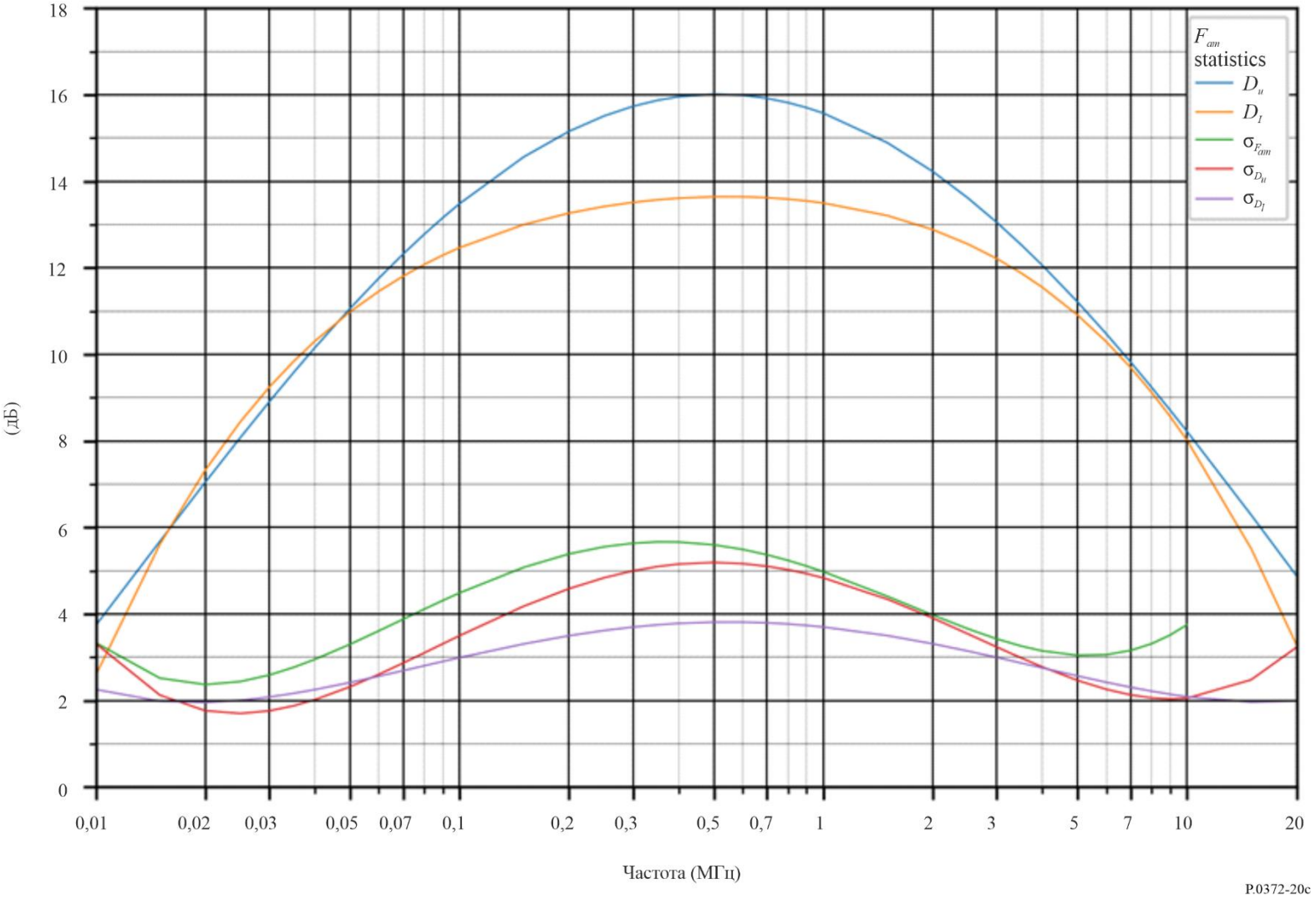
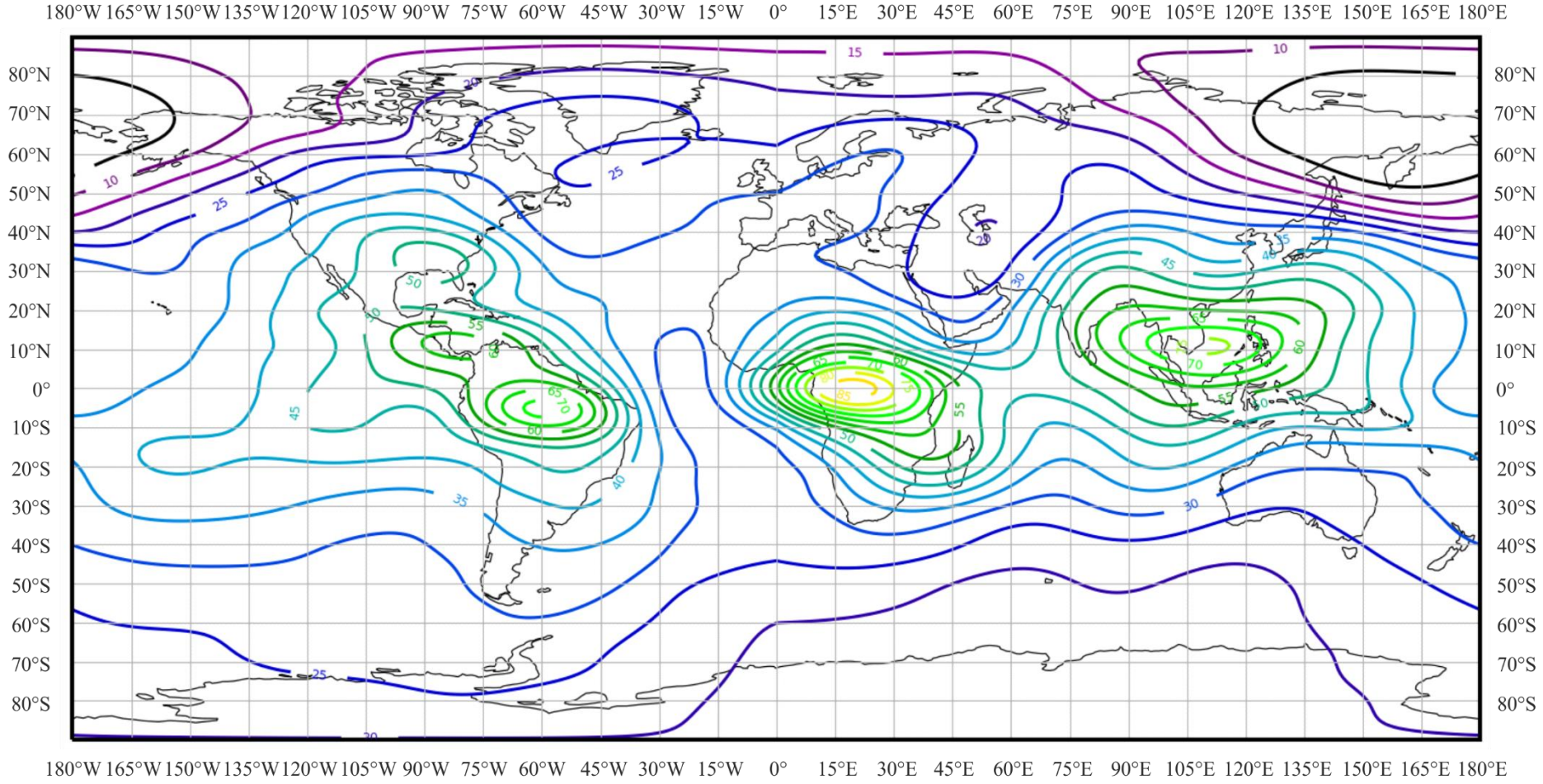


РИСУНОК 21a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (март–апр.–май; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-21a

РИСУНОК 21b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)

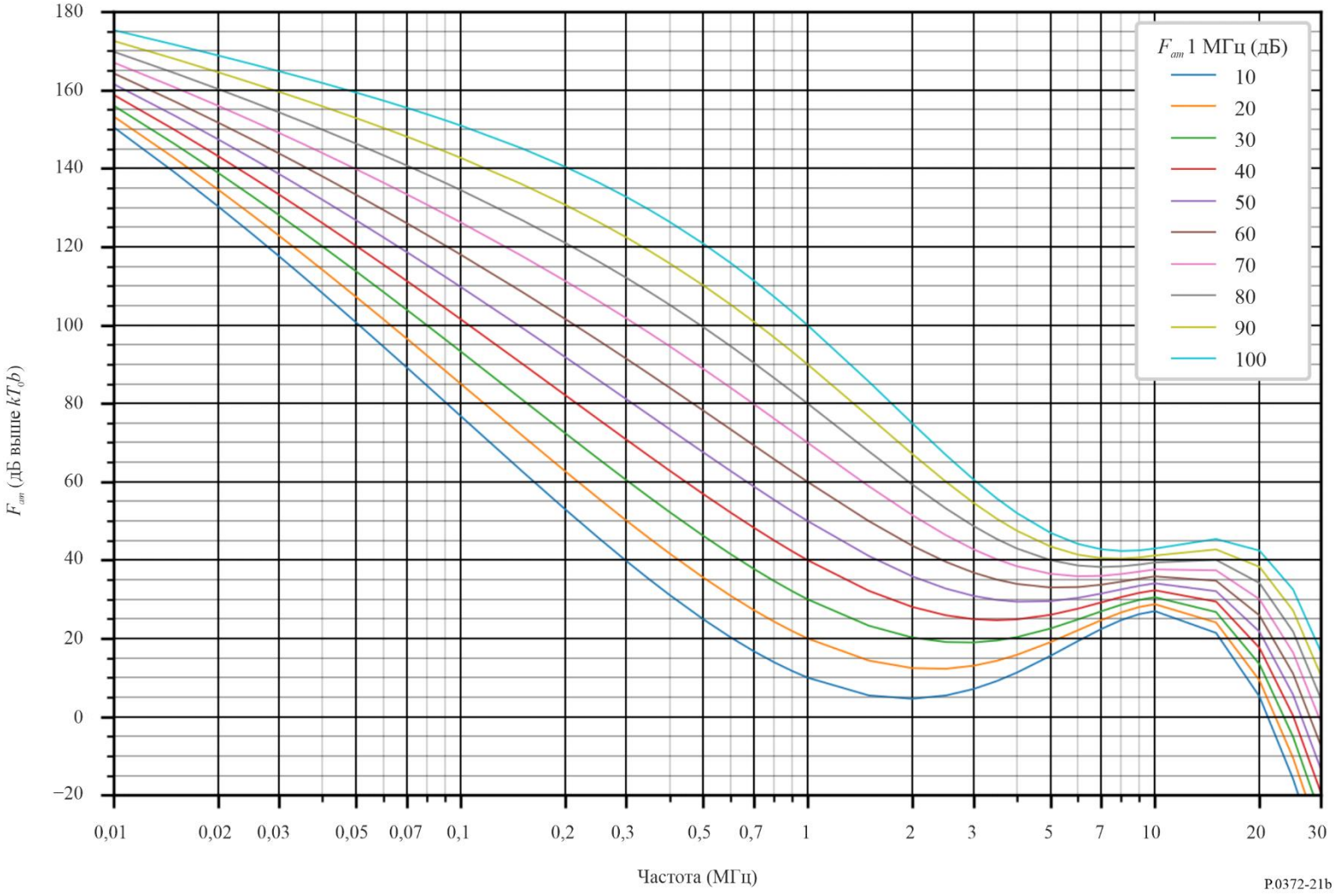


РИСУНОК 21c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)

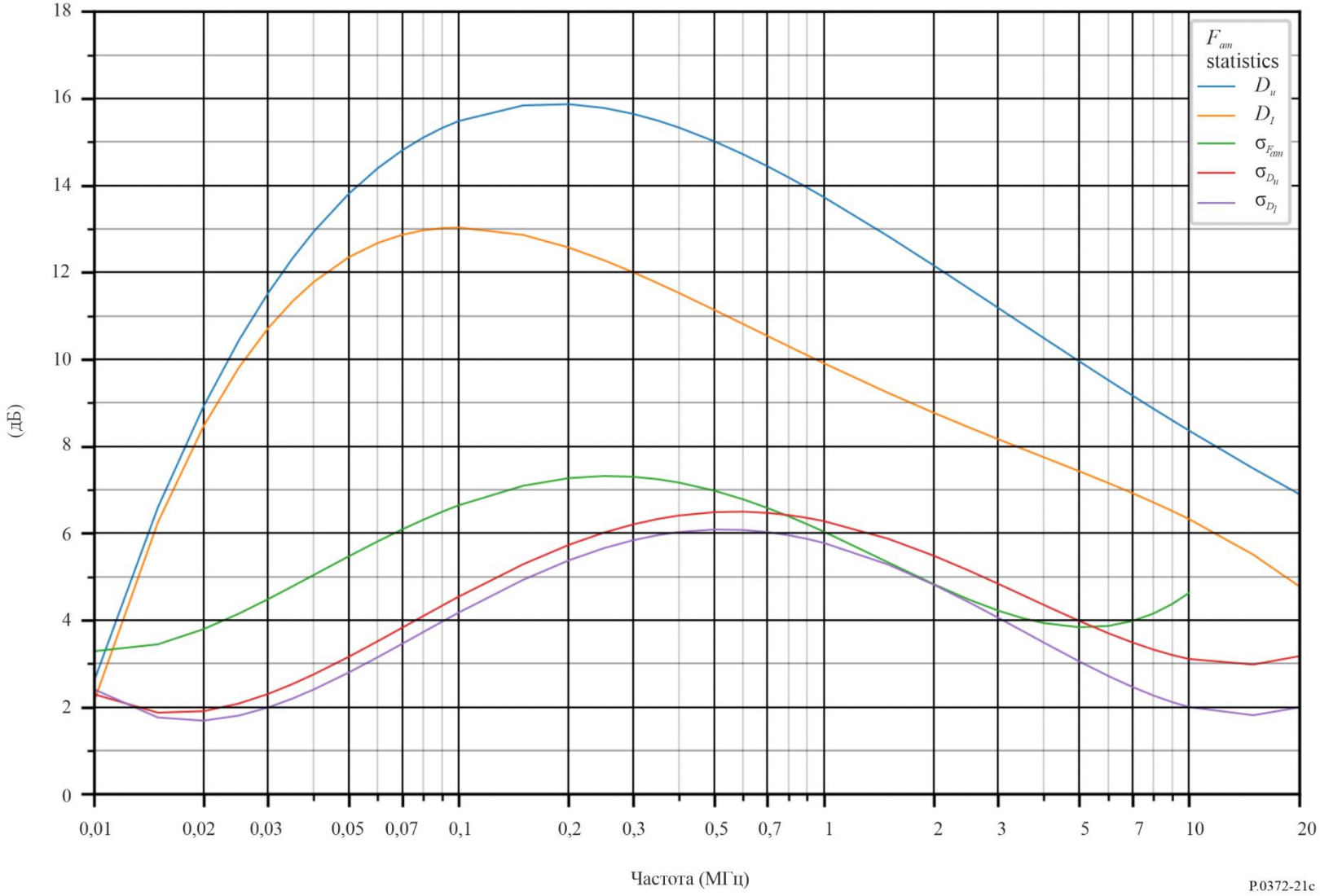
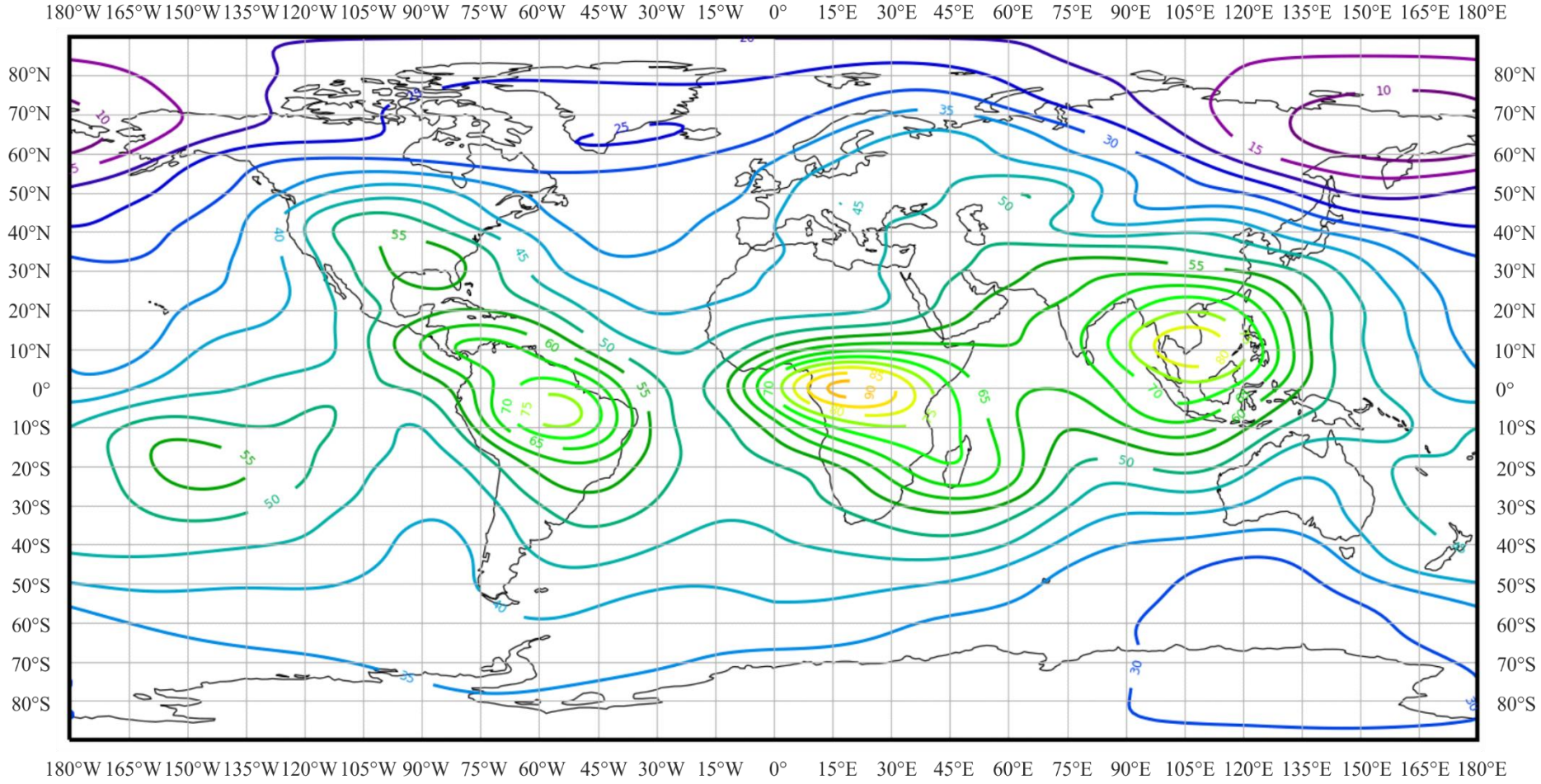


РИСУНОК 22a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (март–апр.–май; 12 час. 00 мин. –16 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-22a

РИСУНОК 22b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 12 час. 00 мин. – 16 час. 00 мин. местного времени)

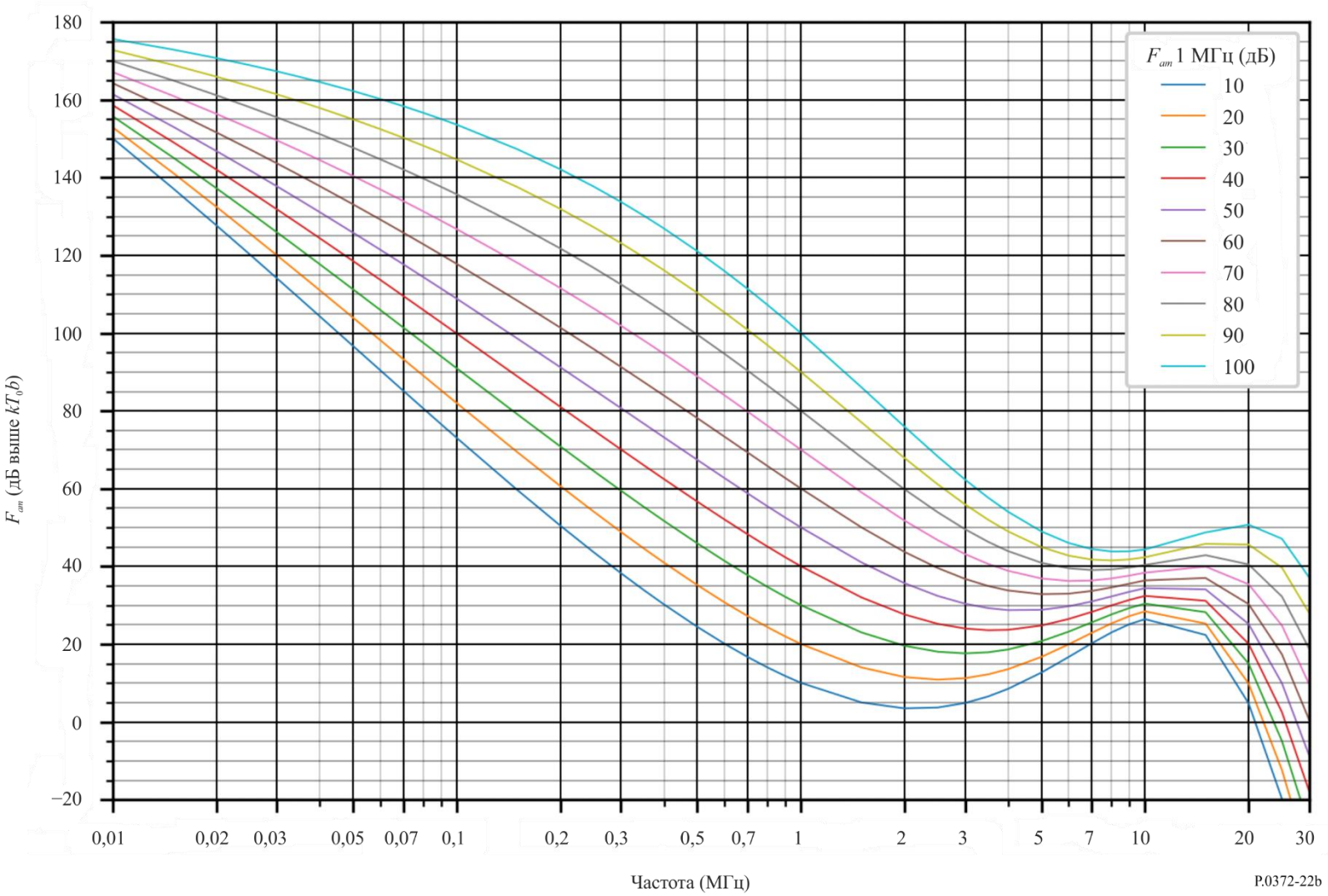


РИСУНОК 22c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: март–апр.–май; Южное полушарие: сент.–окт.–нояб.; 12 час. 00 мин. – 16 час. 00 мин. местного времени)

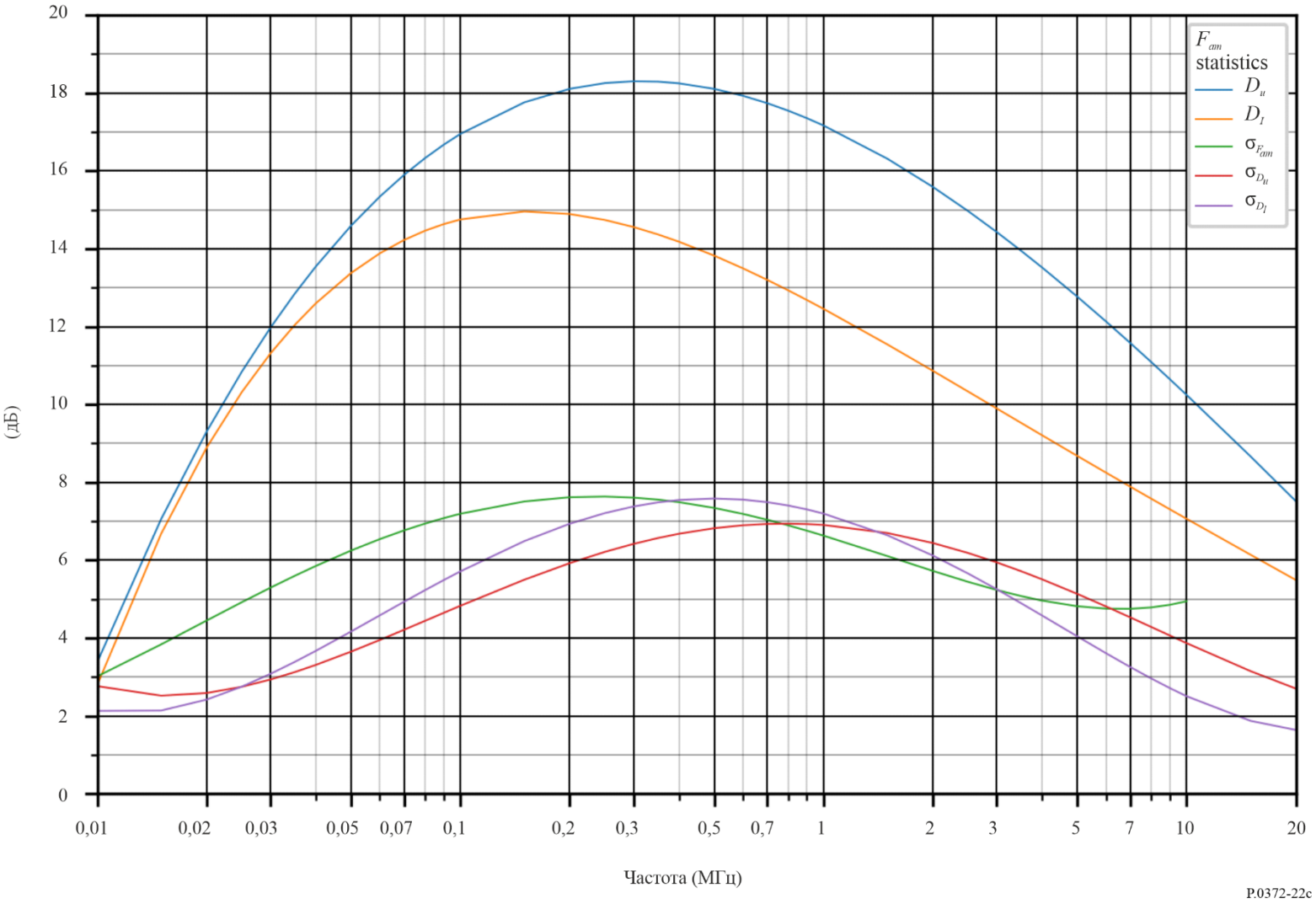
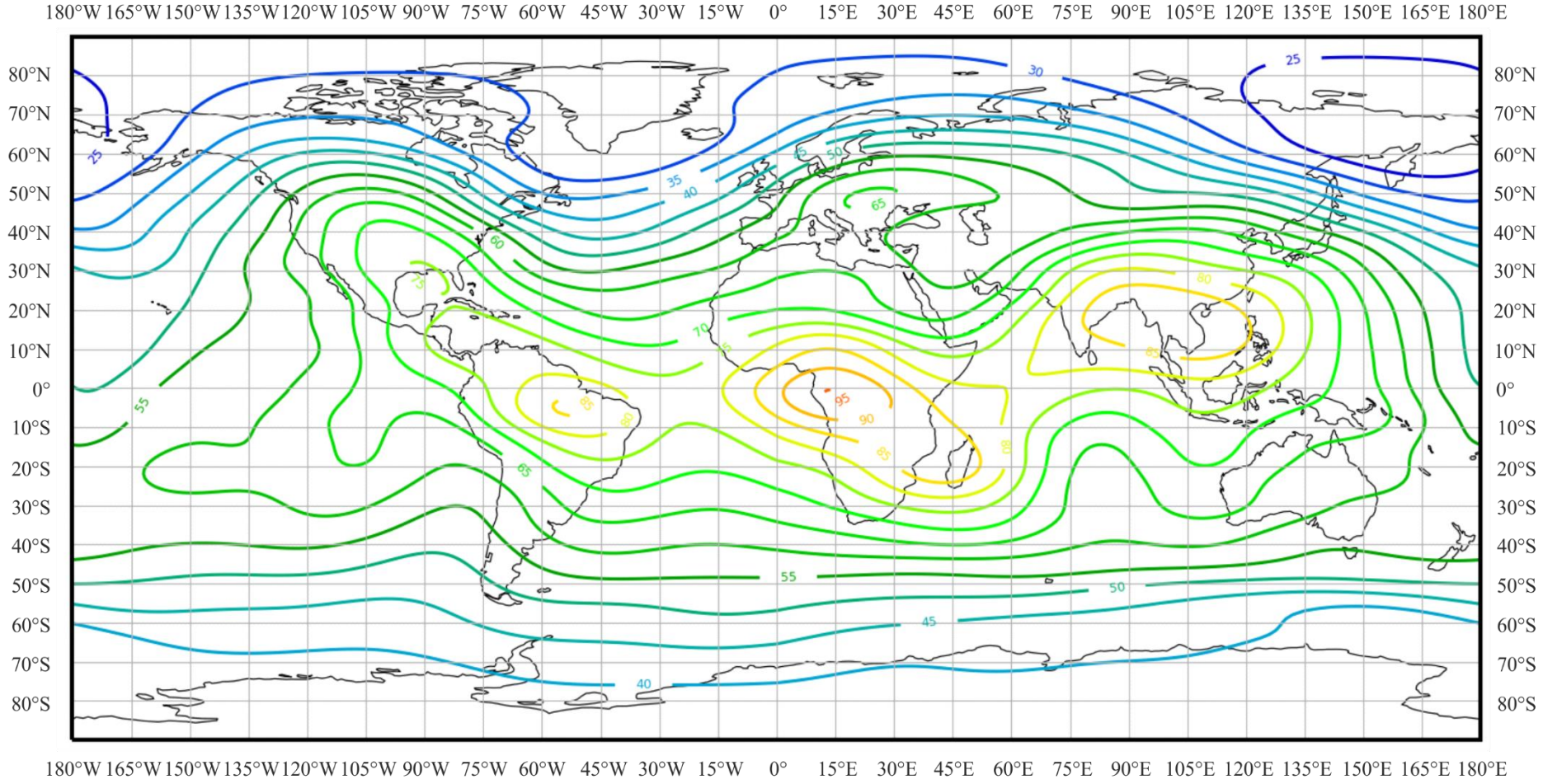


РИСУНОК 23a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (март–апр.–май; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-23a

РИСУНОК 23b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)

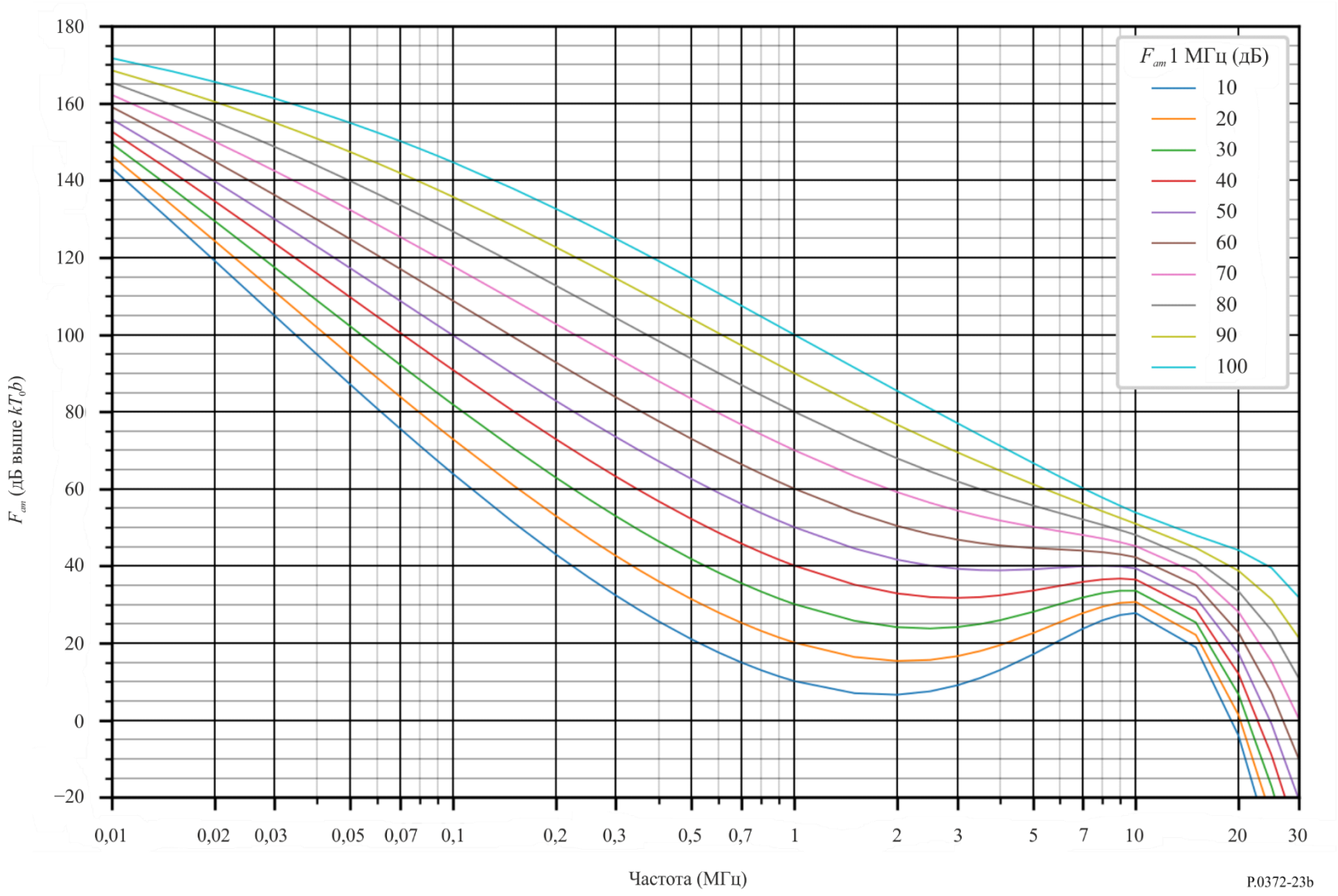


РИСУНОК 23c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)

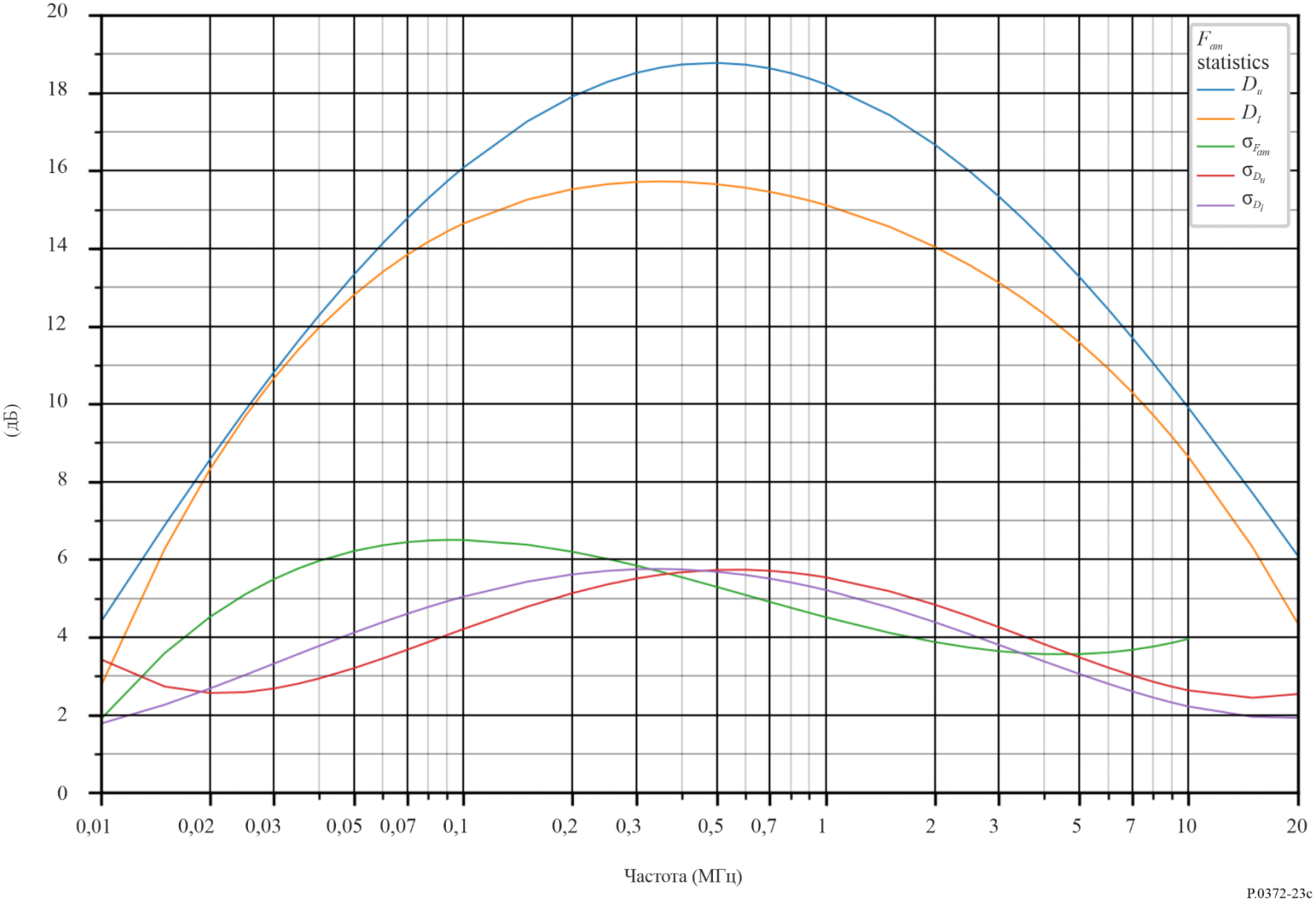
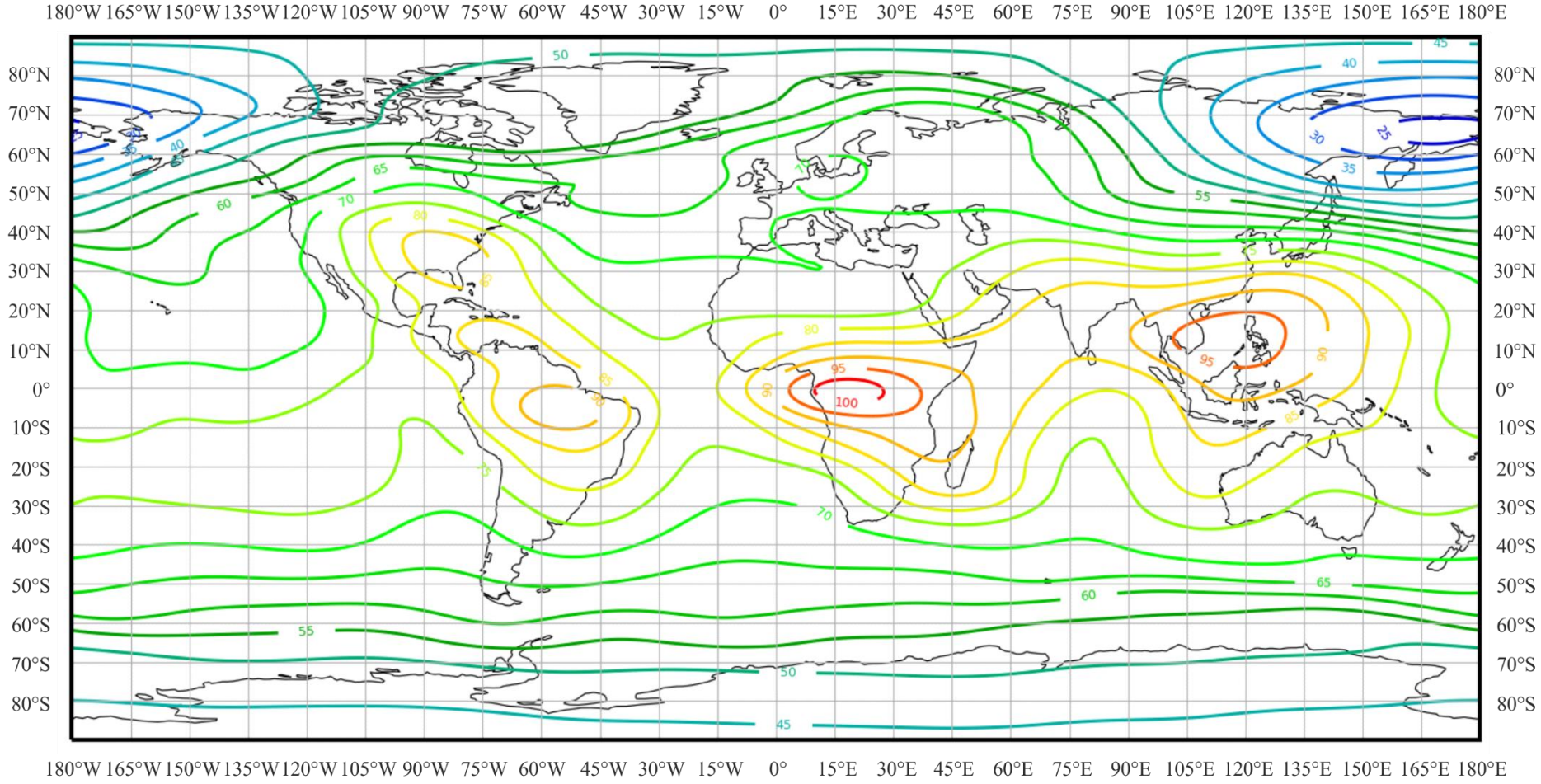


РИСУНОК 24a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (март–апр.–май; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-24a

РИСУНОК 24b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

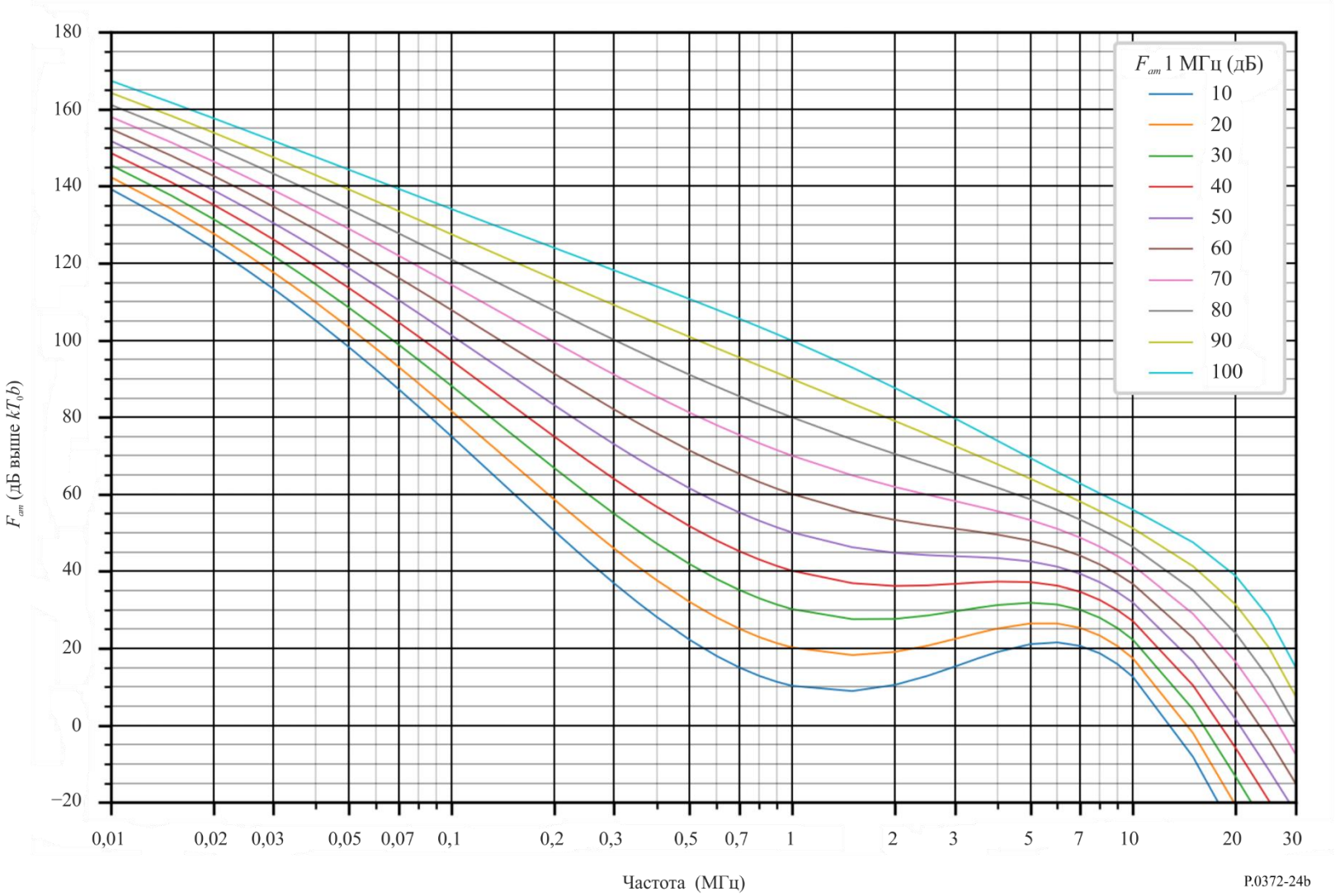


РИСУНОК 24c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: март−апр.−май; Южное полушарие: сент.−окт.−нояб.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

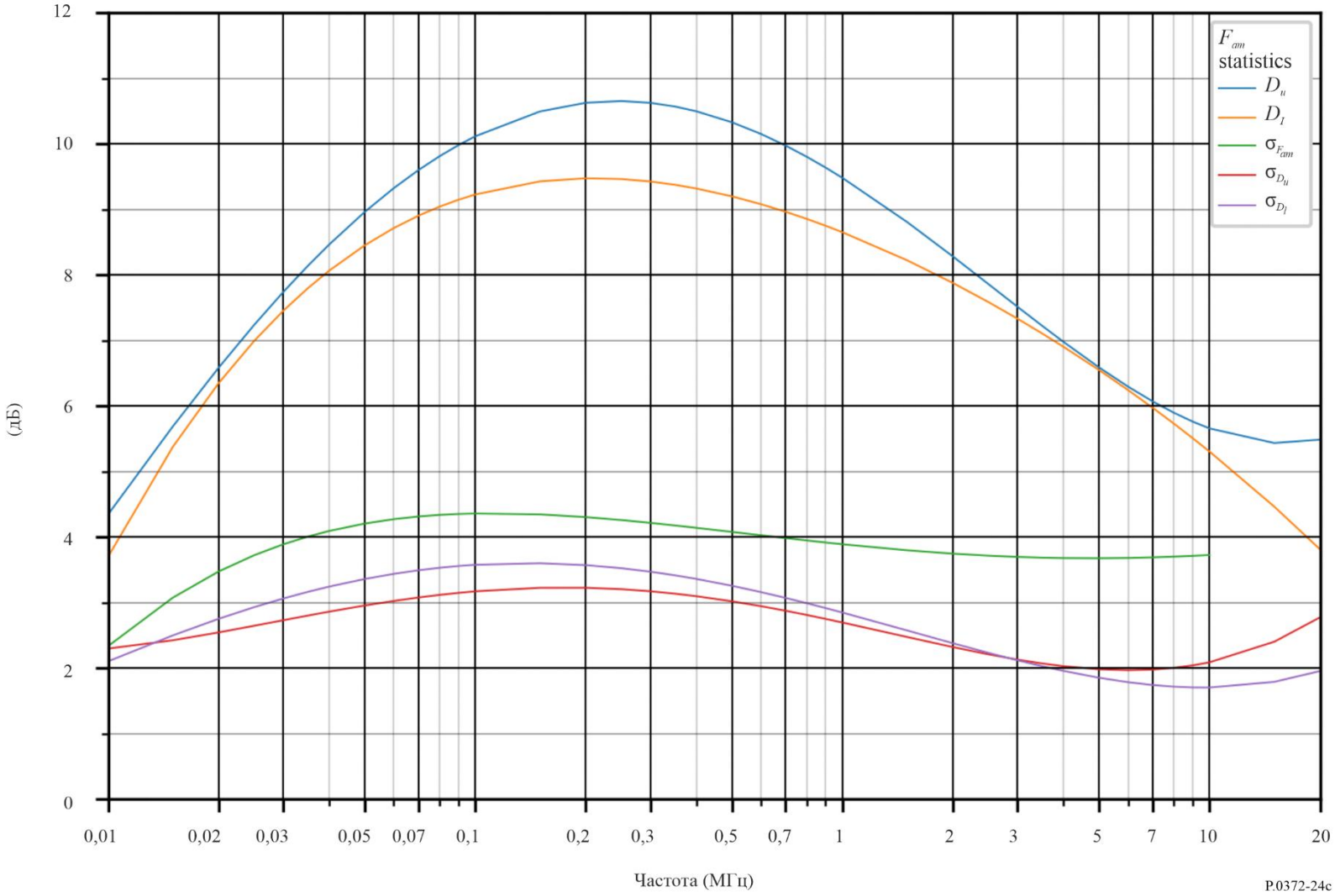
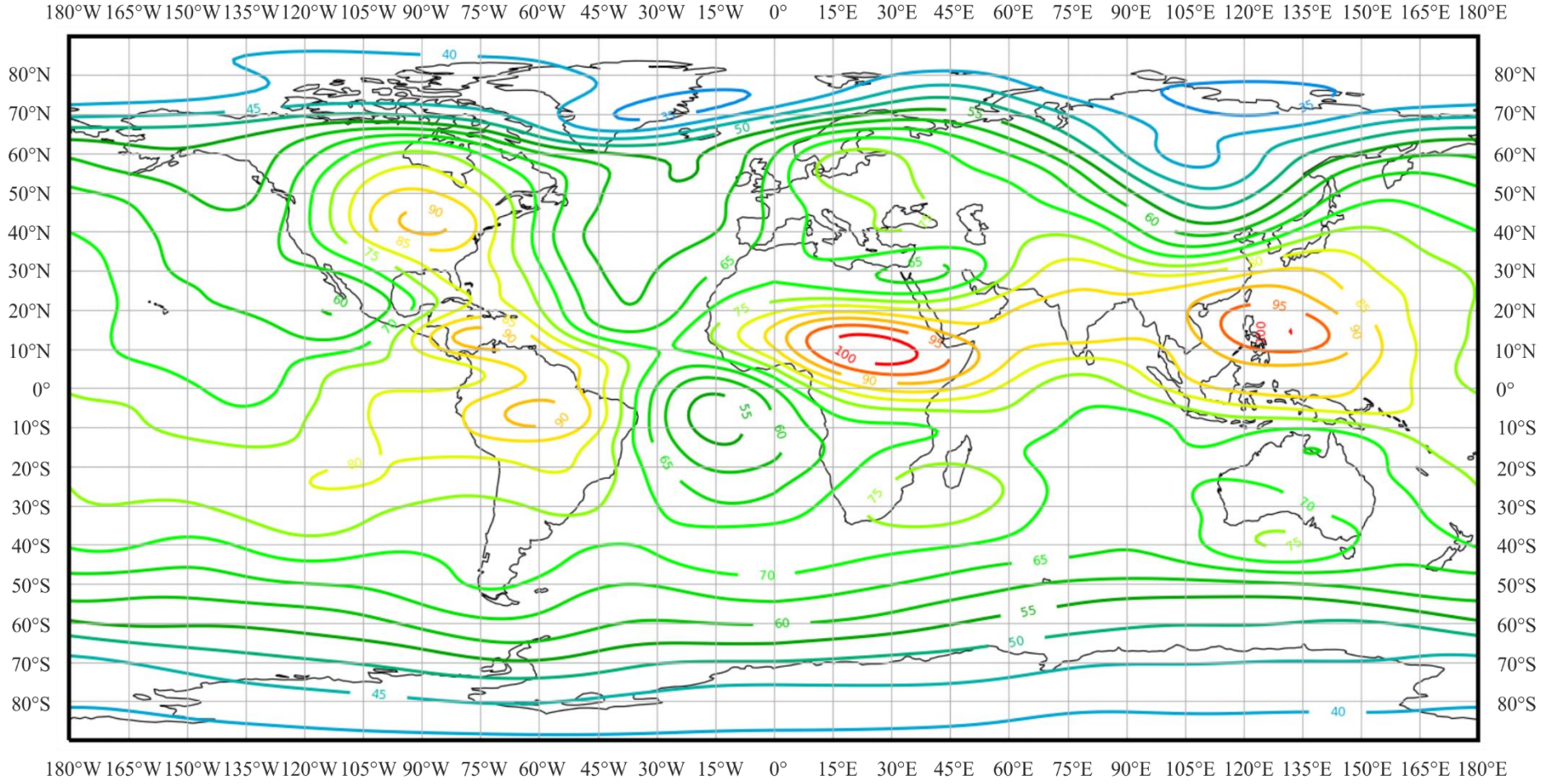


РИСУНОК 25a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (июнь–июль–авг.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-25a

РИСУНОК 25b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

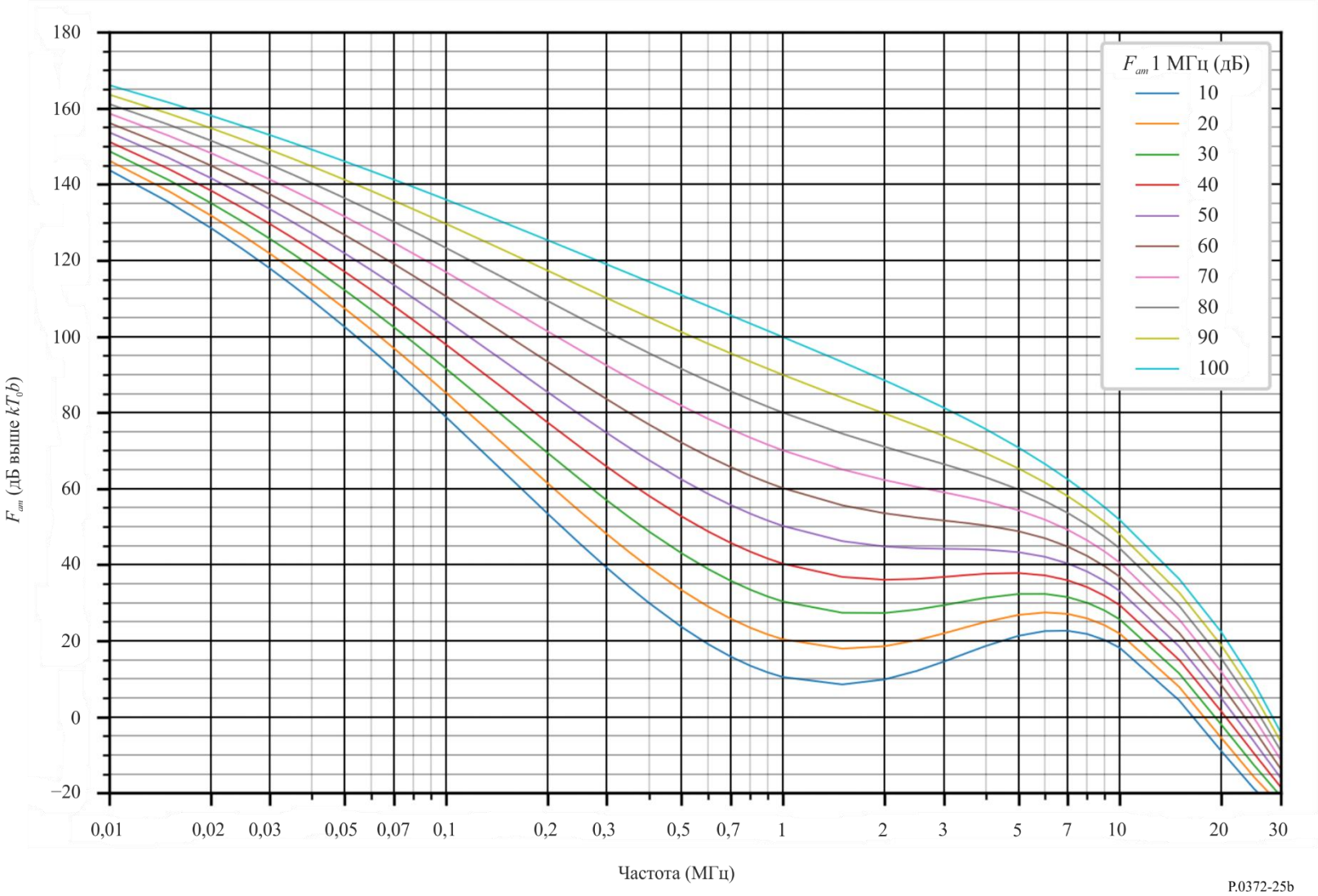


РИСУНОК 25c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

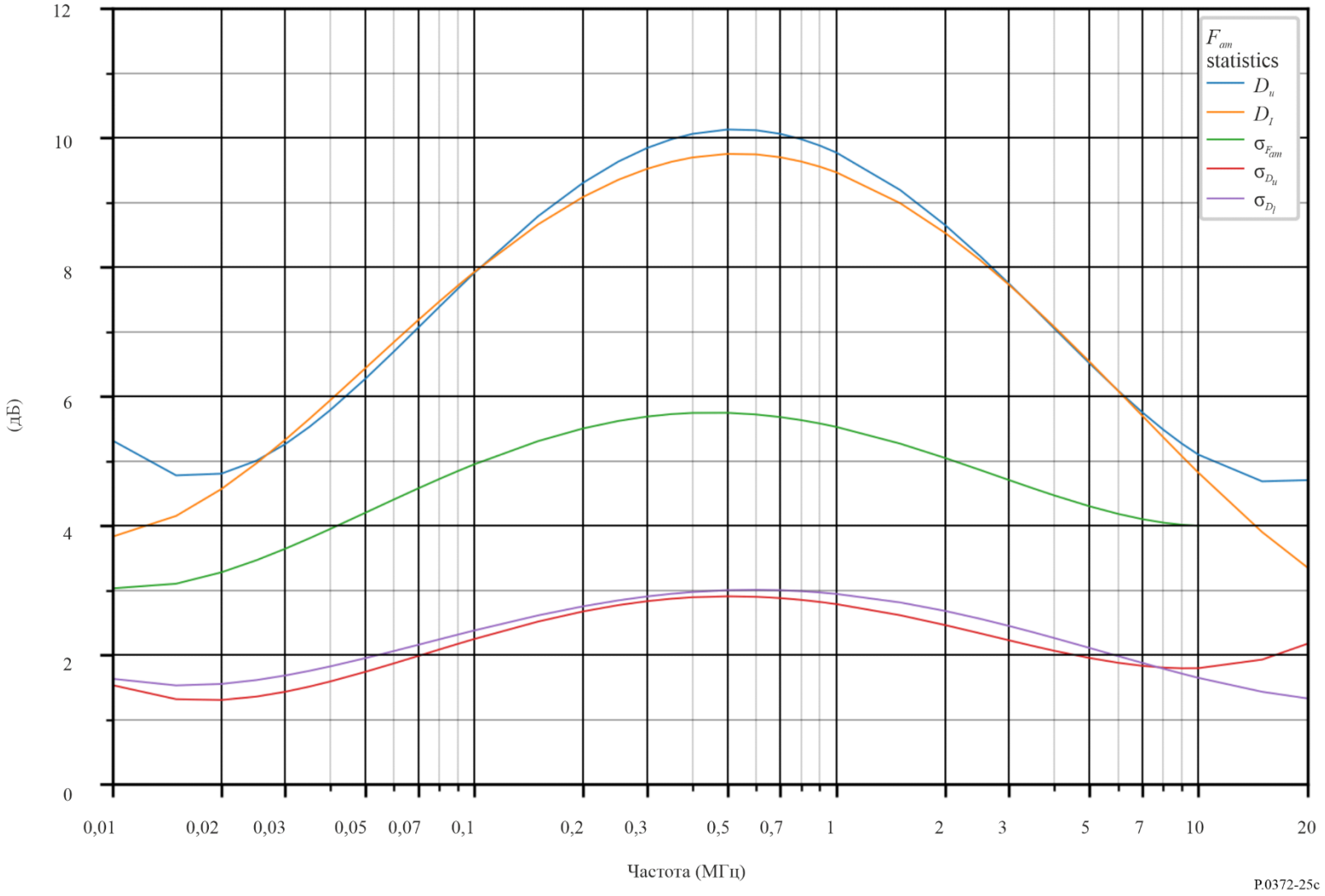
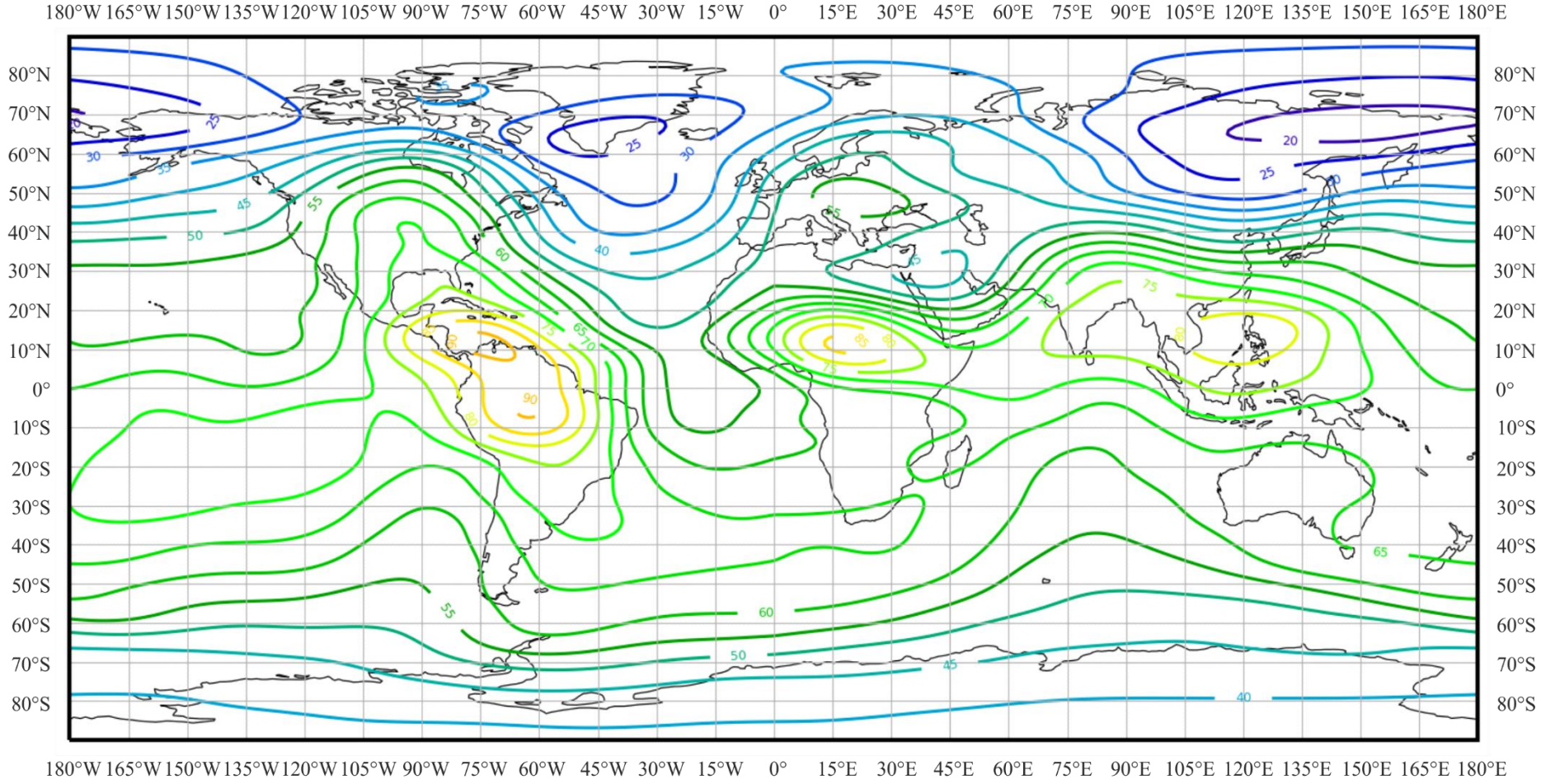


РИСУНОК 26a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (июнь–июль–авг.; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-26a

РИСУНОК 26b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)

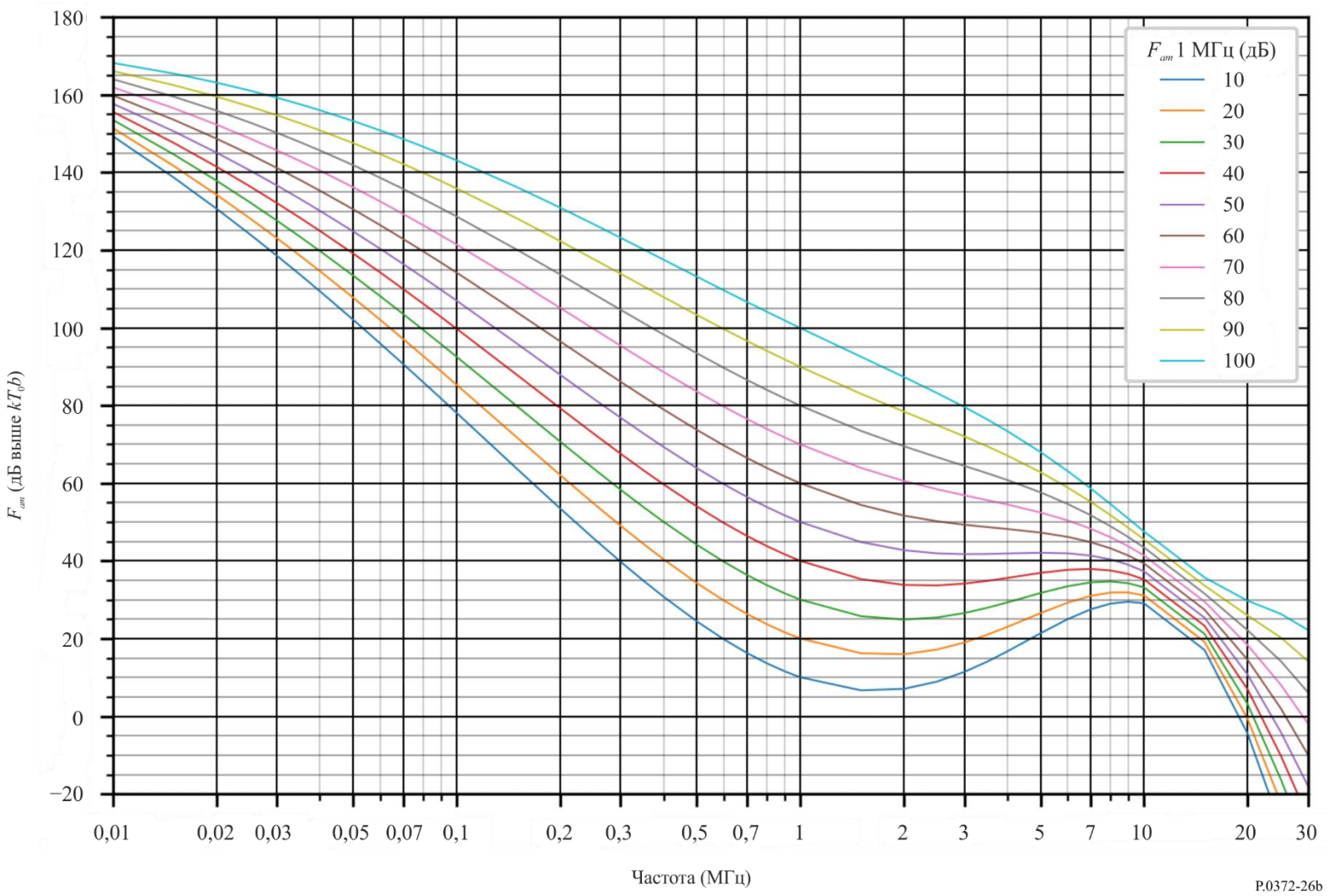


РИСУНОК 26c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.−янв.−февр.; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)

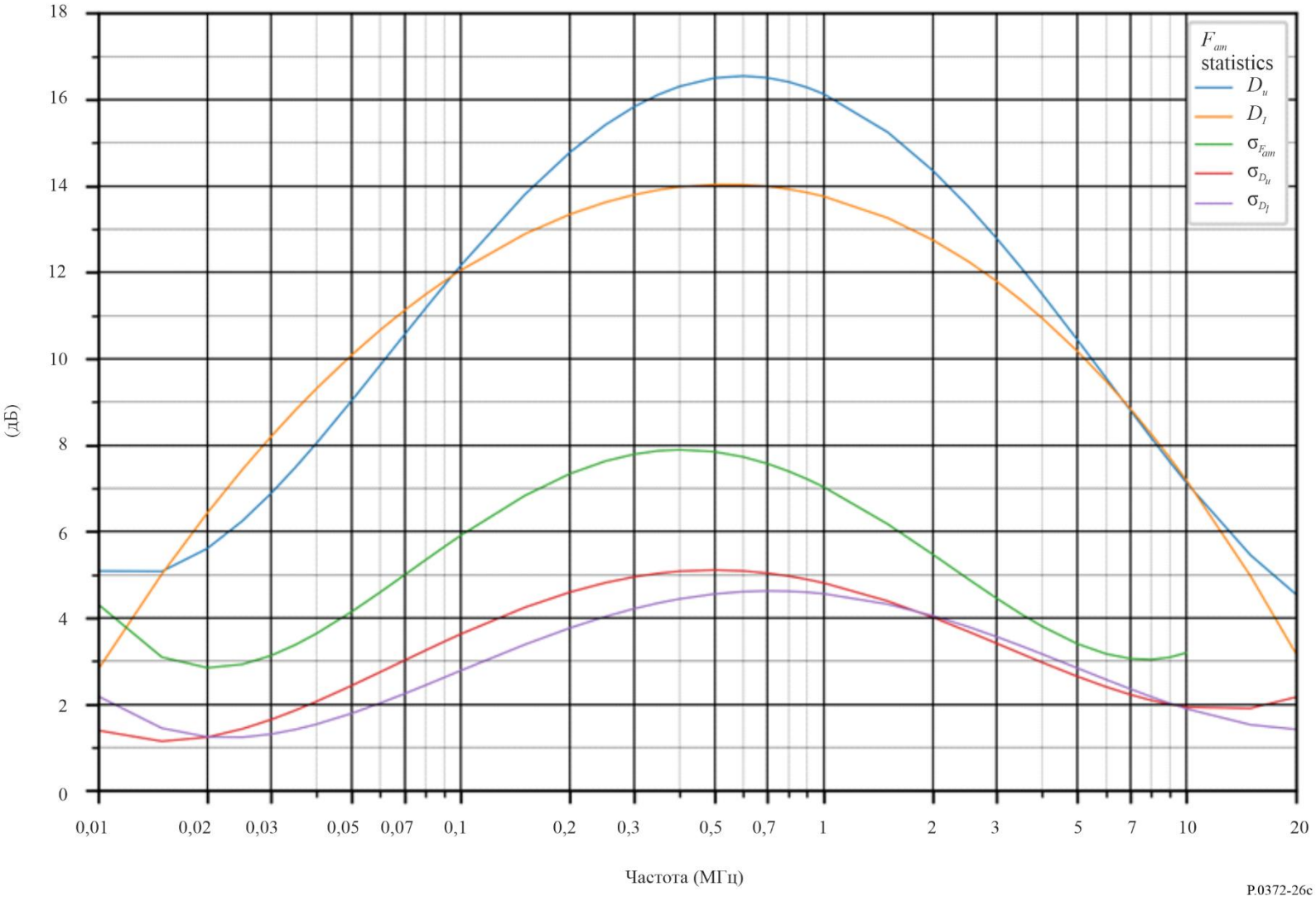
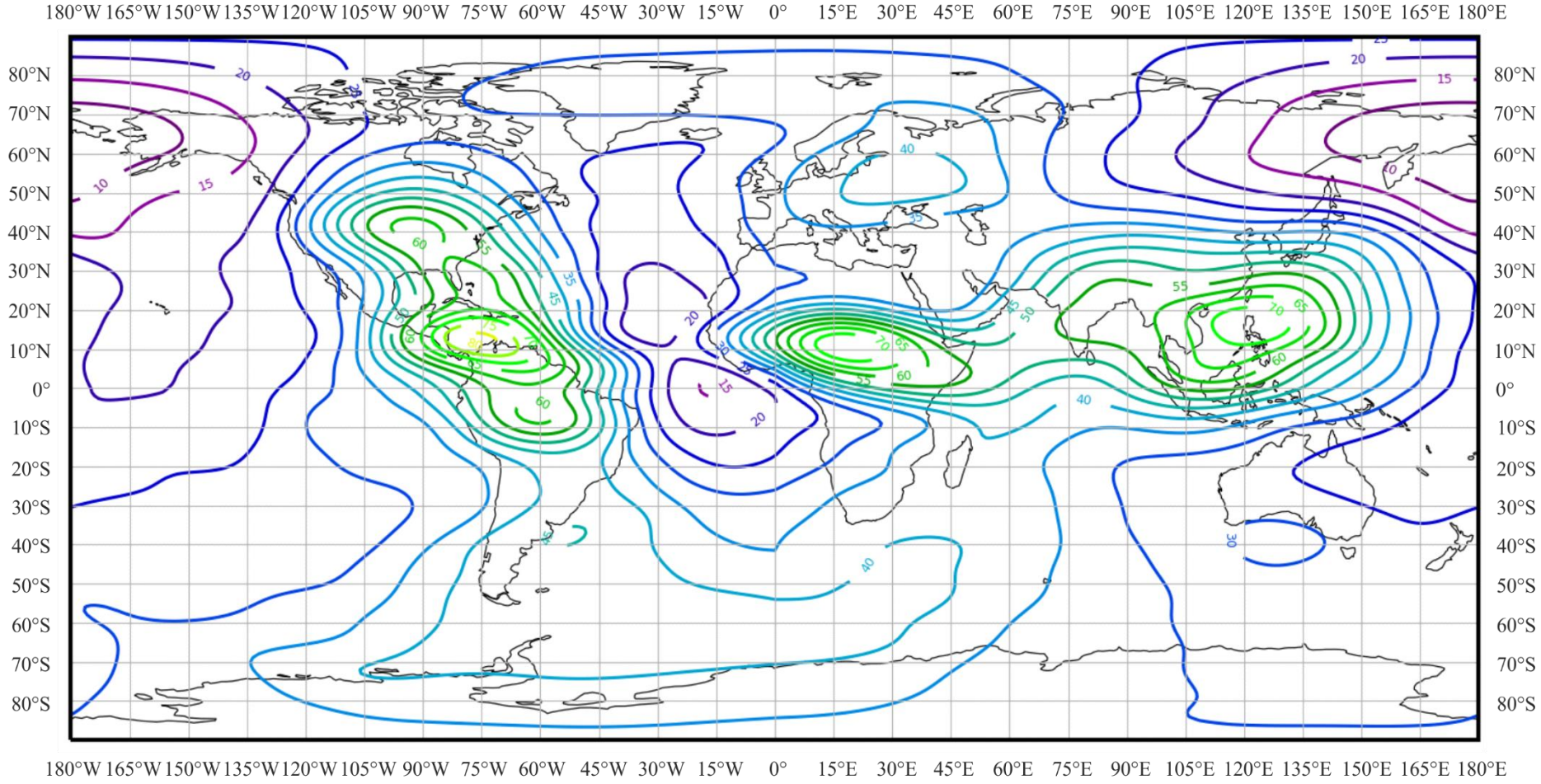


РИСУНОК 27a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (июнь–июль–авг.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-27a

РИСУНОК 27b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)

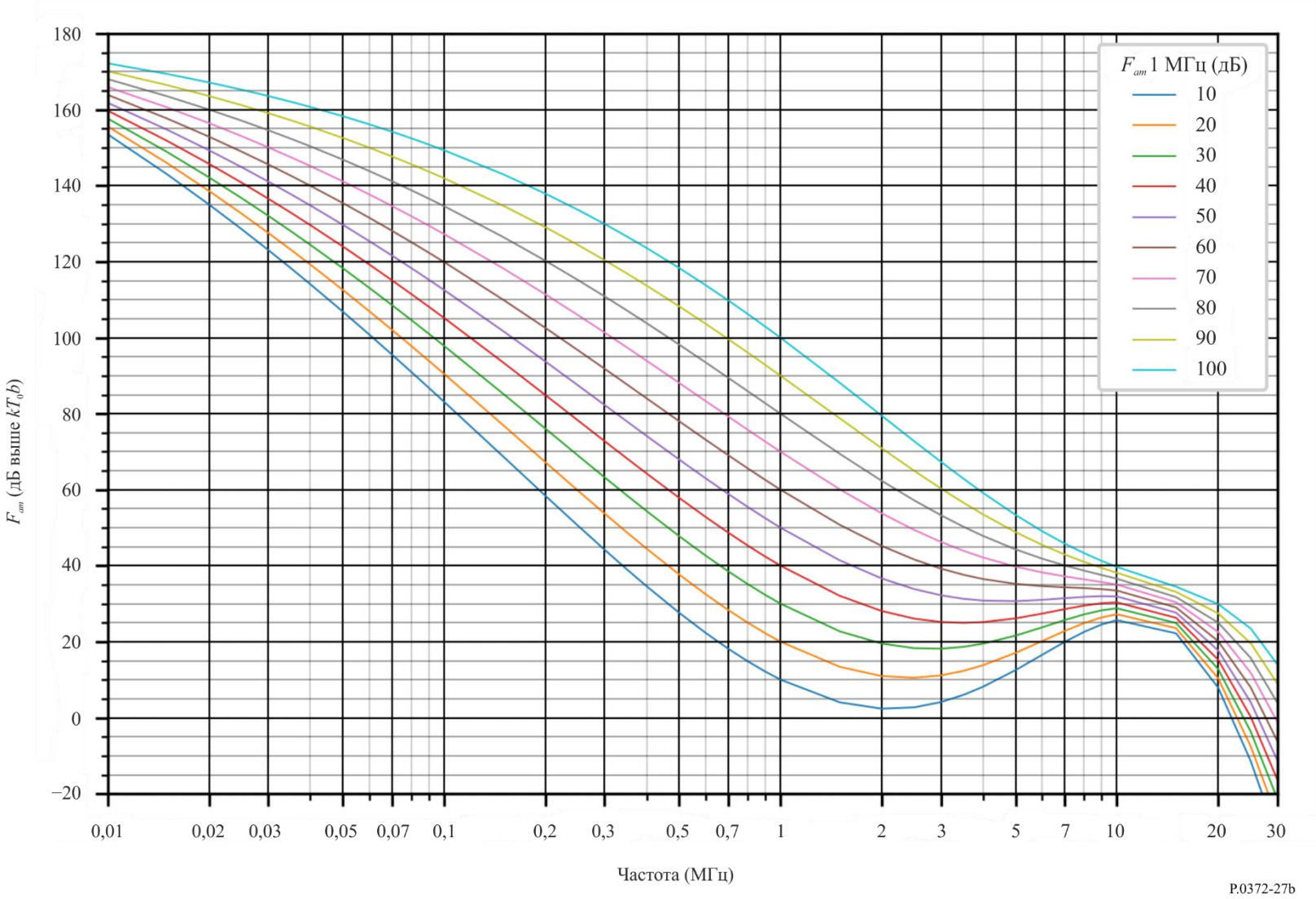


РИСУНОК 27c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)

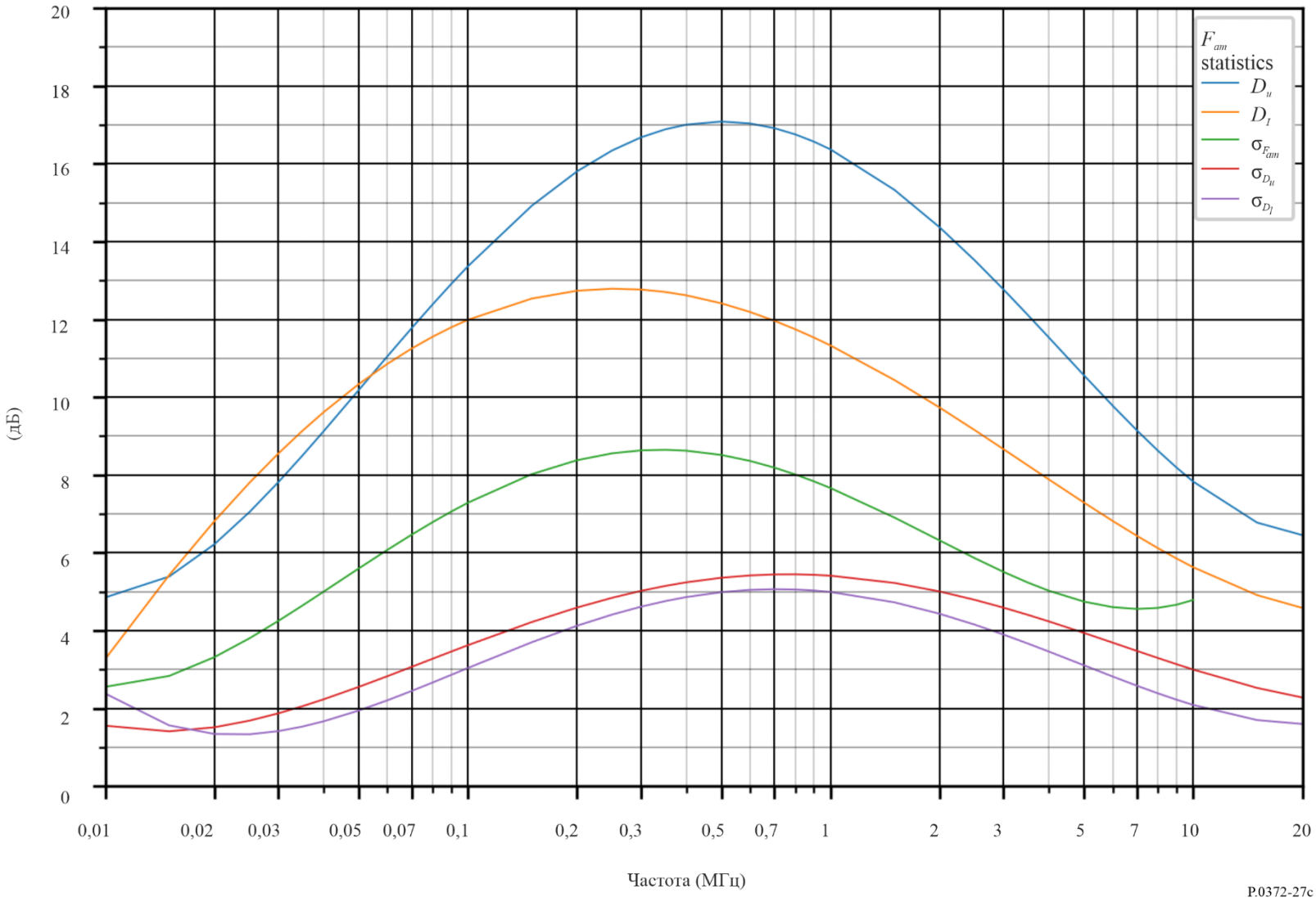
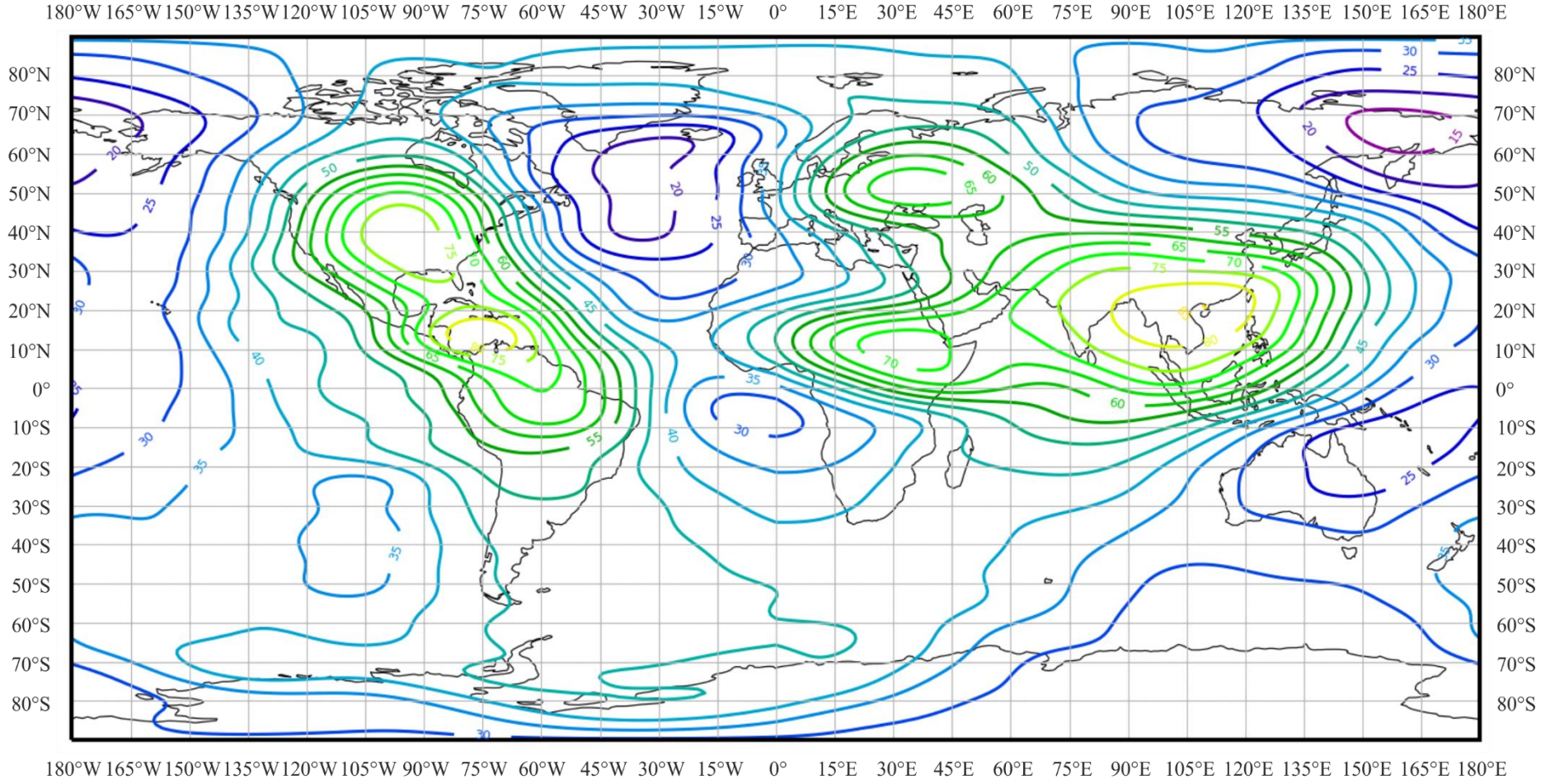


РИСУНОК 28a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (июнь–июль–авг.; 12 час. 00 мин. –16 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-28a

РИСУНОК 28b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 12 час. 00 мин. – 16 час. 00 мин. местного времени)

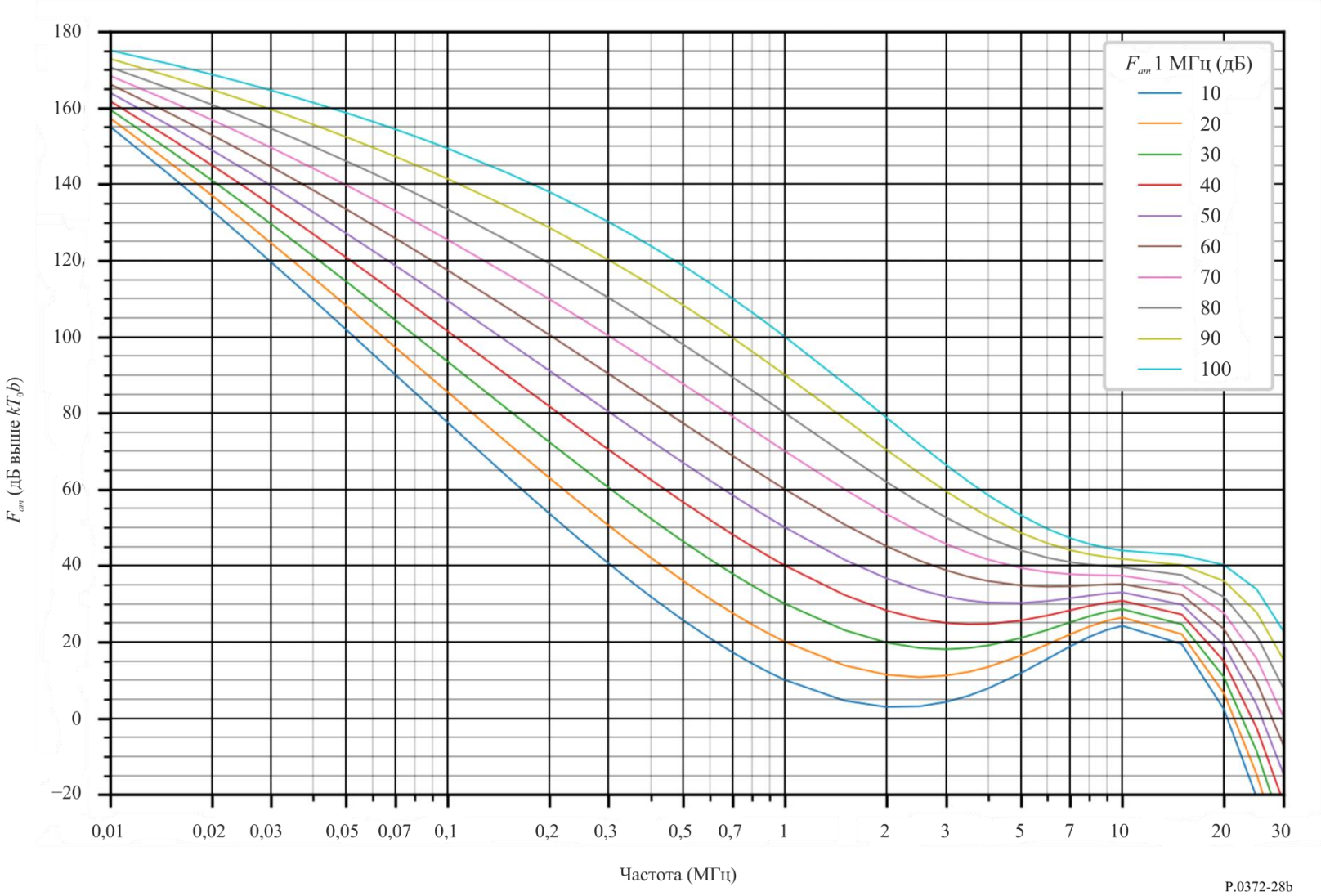


РИСУНОК 28c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 12 час. 00 мин. – 16 час. 00 мин. местного времени)

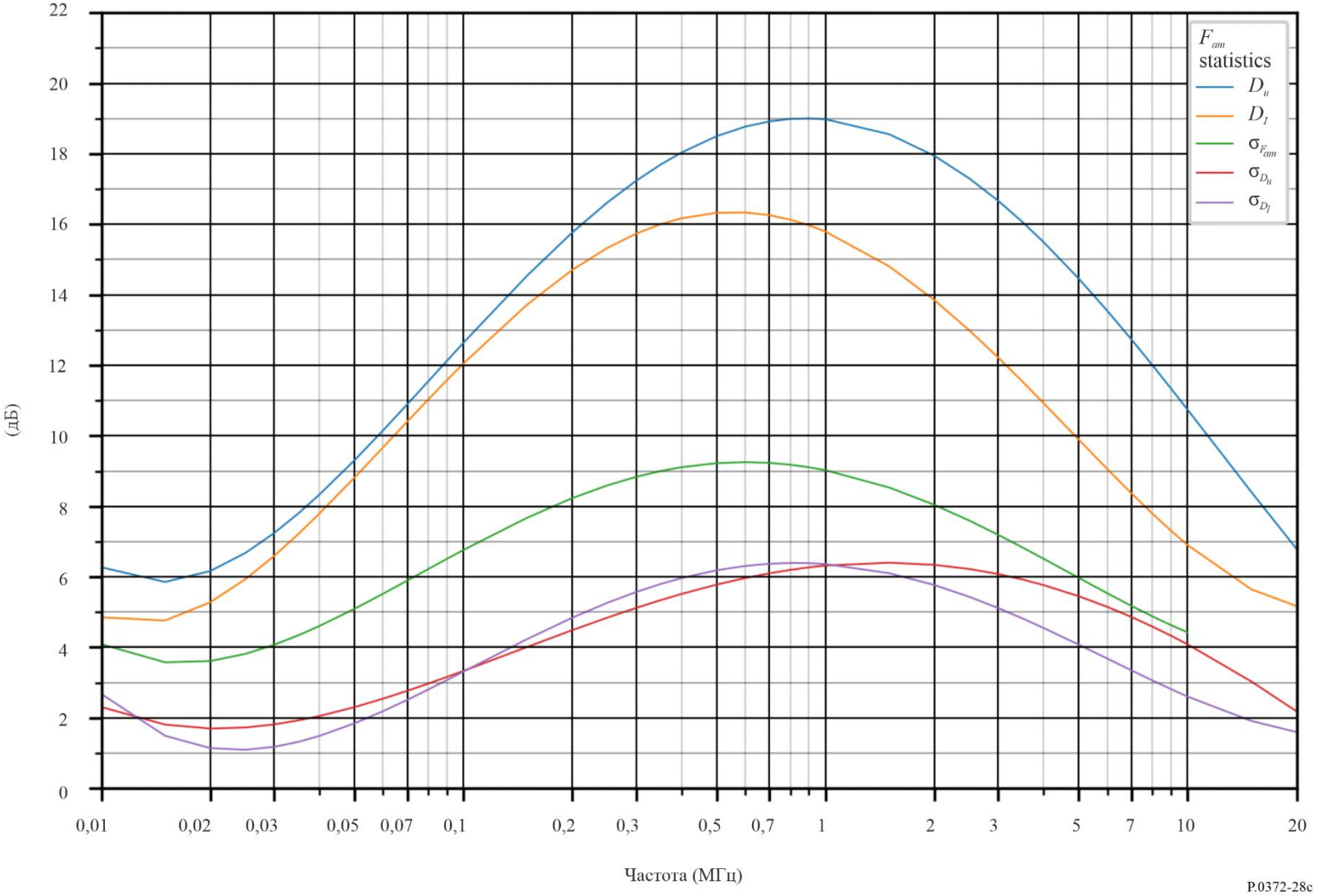
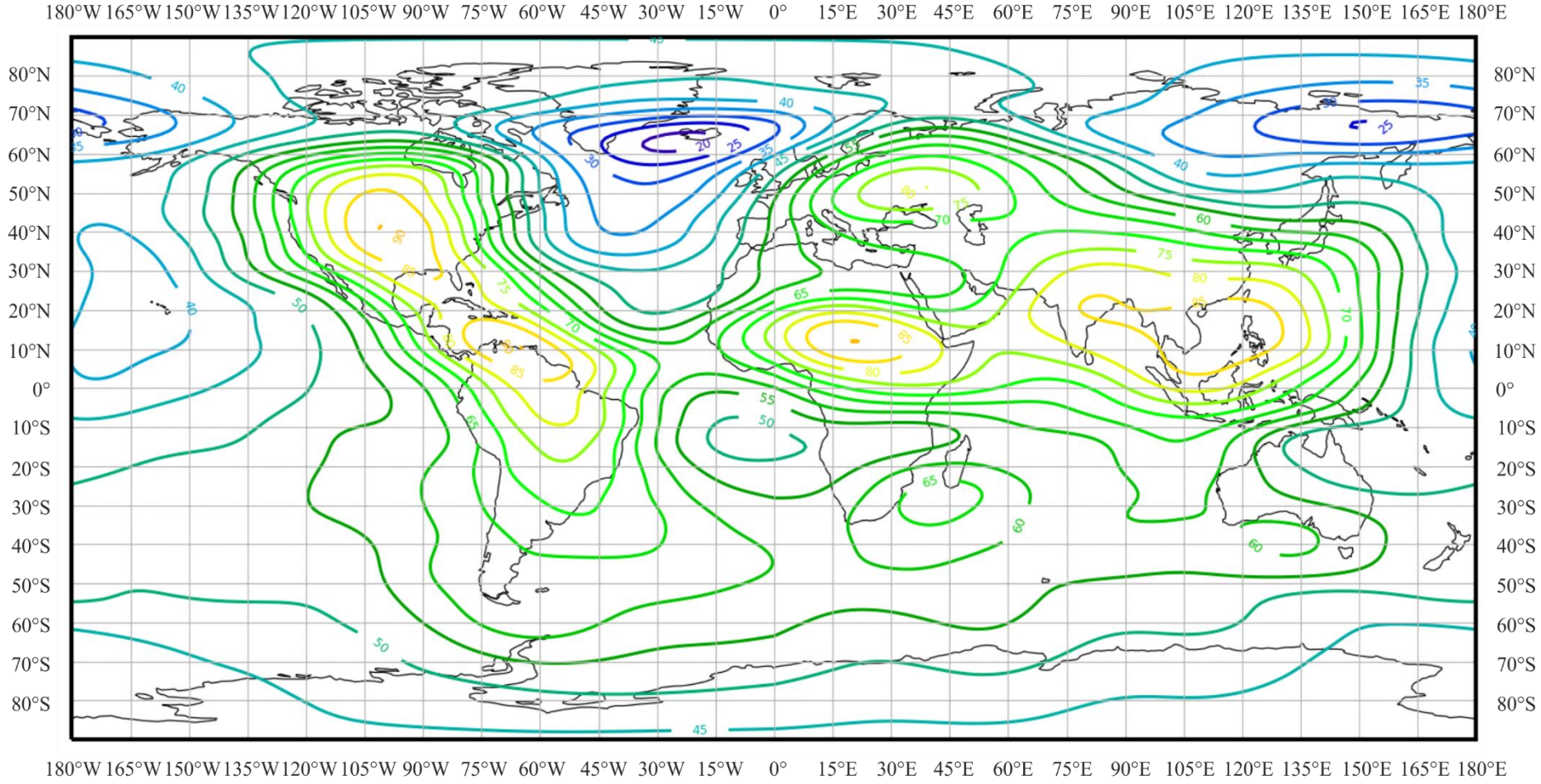


РИСУНОК 29a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (июнь–июль–авг.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-29a

РИСУНОК 29b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)

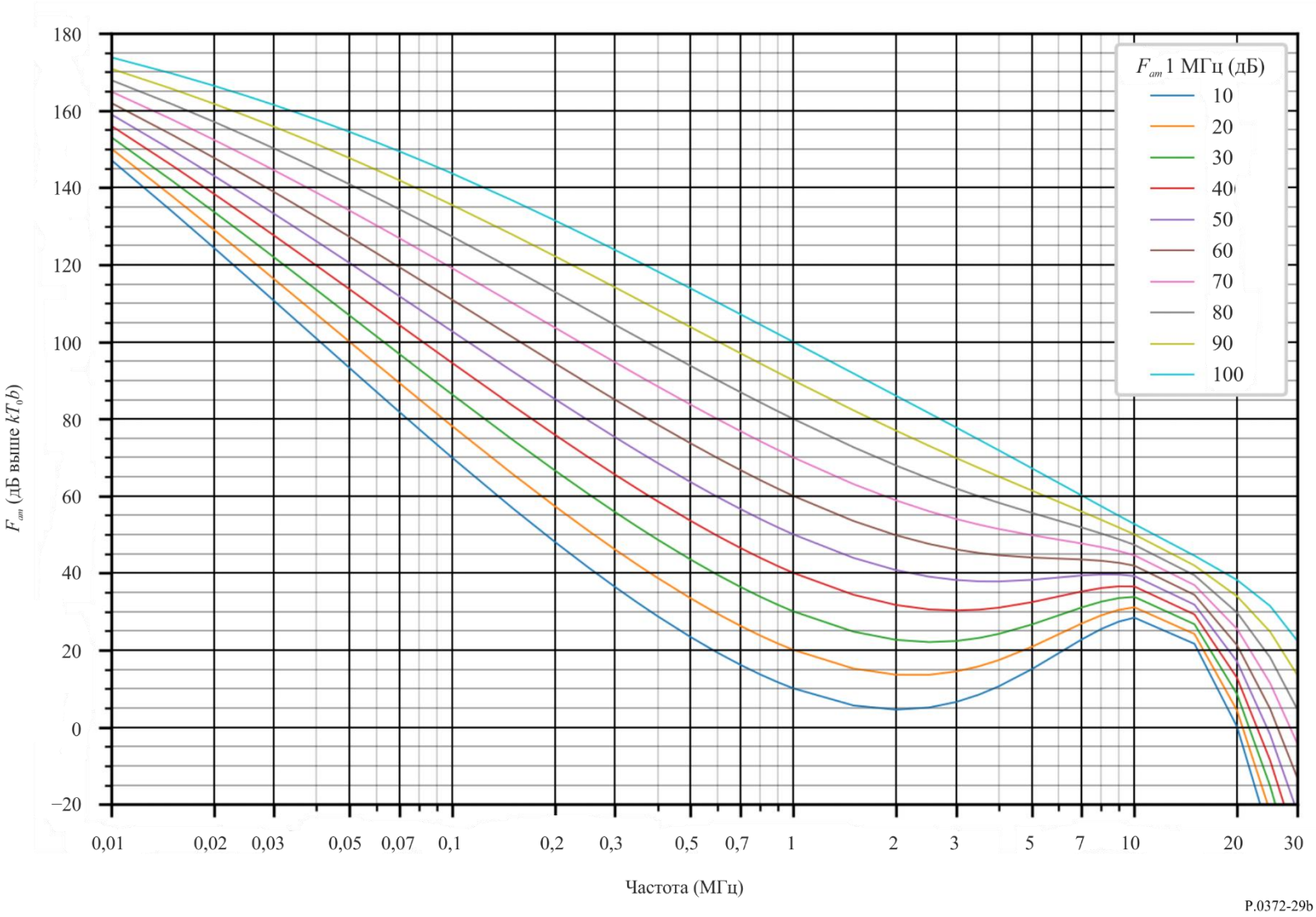


РИСУНОК 29c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)

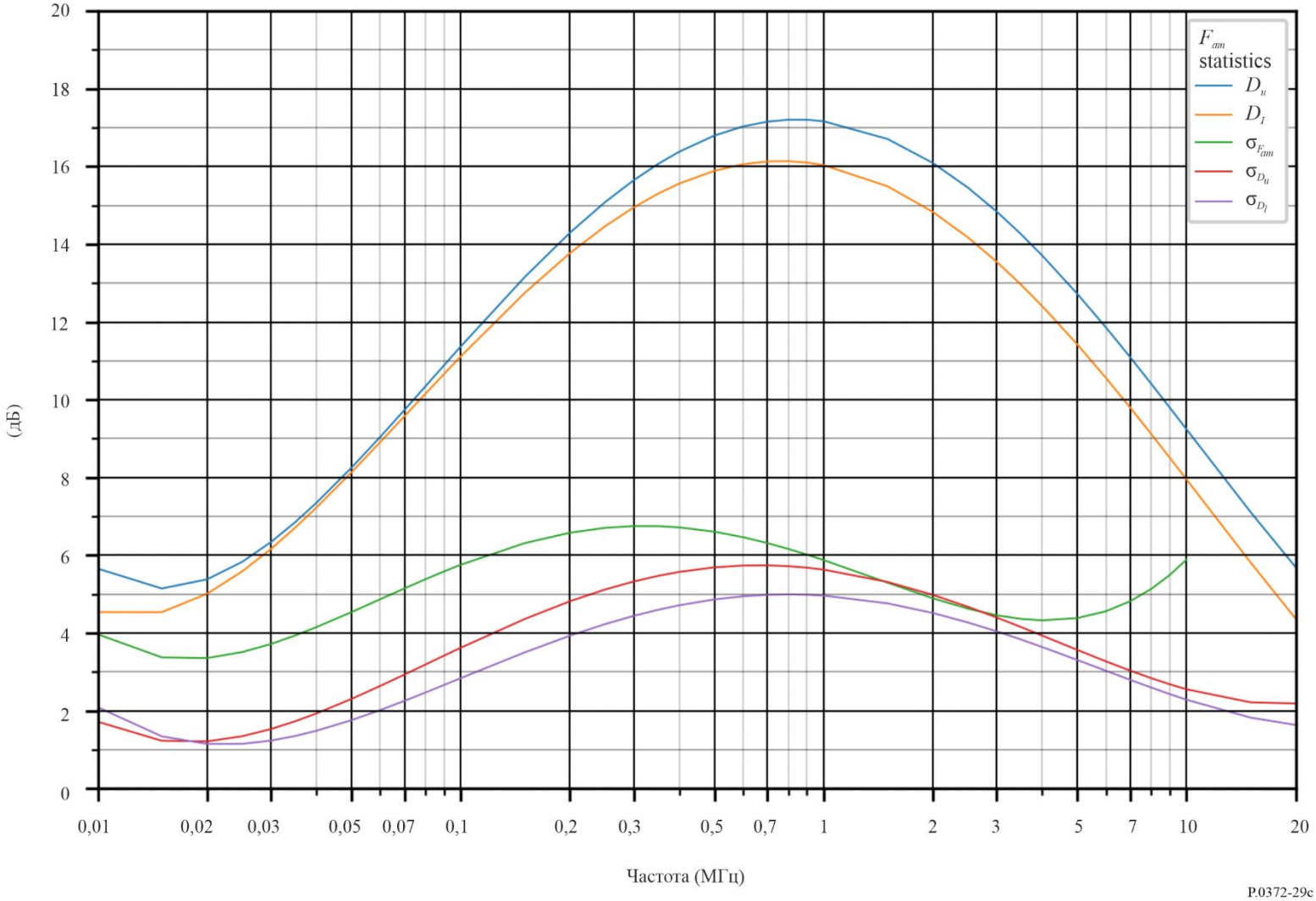


РИСУНОК 30a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (июнь–июль–авг.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

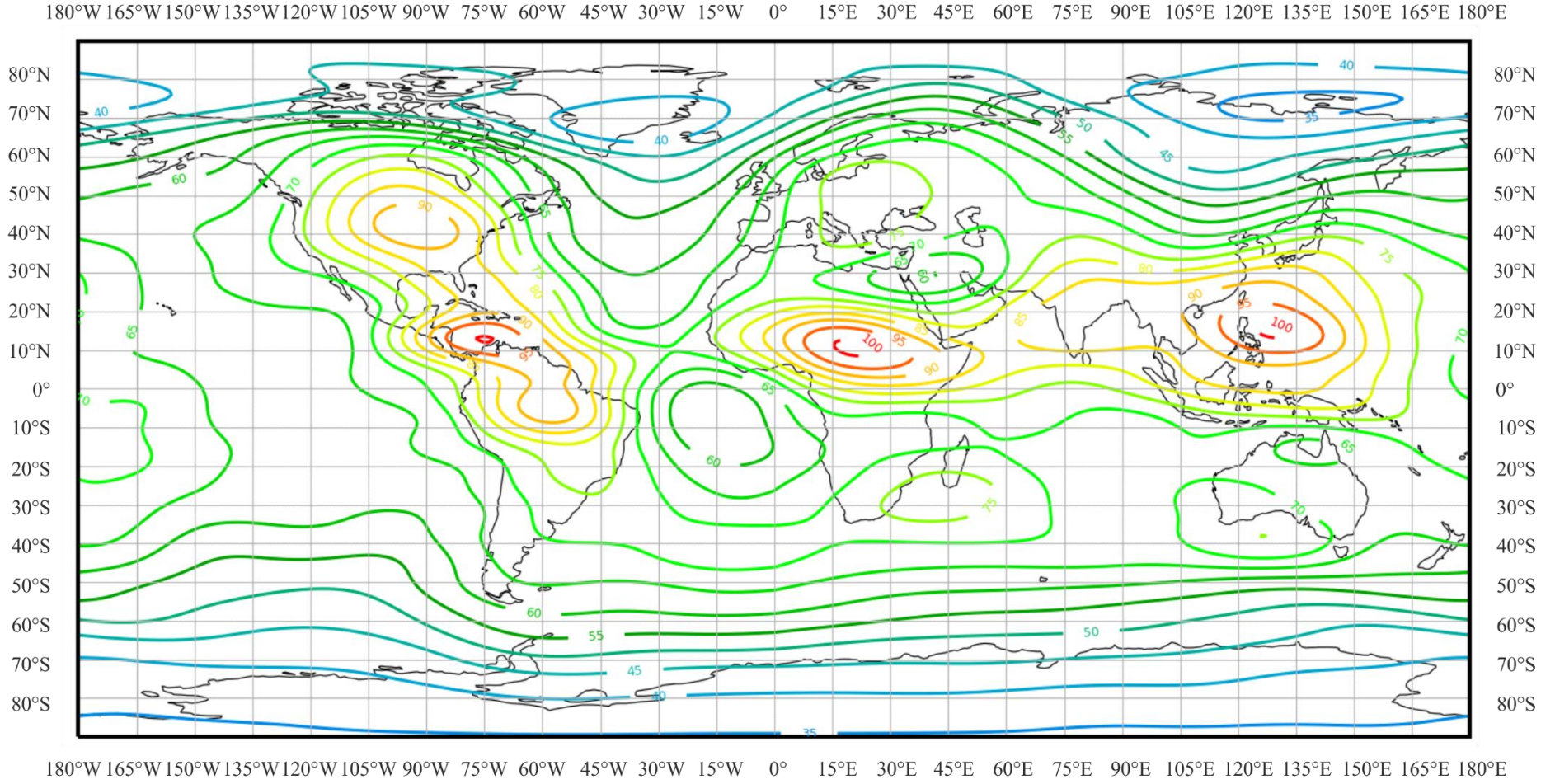


РИСУНОК 30b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

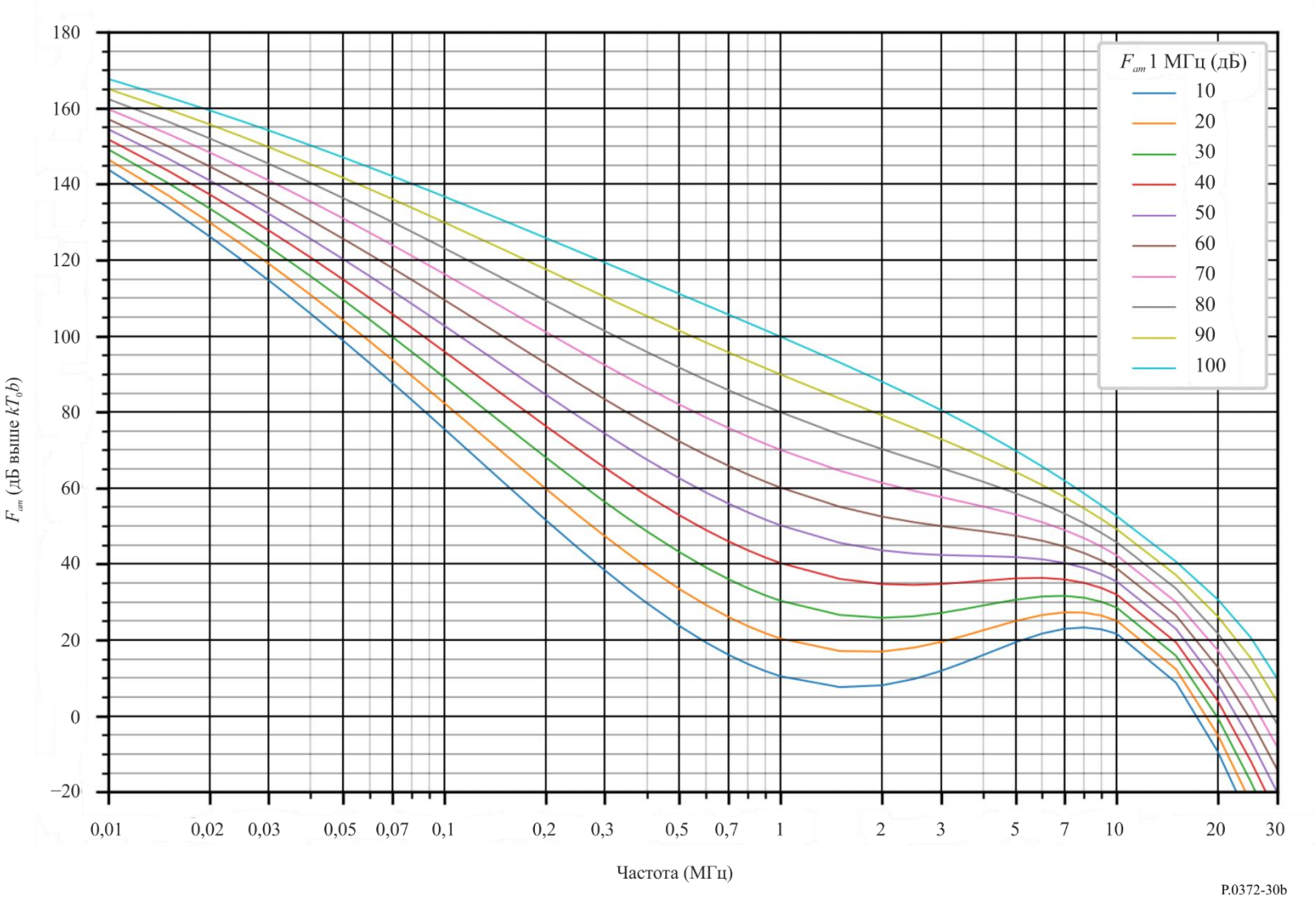


РИСУНОК 30c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: июнь–июль–авг.; Южное полушарие: дек.–янв.–февр.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

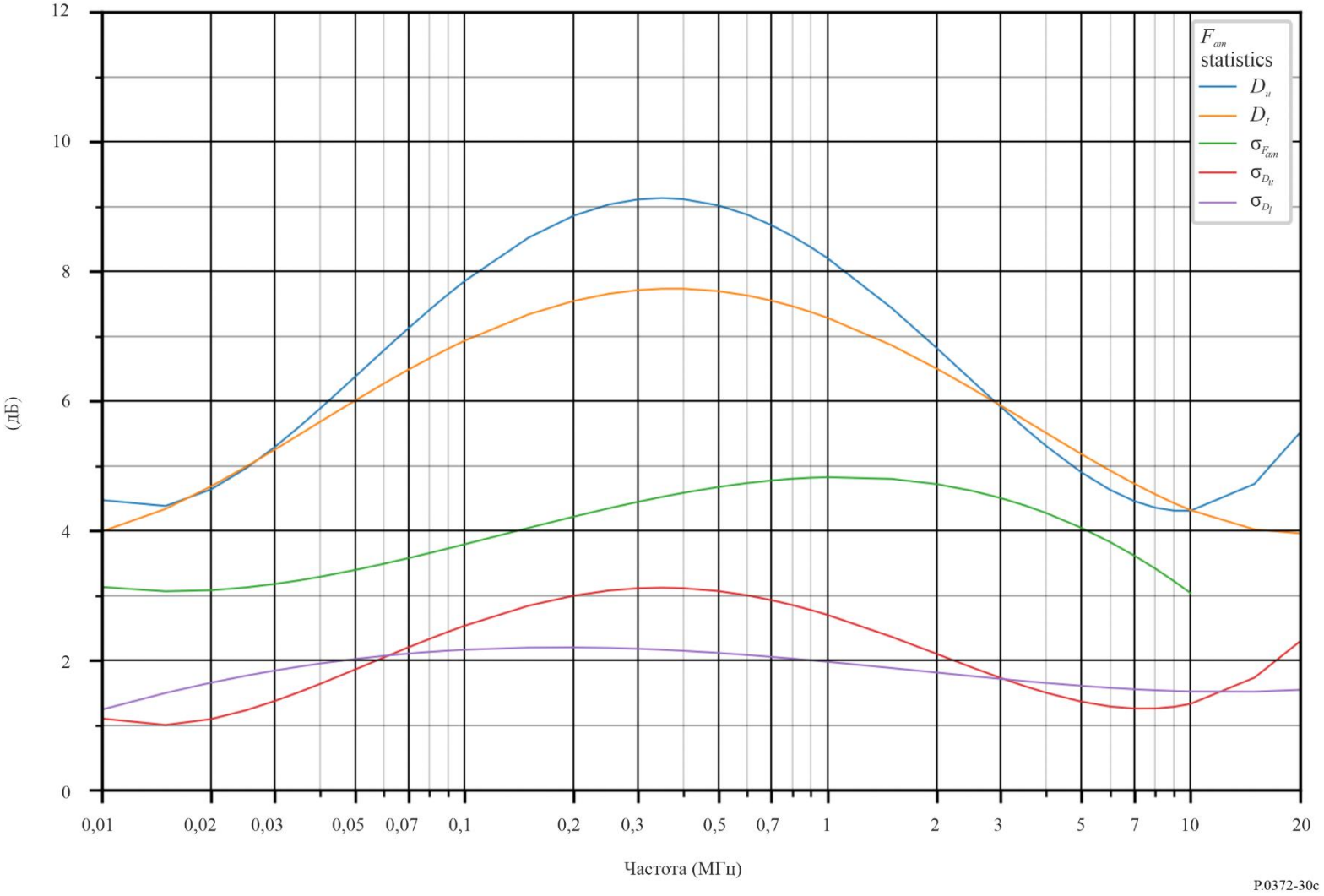
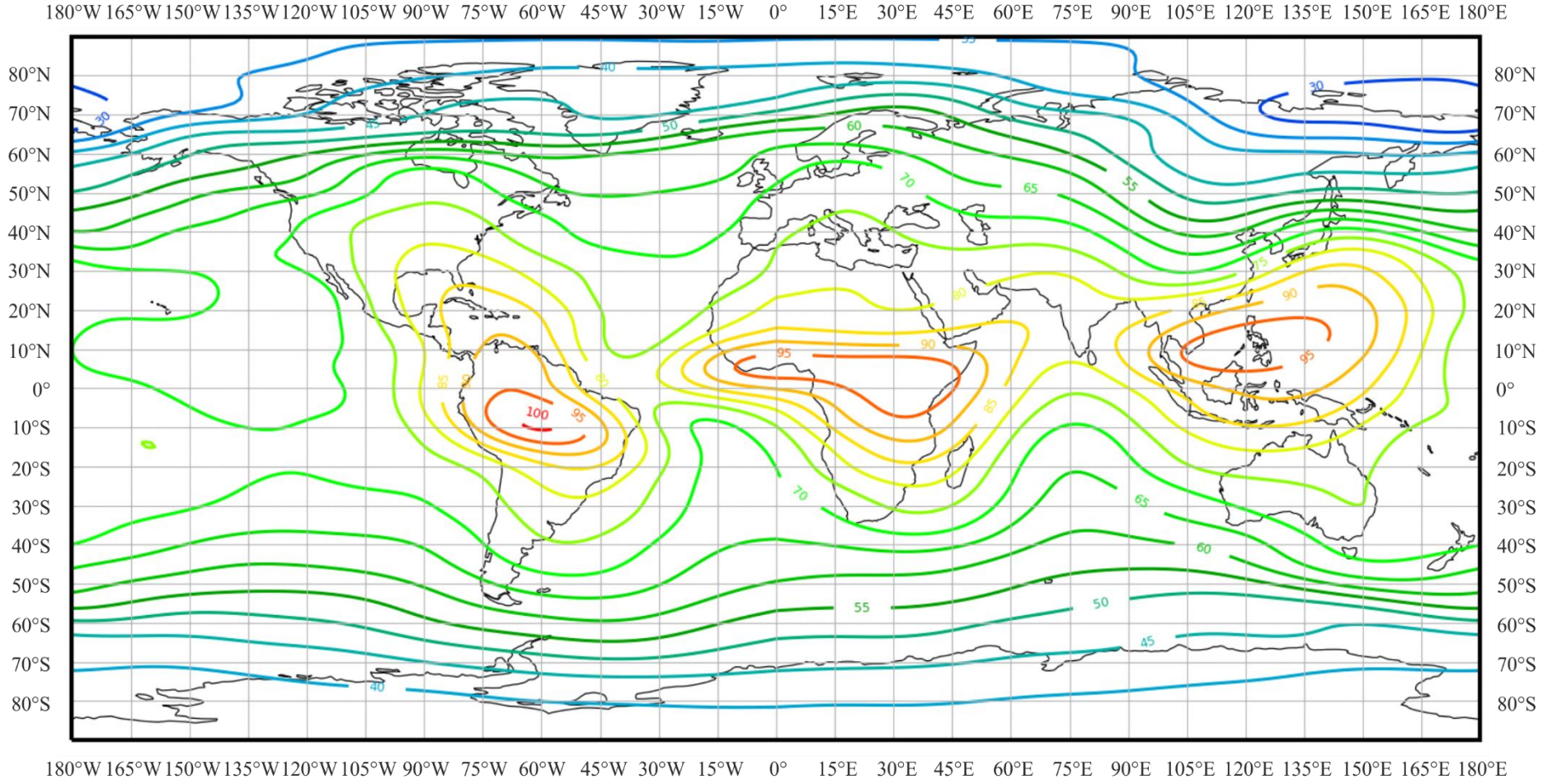


РИСУНОК 31a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (сент.–окт.–нояб.; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-31a

РИСУНОК 31b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

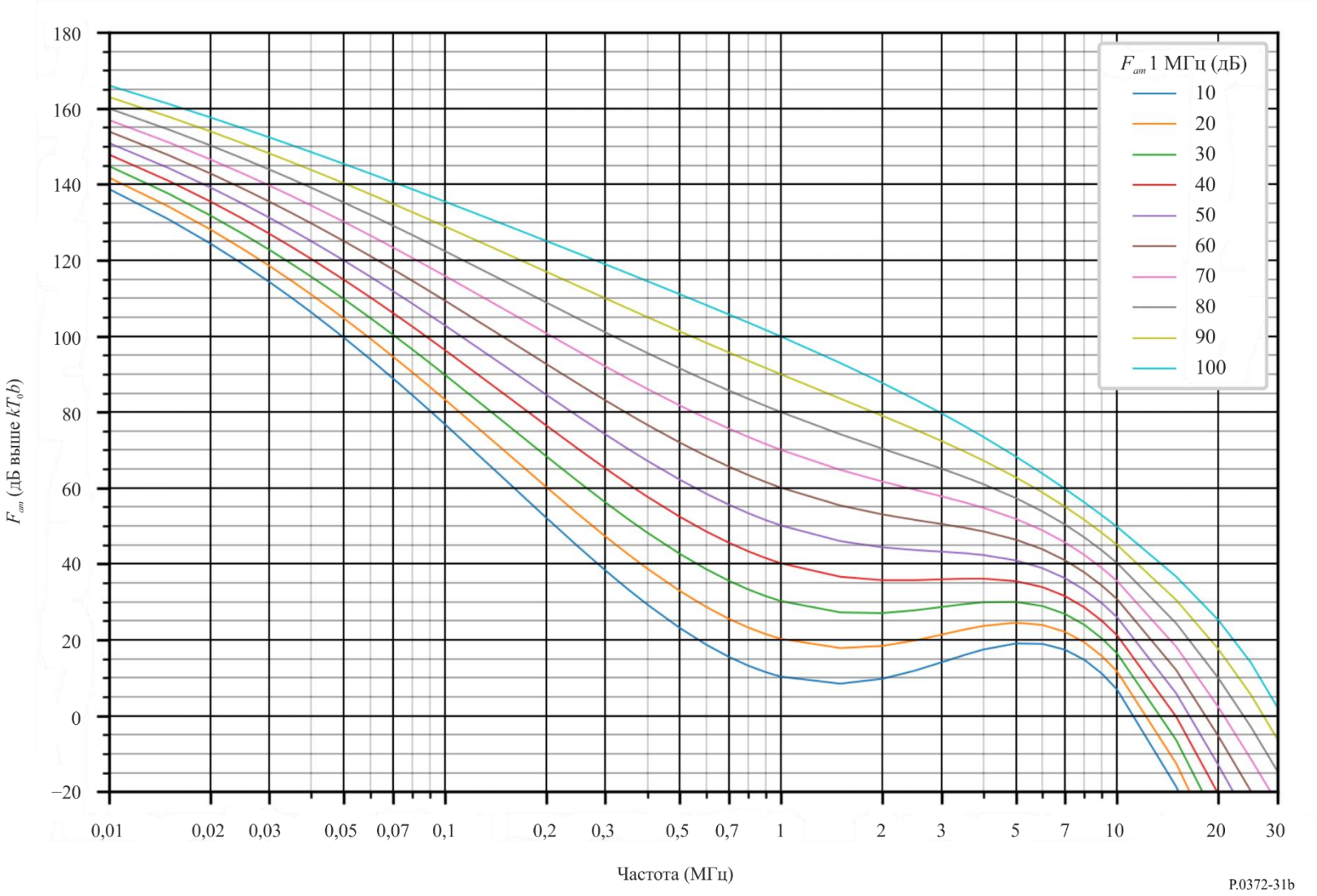


РИСУНОК 31c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 00 час. 00 мин. – 04 час. 00 мин. местного времени)

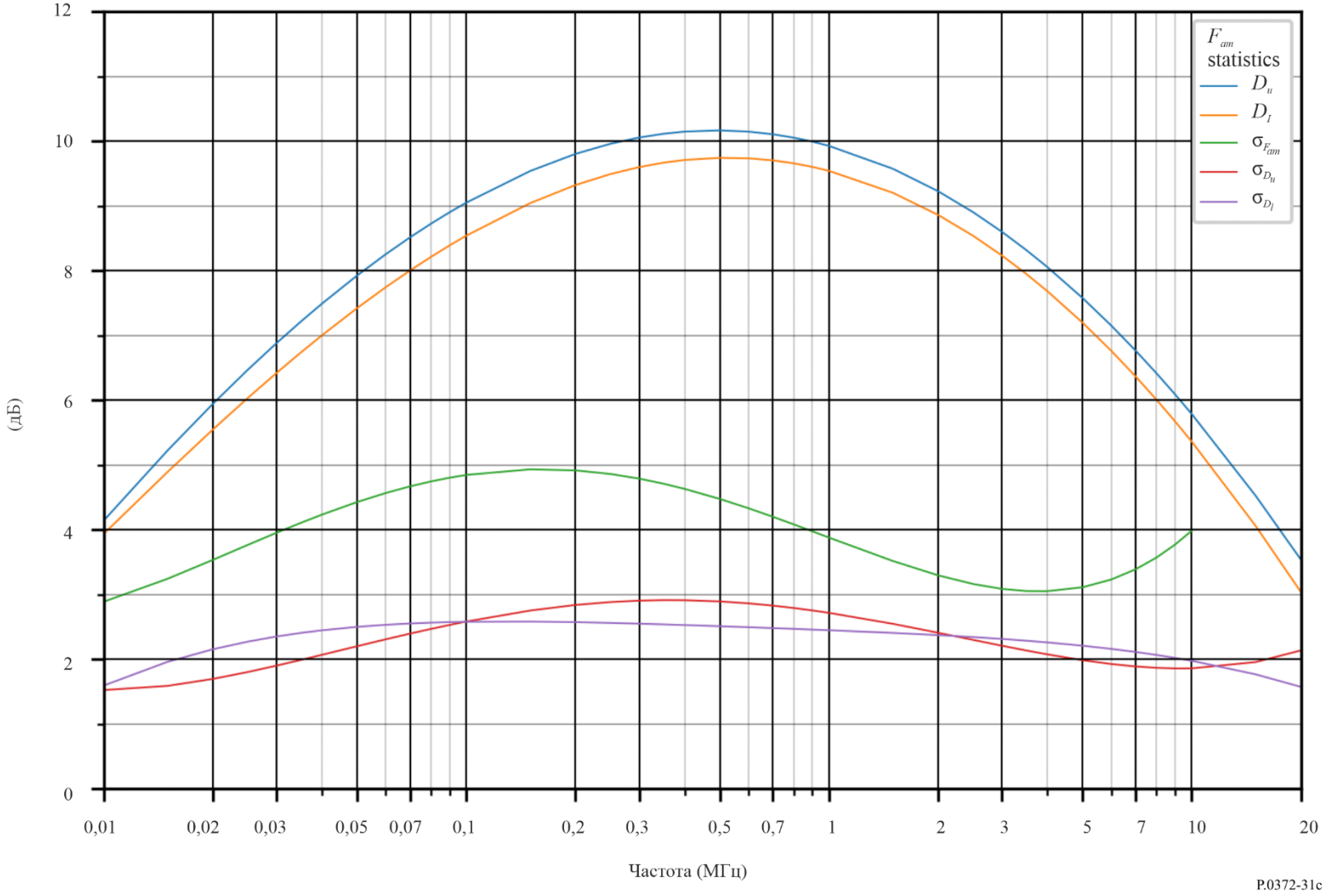
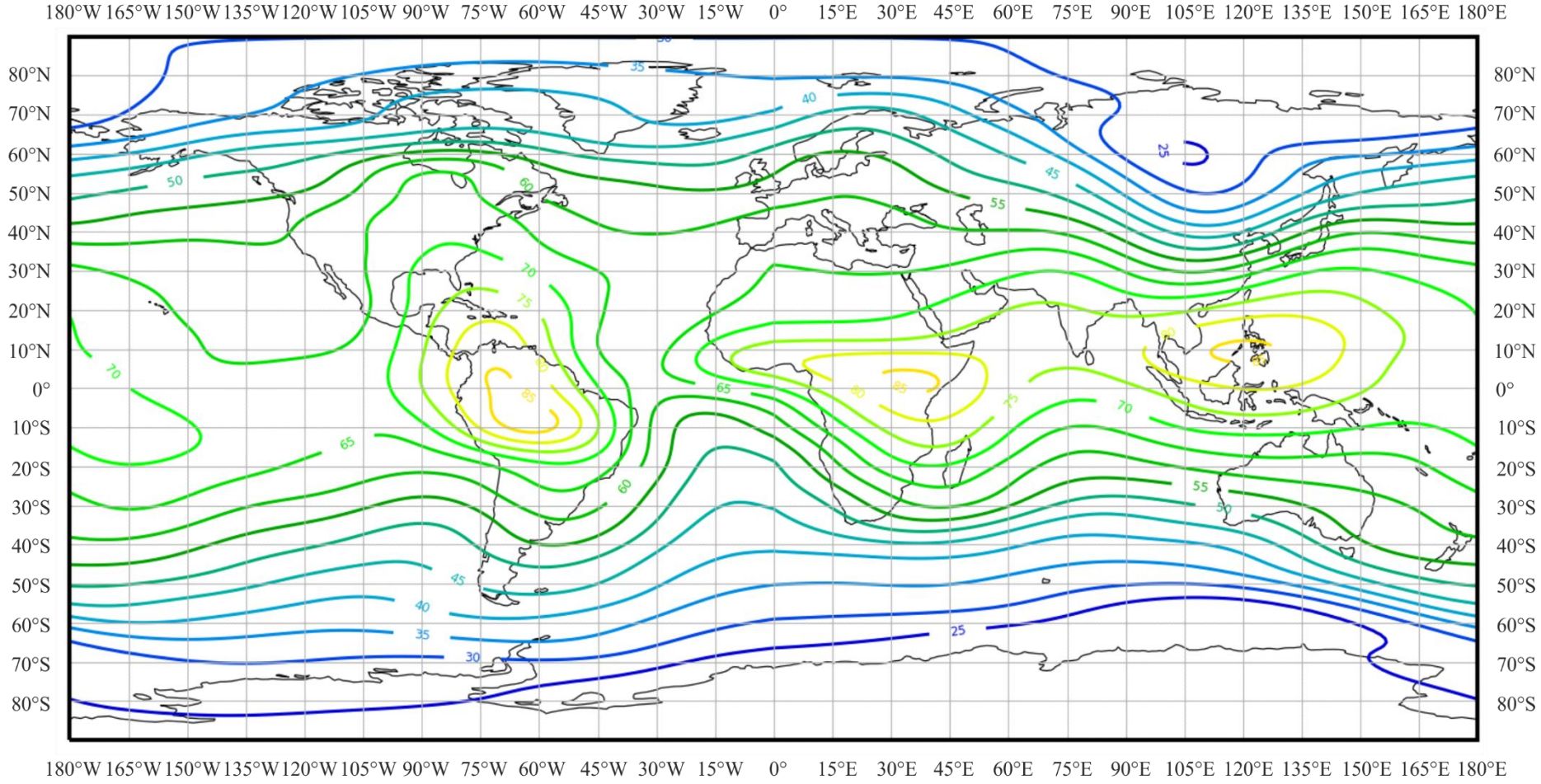


РИСУНОК 32a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (сент.–окт.–нояб.; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-32a

РИСУНОК 32b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)

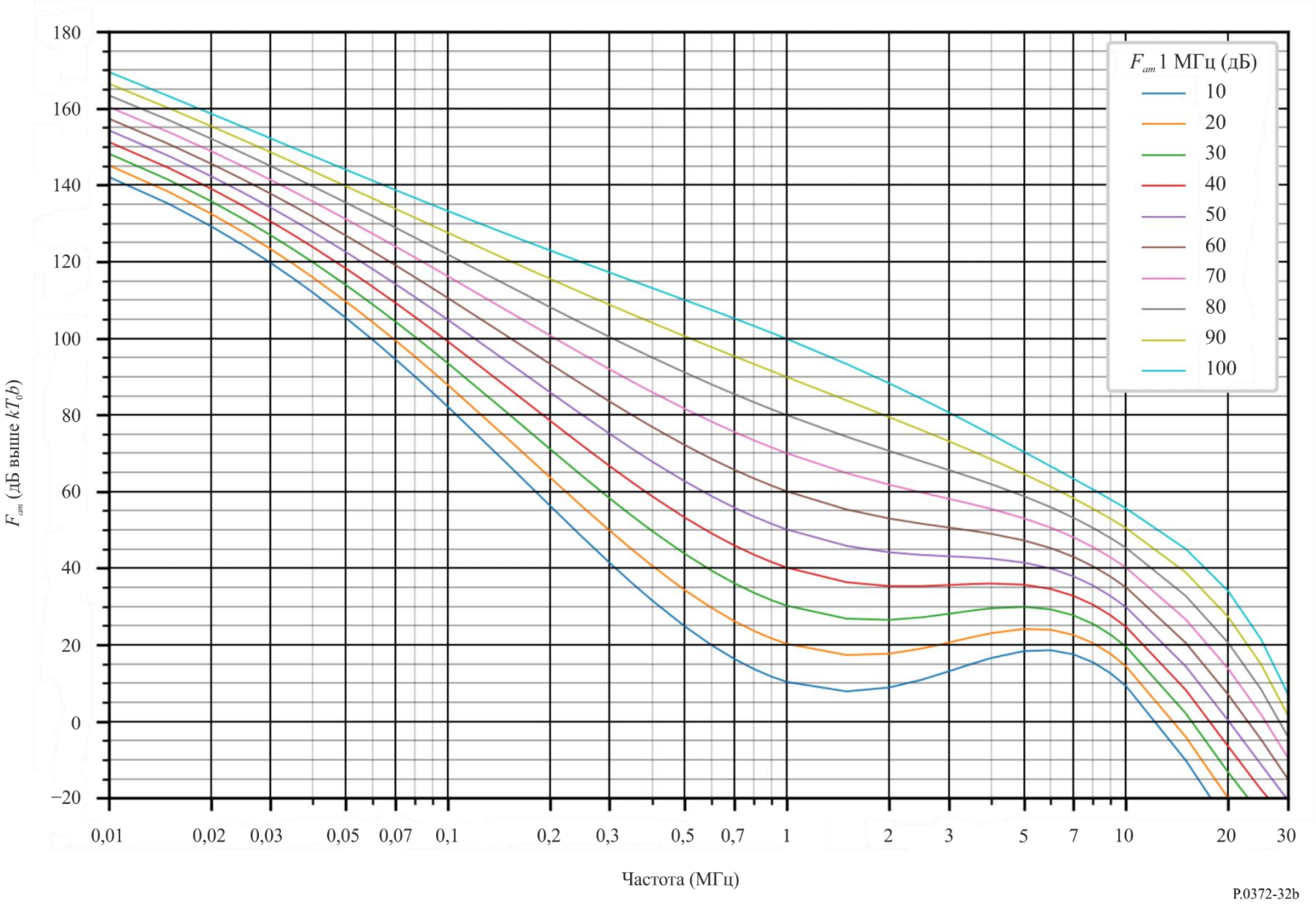


РИСУНОК 32c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 04 час. 00 мин. – 08 час. 00 мин. местного времени)

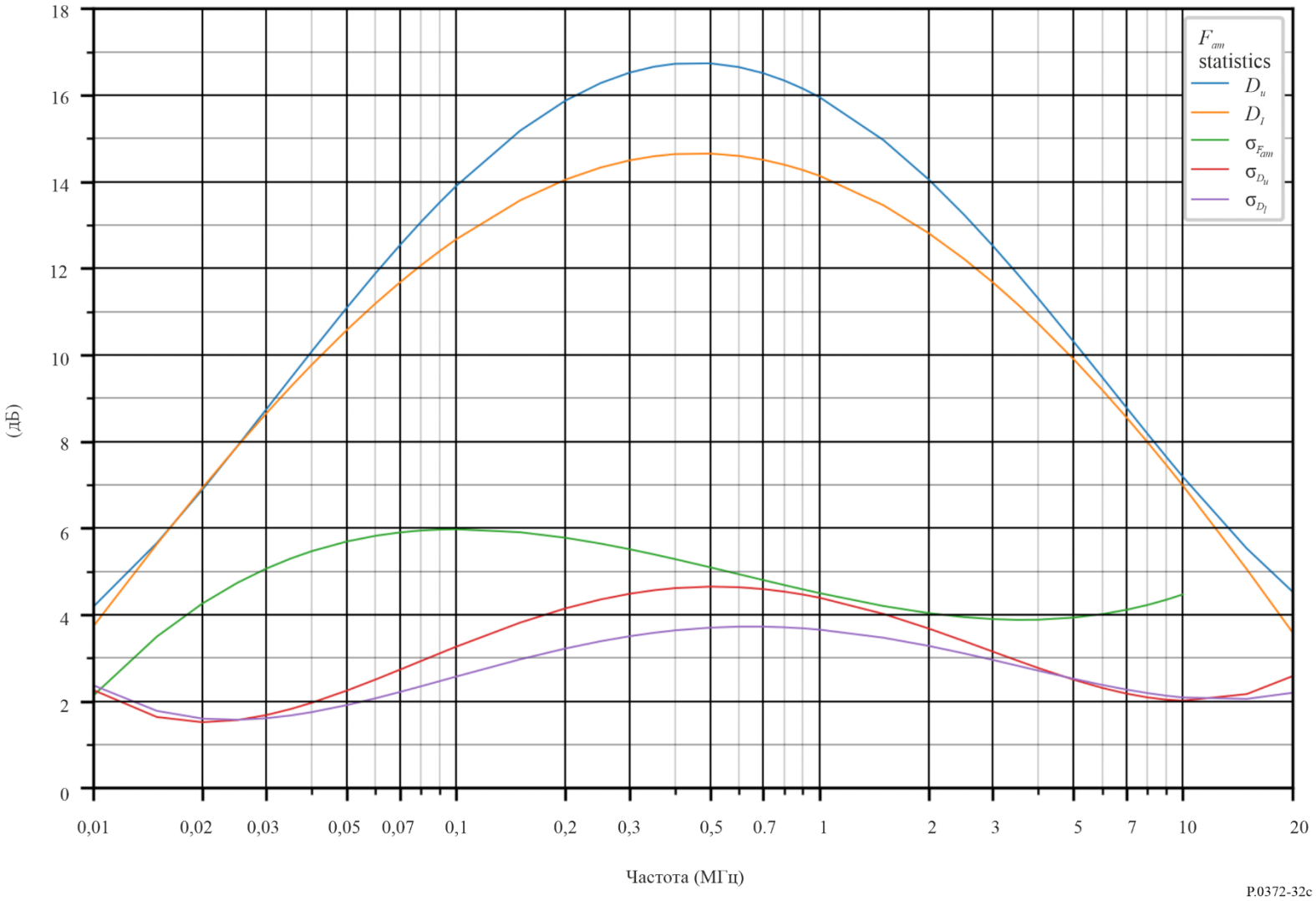
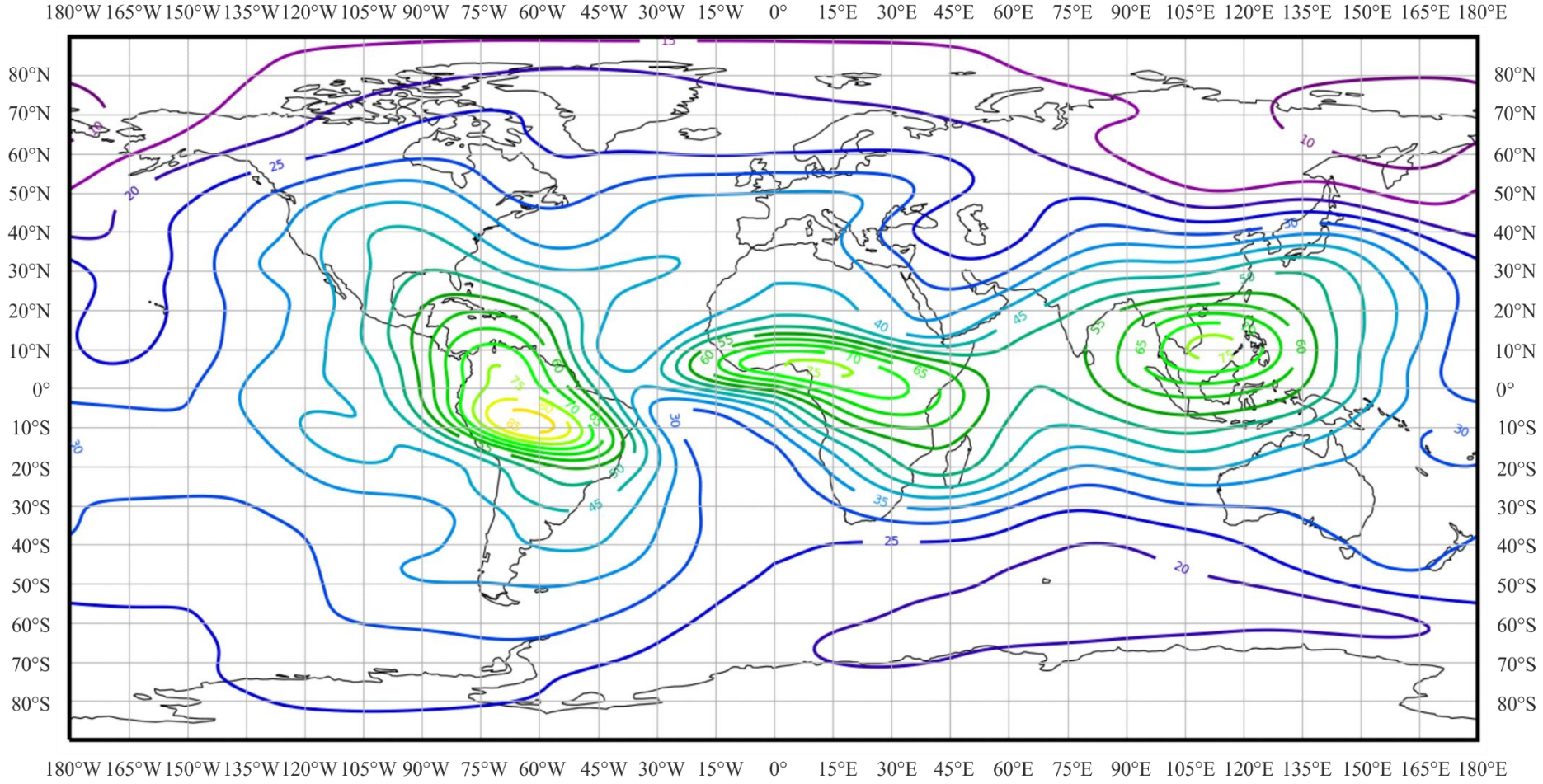


РИСУНОК 33a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (сент.–окт.–нояб.; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-33a

РИСУНОК 33b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)

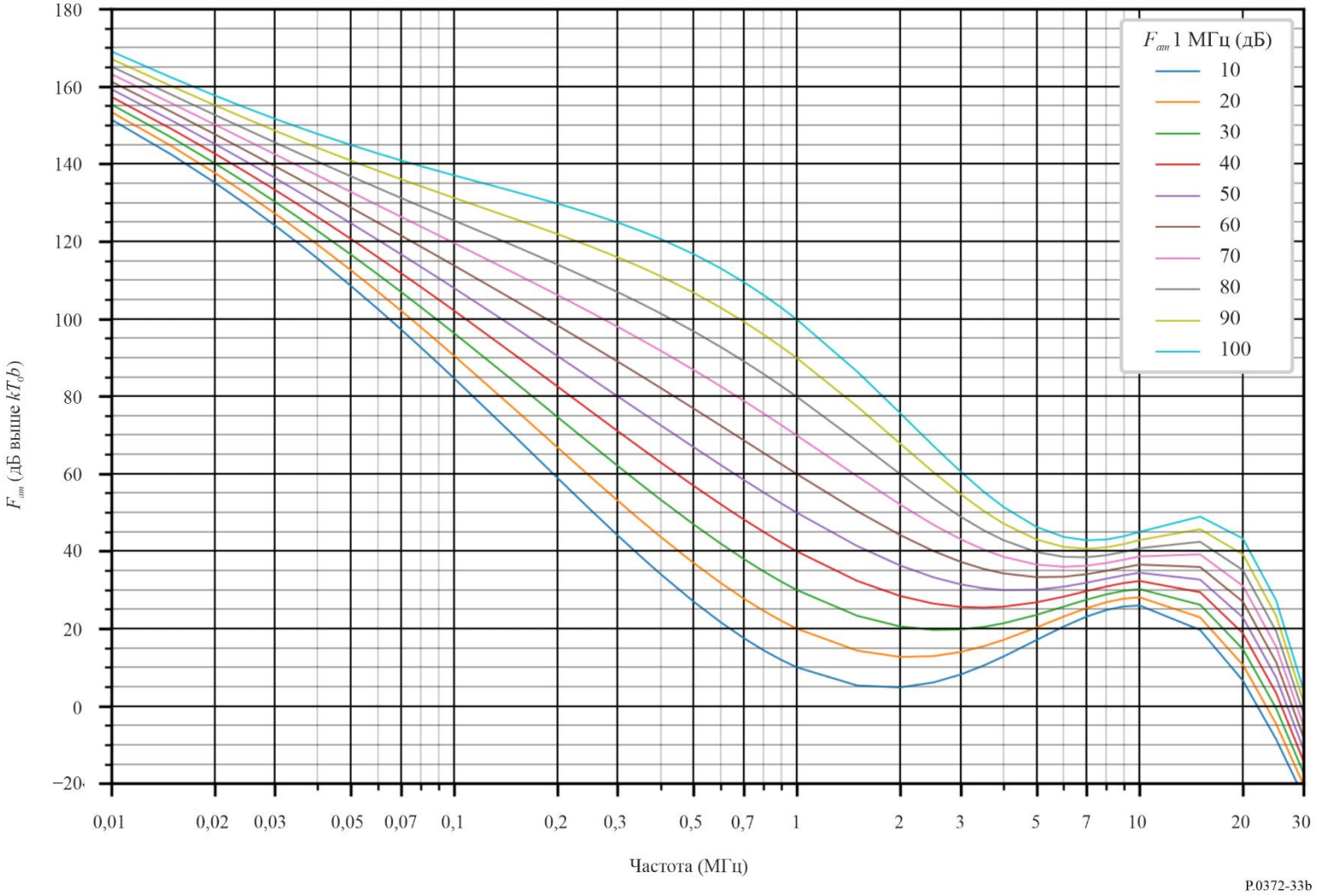


РИСУНОК 33c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 08 час. 00 мин. – 12 час. 00 мин. местного времени)

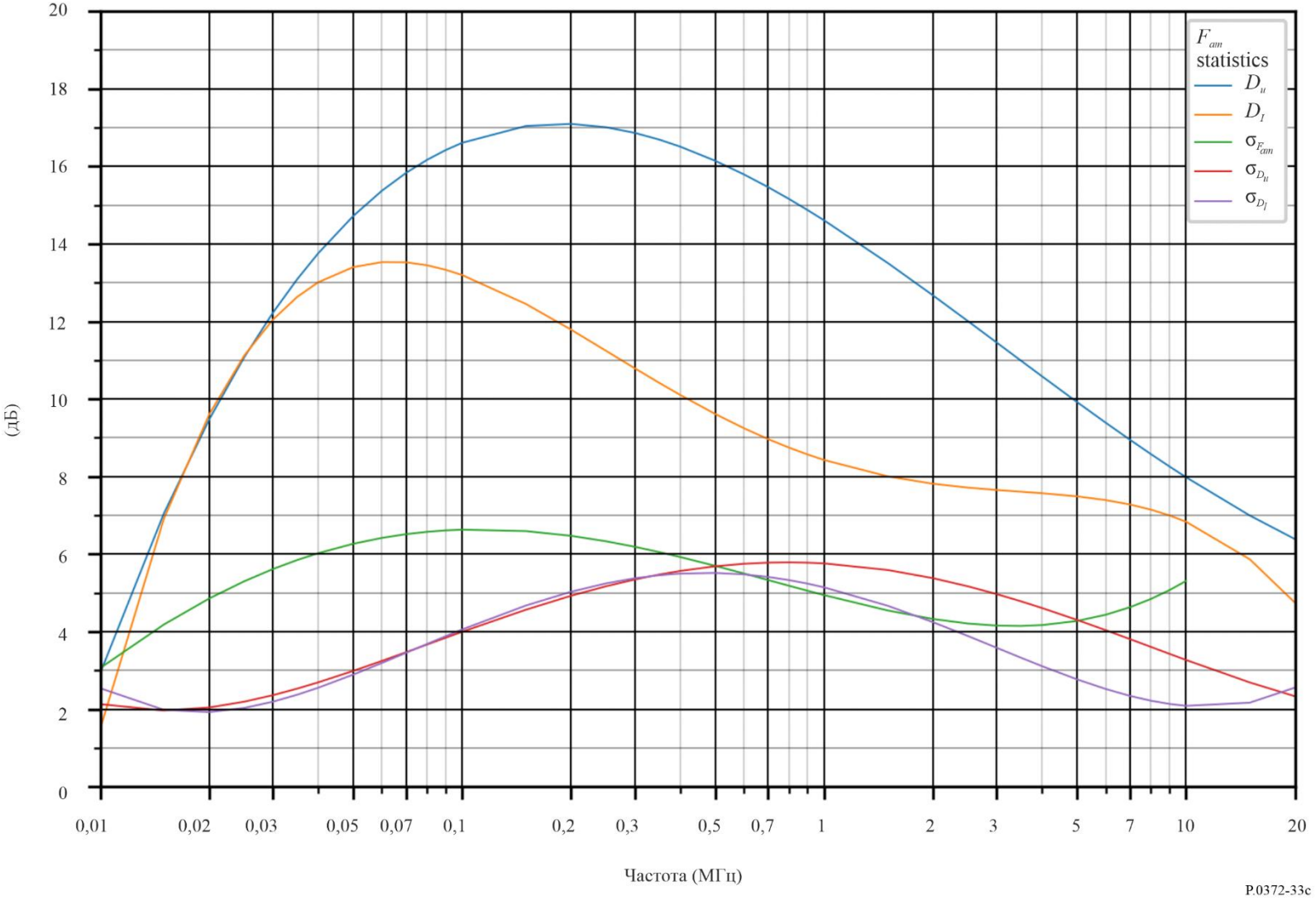
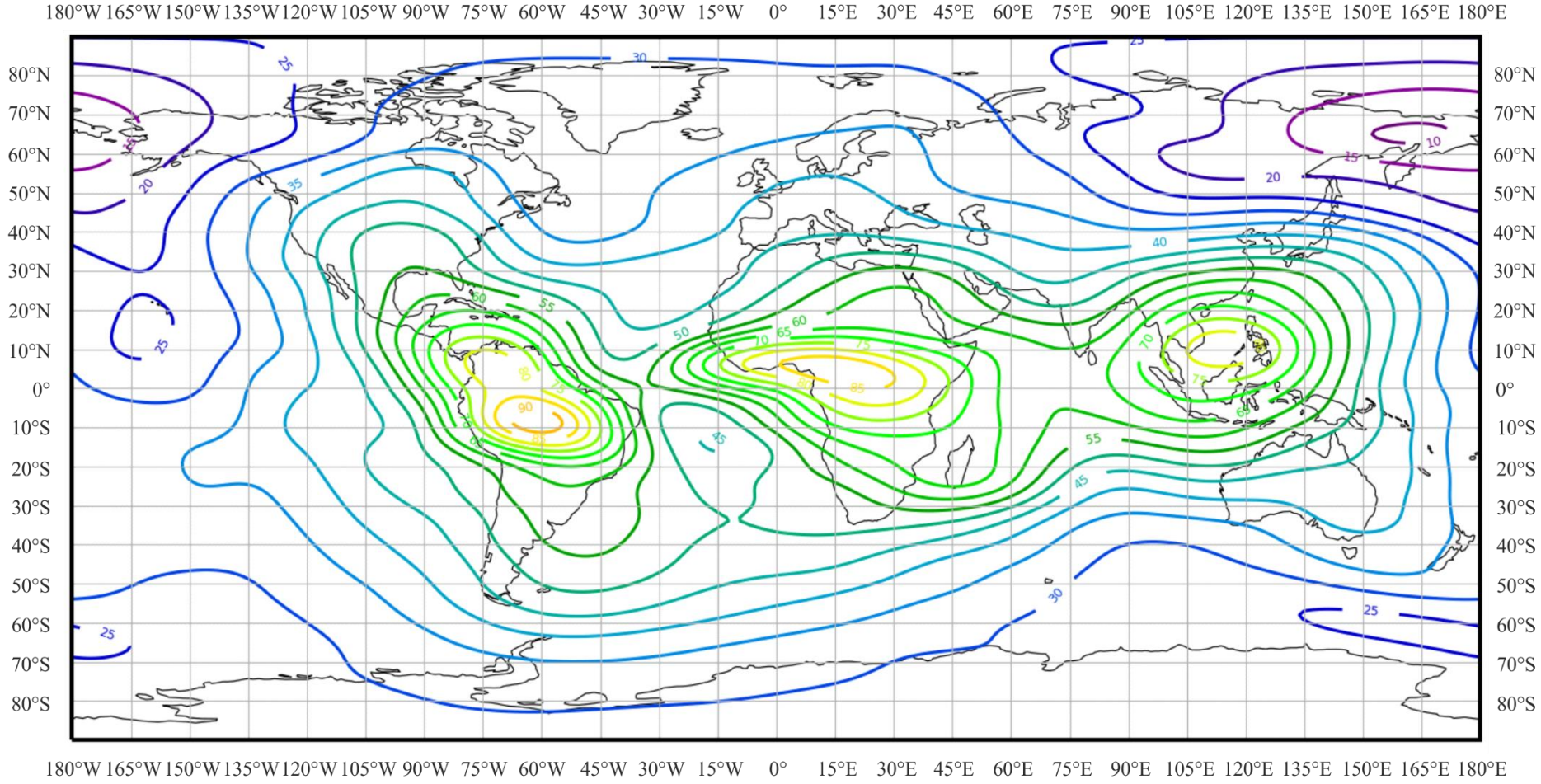


РИСУНОК 34a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (сент.–окт.–нояб.; 12 час. 00 мин. –16 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-34a

РИСУНОК 34b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: сент.−окт.−нояб.; Южное полушарие: март−апр.−май; 12 час. 00 мин. – 16 час. 00 мин. местного времени)

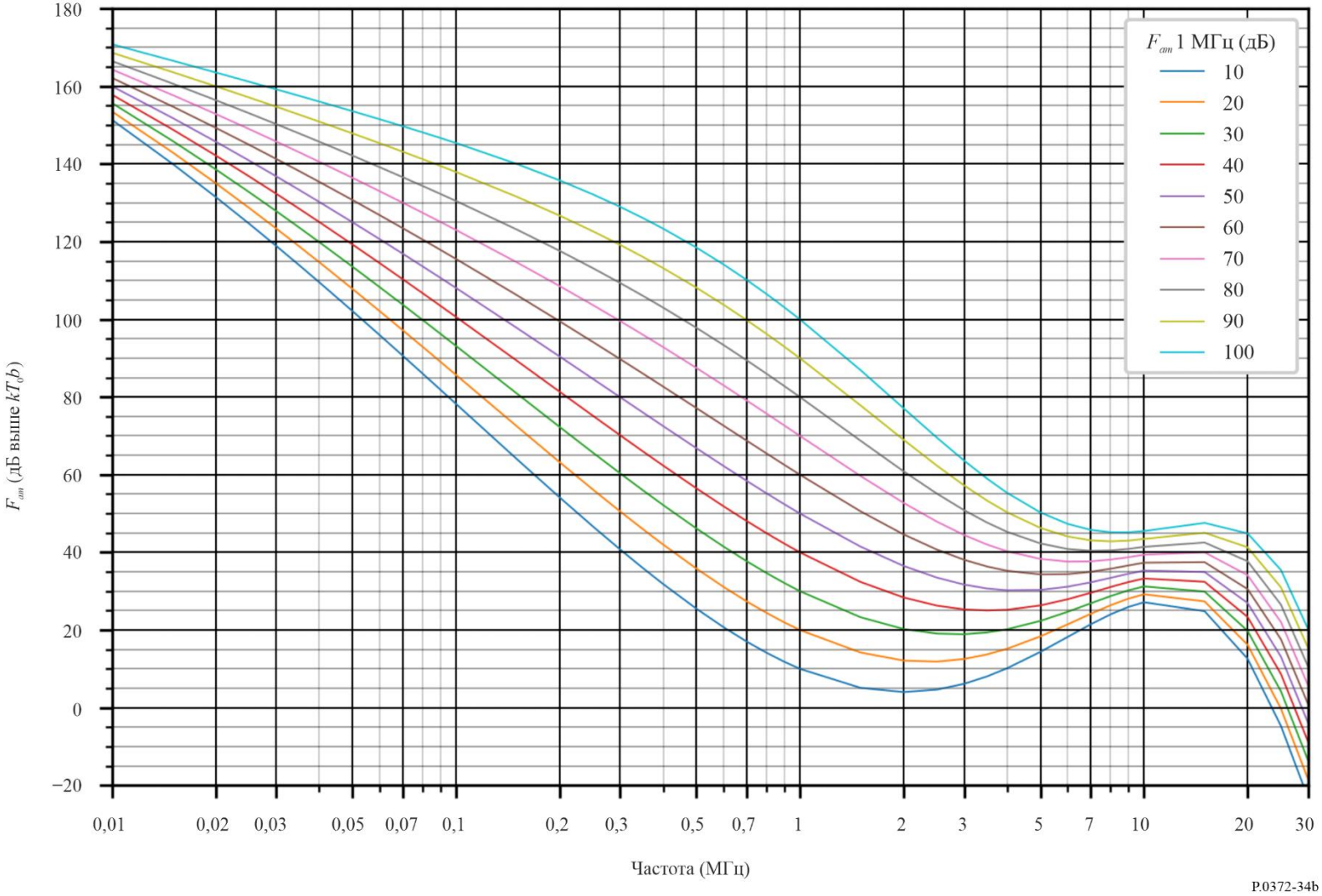


РИСУНОК 34c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 12 час. 00 мин. – 16 час. 00 мин. местного времени)

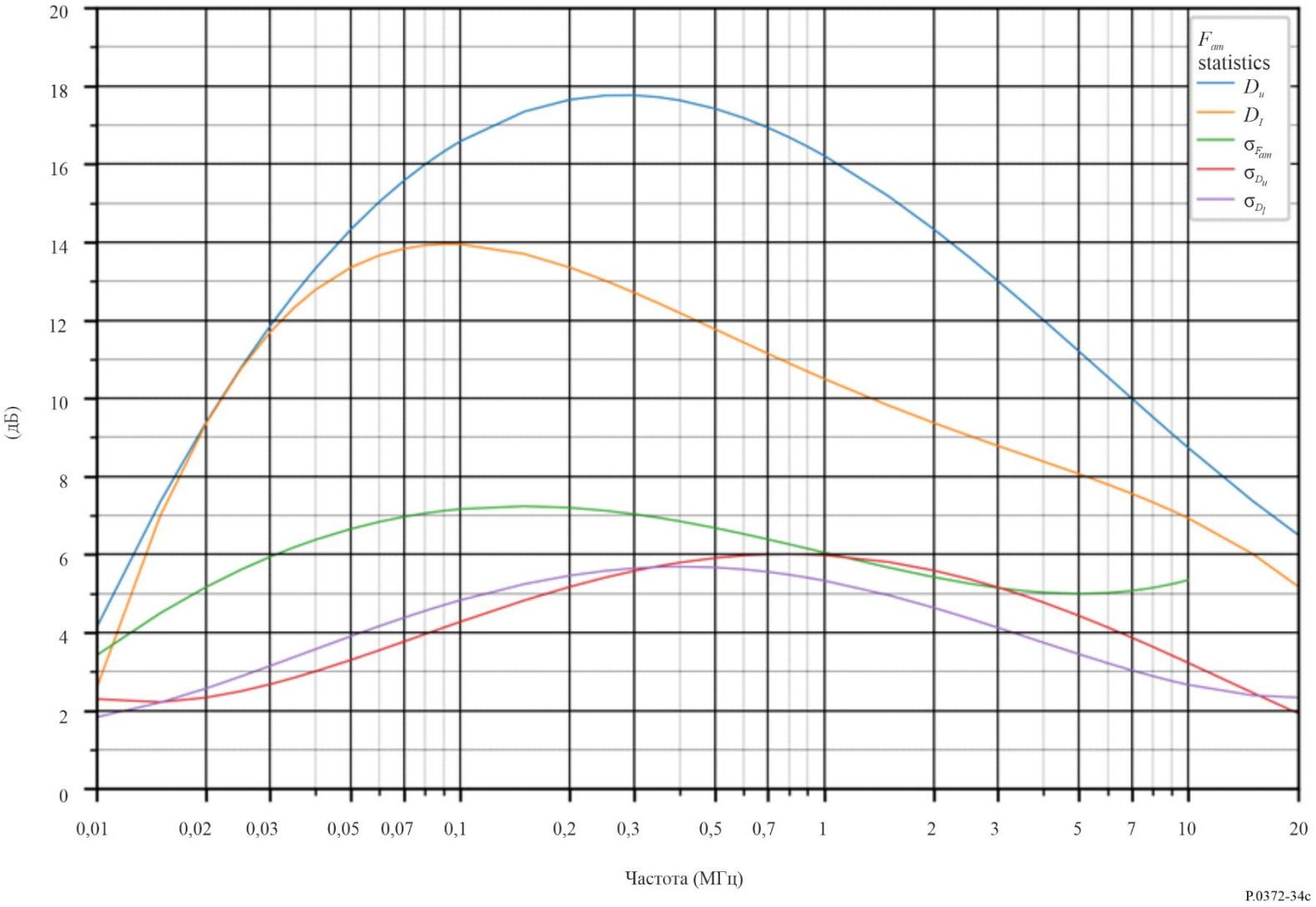
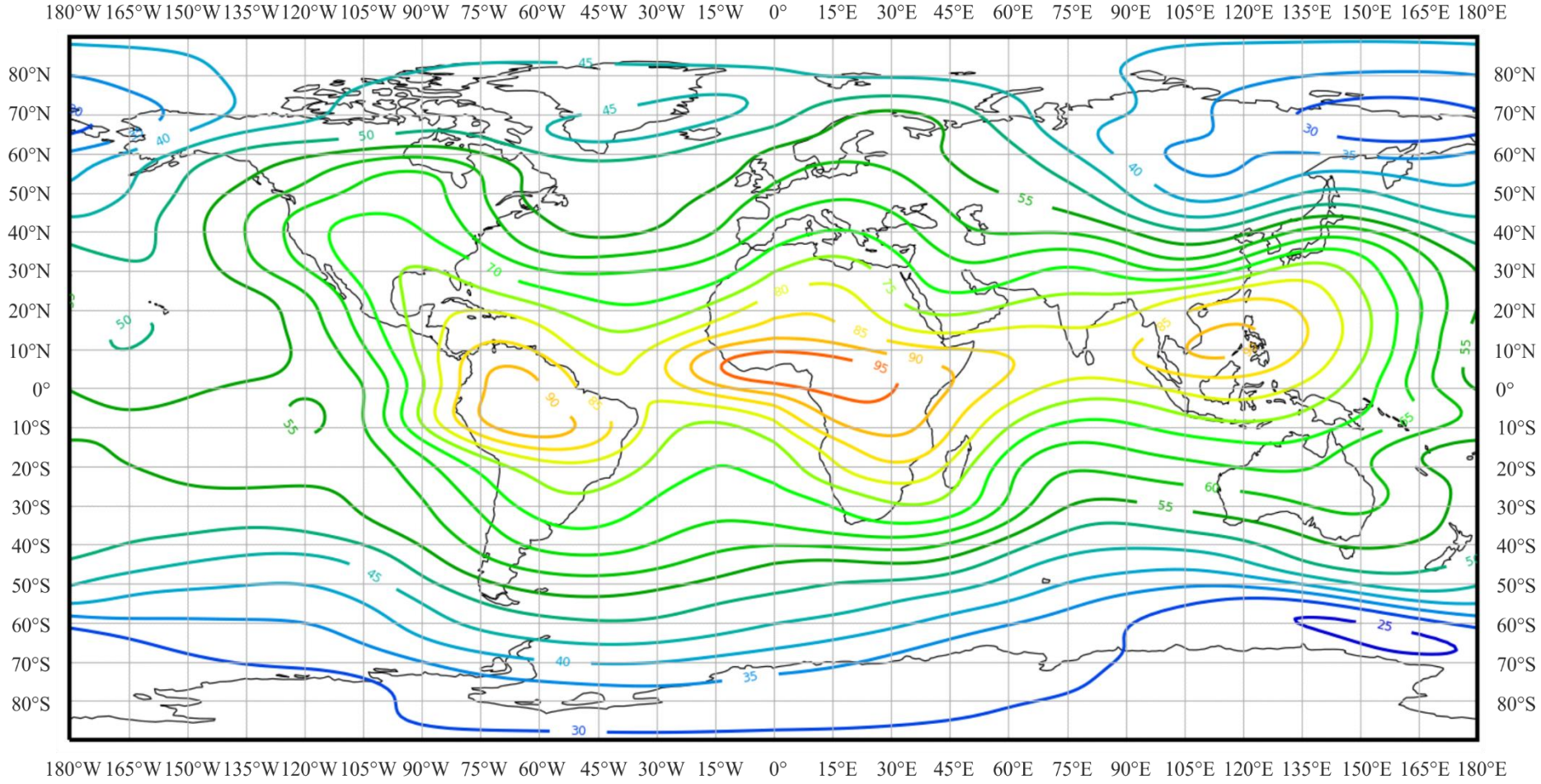


РИСУНОК 35a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (сент.–окт.–нояб.; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-35a

РИСУНОК 35b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)

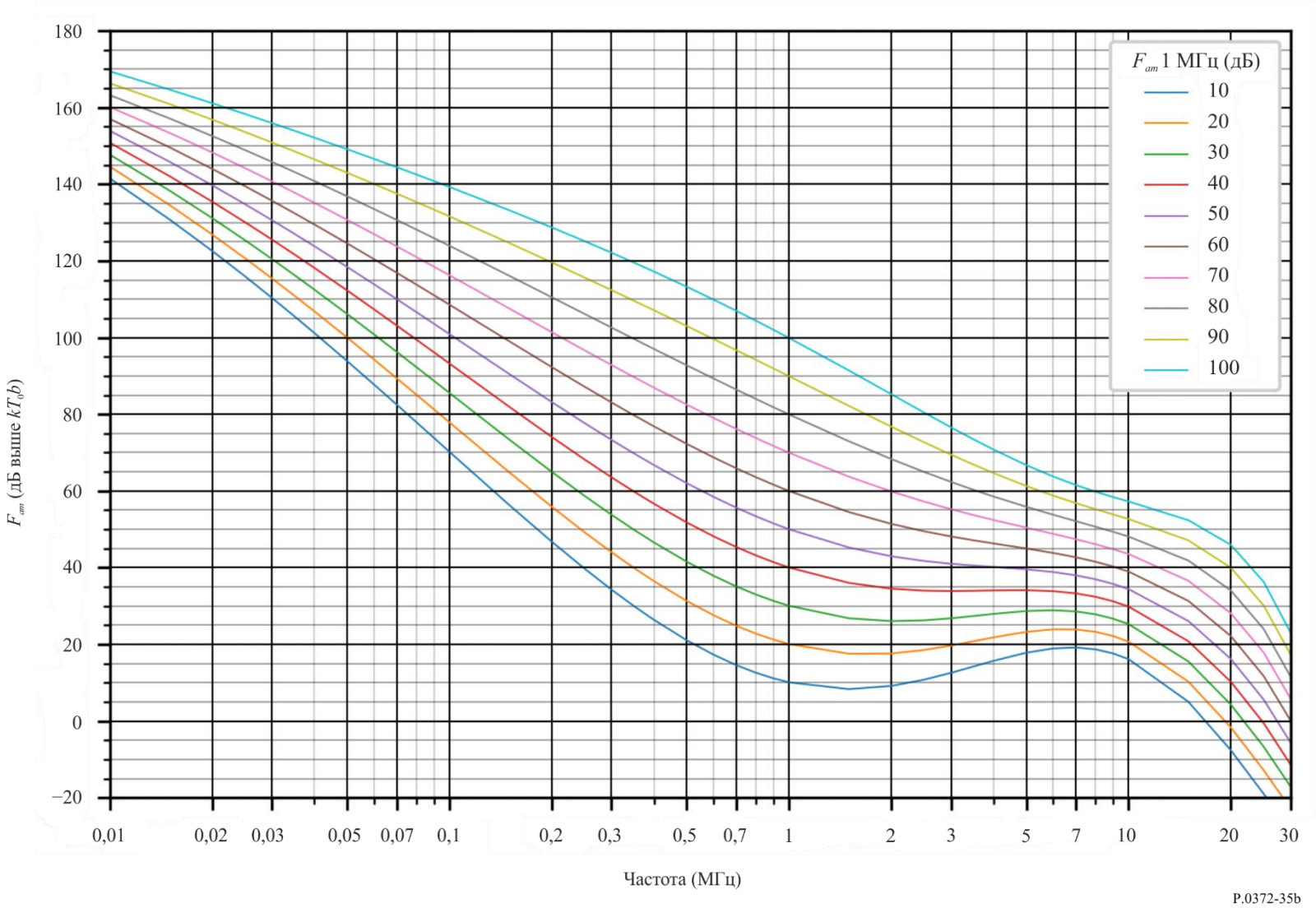


РИСУНОК 35c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 16 час. 00 мин. – 20 час. 00 мин. местного времени)

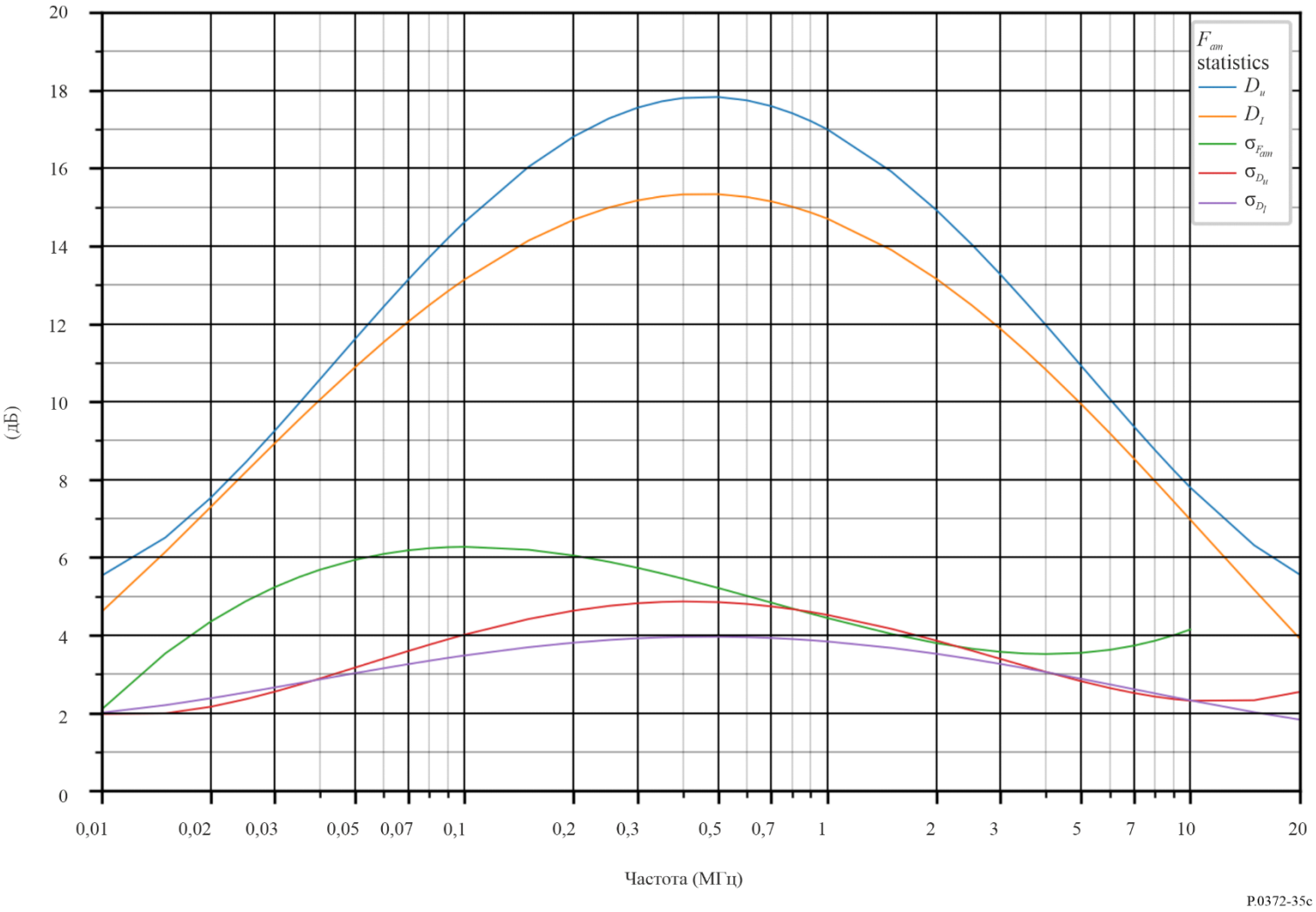
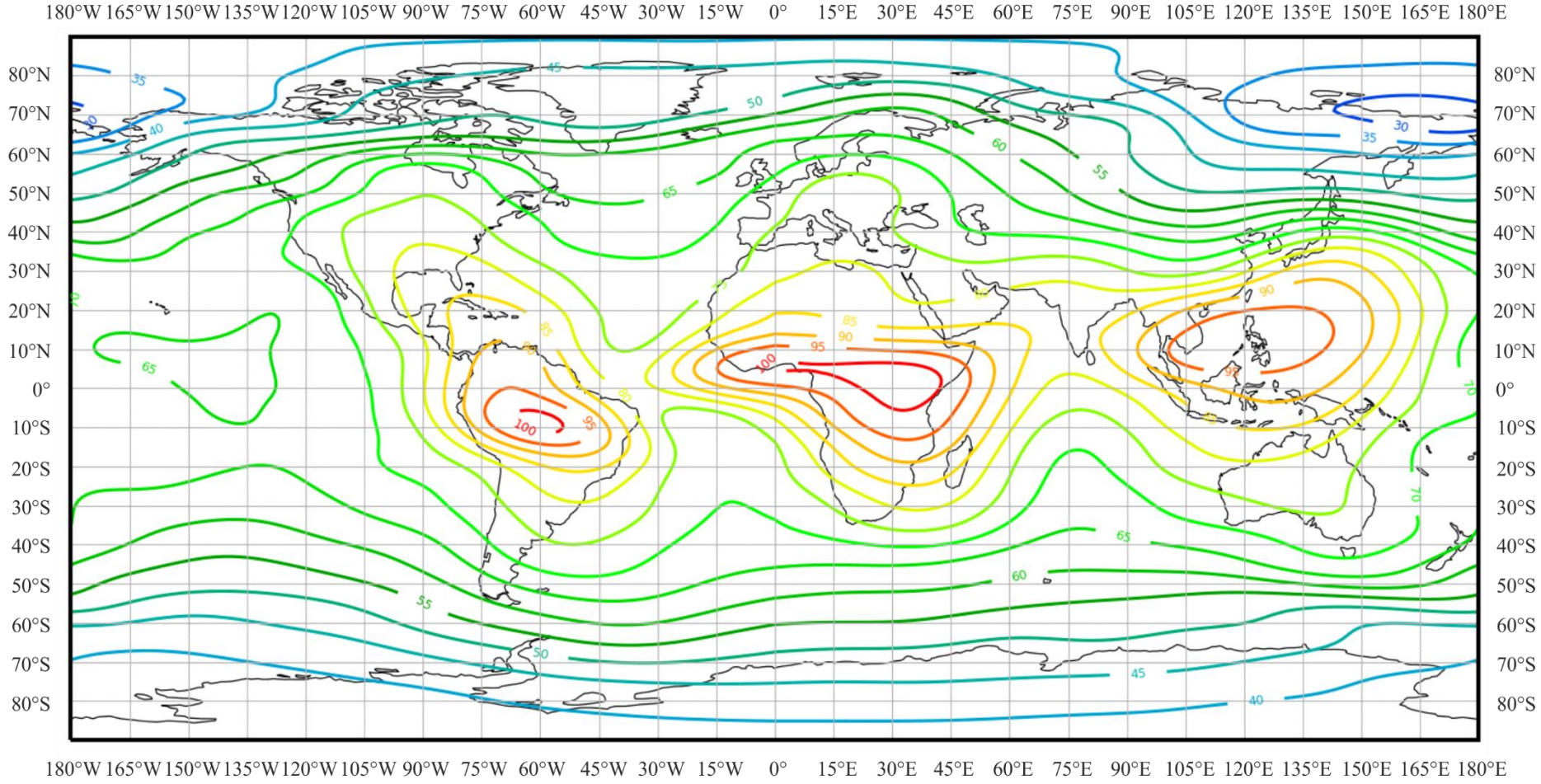


РИСУНОК 36a

Ожидаемые значения атмосферного радиошума F_{am}
(в дБ выше kT_0b на частоте 1 МГц) (сент.–окт.–нояб.; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)



P.0372-36a

РИСУНОК 36b

Изменчивость уровня радиошума в зависимости от частоты
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

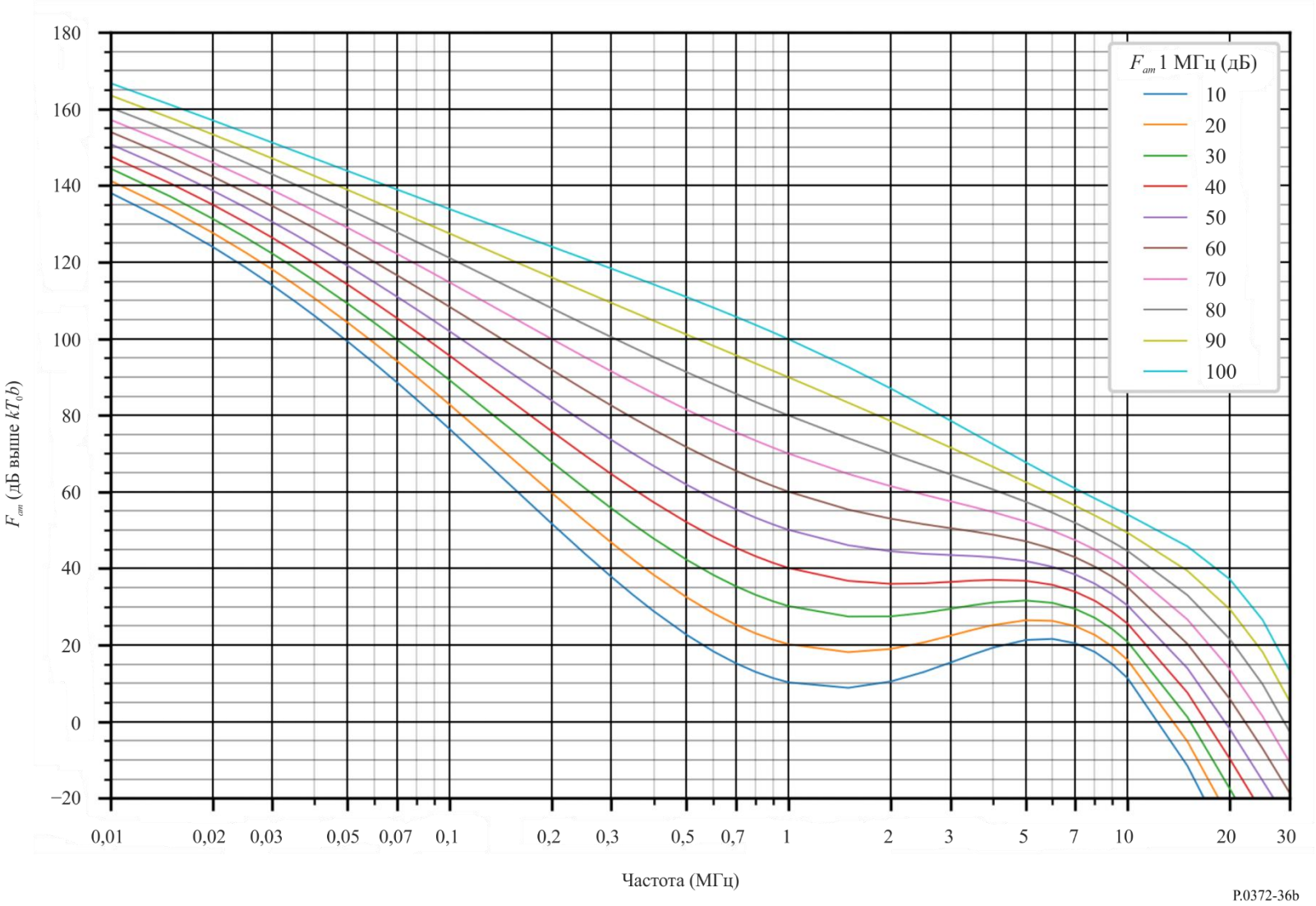


РИСУНОК 36c

Данные об изменчивости и характере шума
(Северное полушарие: сент.–окт.–нояб.; Южное полушарие: март–апр.–май; 20 час. 00 мин. – 24 час. 00 мин. местного времени)

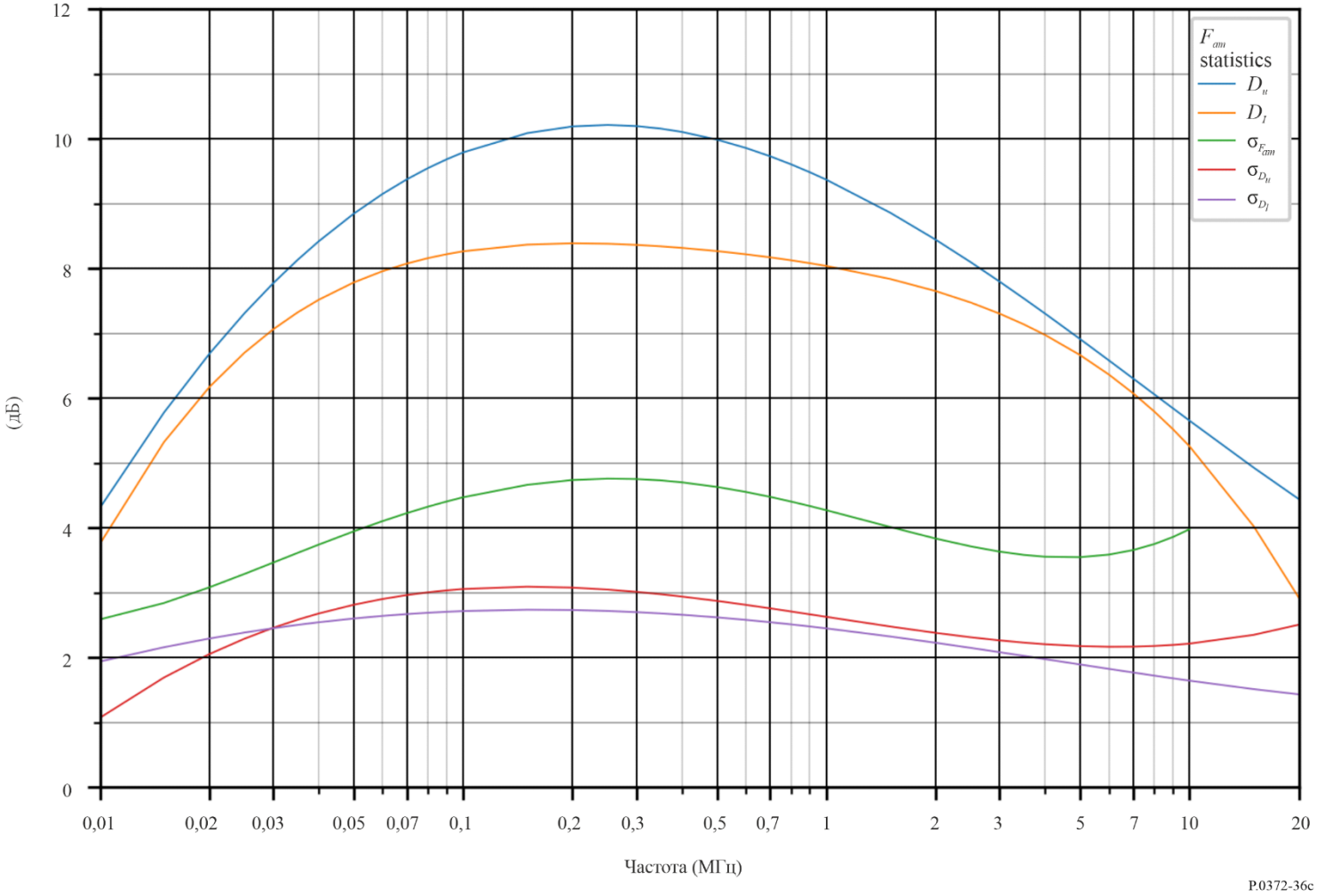


РИСУНОК 37

Вероятностные распределения амплитуд атмосферного радиошума при разных значениях V_d

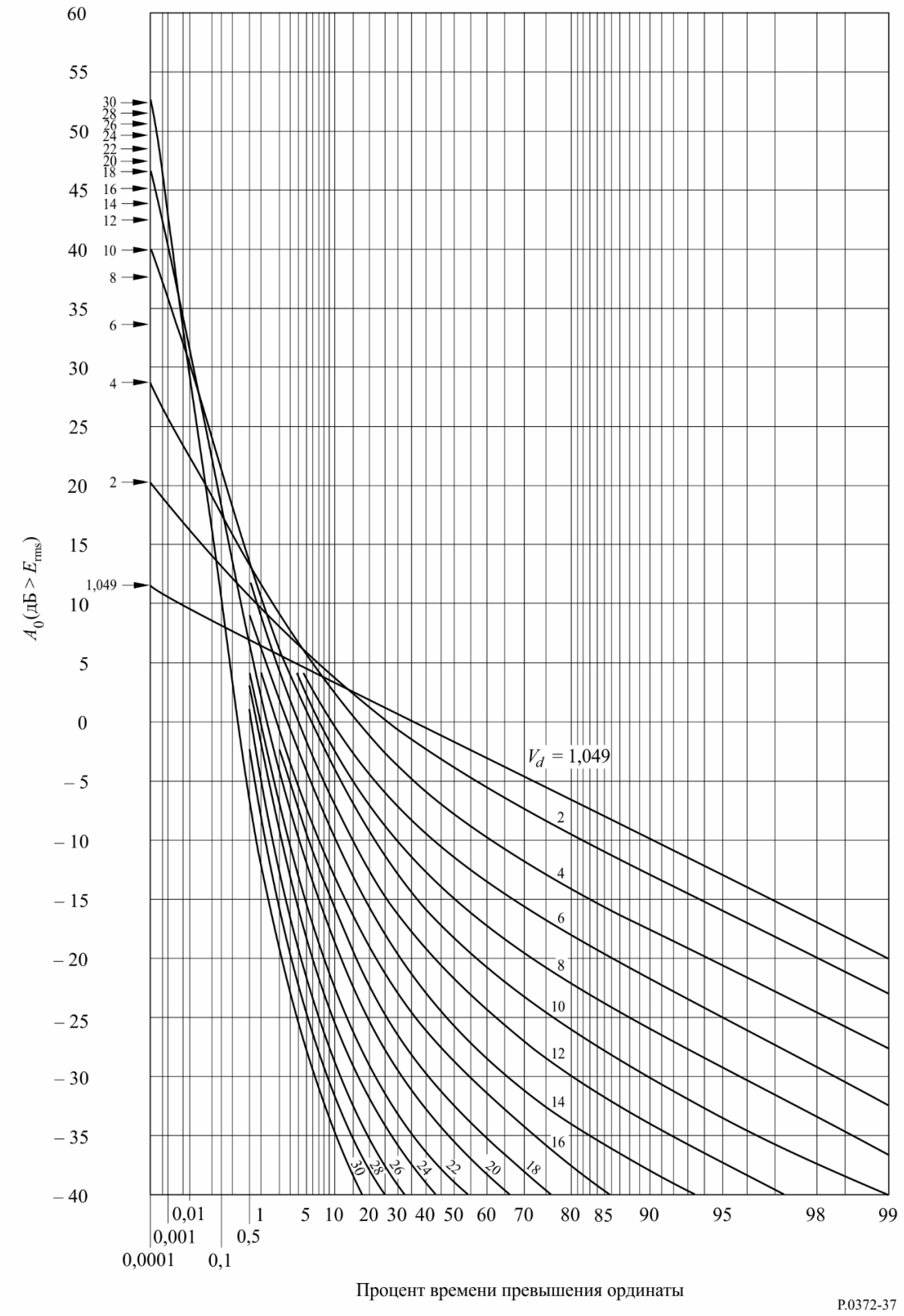
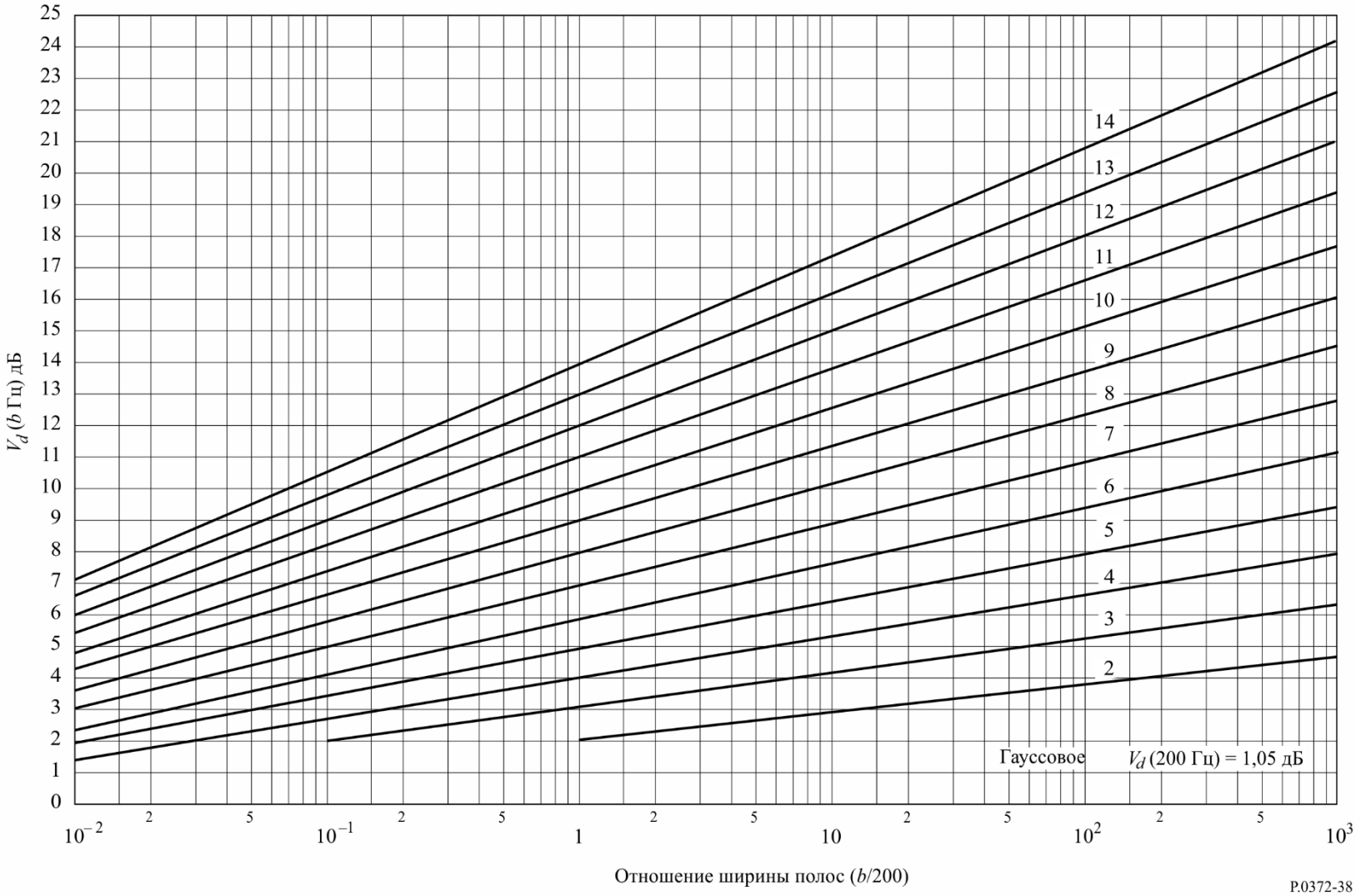


РИСУНОК 38

Перевод значений V_d, V_{dm} для ширины полосы 200 Гц в соответствующие значения для другой ширины полосы, *b*



ЧАСТЬ 6

Промышленный шум

Промышленный шум может относиться к одной из следующих категорий:

– широкополосный шум, спектральная плотность мощности которого более или менее плоская в большом диапазоне частот, с характеристиками, приближающимися к аддитивному белому гауссовскому шуму (AWGN);

– импульсный шум (IN);

– шум, имеющий частотно-зависимый характер и состоящий из одной несущей, шумового "горба" в частотном спектре или комбинации нескольких несущих и/или горбов; ввиду отсутствия более подходящего названия этот тип шума традиционно обозначается как "шум от одной несущей" (SCN).

Наблюдаемый промышленный шум может также состоять из комбинации всех трех категорий. Преобладание одной категории зависит от интенсивности источников и их расстояния до наблюдателя.

Промышленный шум AWGN может наблюдаться при суммировании большого количества отдельных источников сопоставимой интенсивности на достаточном расстоянии от приемника. Промышленный шум SCN указывает на присутствие одного ближнего источника или их ограниченного количества. В то время как первое более вероятно для сценария вне помещений, второе типично для шумовой среды внутри помещений.

Методы измерения и представления промышленного шума приведены в Рекомендации МСЭ-R SM.1753 (вне помещений) и Рекомендации МСЭ-R SM.2093 (внутри помещений).

6.1 Измерения промышленного шума вне помещений

6.1.1 Аддитивный белый гауссовский шум

На рисунке 39 показаны медианные значения коэффициента промышленного шума AWGN для некоторых типов среды. На рисунке показана также кривая галактического шума (см. часть 4).

Во всех случаях результаты соответствуют линейному изменению медианного значения, F_{am}, с частотой f вида:

$$F_{am} = c - d \log f, \tag{17}$$

где f выражена в МГц, а c и d принимают значения, приведенные в таблице 1. Заметим, что уравнение (17) справедливо в диапазоне от 0,3 до 250 МГц для всех категорий окружающей среды, за исключением тех, которые соответствуют кривым D и E, показанным на рисунке. Промышленный шум, отраженный ионосферой (кривая D) наблюдается ниже критической частоты необыкновенной волны ионосферы (fxF2), которая зависит от времени суток, сезона и цикла солнечных пятен. Выше fxF2 ионосфера постепенно становится прозрачной, и доминирующим становится галактический шум (кривая E). Притом что ионозонды не регистрируют fxF2, индикатором fxF2 в стабильном состоянии ионосферы является показатель fxI рассеивающего слоя F, который представляет собой максимальное отражение в области F, зарегистрированное ионозондом во время измерения.

В таблице 2 приведены значения верхних и нижних децилей мощности шума, D_u и D_l, для деловых зон, жилых районов и сельской местности, усредненные по всему диапазону частот, указанному выше. В этой таблице также представлены значения отклонения в зависимости от местоположения. Можно исходить из того, что эти отклонения не согласованны и что подходит логарифмически нормальное распределение по обе стороны от медианы.

ТАБЛИЦА 1

Значения констант *c* и *d*

Категория окружающей среды	***c***	***d***
Деловая зона (кривая A)	76,8	27,7
Жилые районы (кривая B)	72,5	27,7
Сельская местность (кривая C)	67,2	27,7
Тихая сельская местность (кривая D)	53,6	28,6
Галактический шум (кривая E)	52,0	23,0

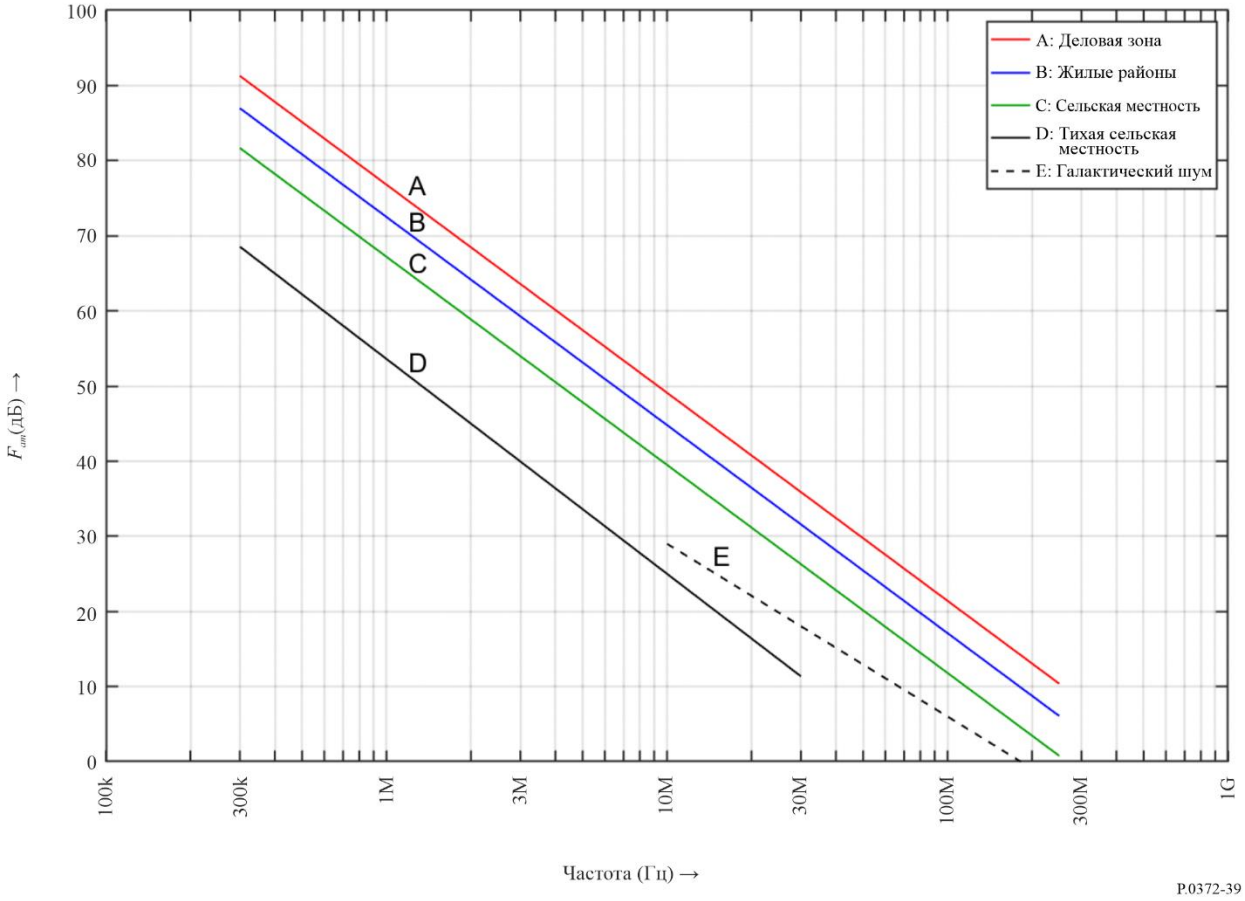
ТАБЛИЦА 2

Верхние и нижние значения децилей промышленного шума

Категория	**Дециль**	**Изменение со временем (дБ)**	**Изменение в зависимости от местоположения (дБ)**
Деловая зона	Верхнее Нижнее	11,0 6,7	8,4 8,4
Жилой район	Верхнее Нижнее	10,6 5,3	5,8 5,8
Сельская местность	Верхнее Нижнее	9,2 4,6	6,8 6,8

РИСУНОК 39

Медианные значения мощности промышленного шума для короткой вертикальной заземленной несимметричной антенны без потерь



6.2 Измерения промышленного шума внутри помещений

6.2.1 Аддитивный белый гауссовский шум

В настоящее время не имеется достаточно данных измерений для описания ожидаемых уровней промышленного шума AWGN внутри помещений. Данный раздел будет обновлен, когда такие данные станут доступными. В таблице 3 приведены результаты измерений, проведенных в Европе в период 2005 и 2007 годов.

ТАБЛИЦА 3

Измерения промышленного шума внутри помещений в Европе

Частота (МГц)	Медианное значение шума F_a (дБ отн. kT_0b)		Верхнее значение дециля		Нижнее значение дециля	
	Деловая зона	Жилой район	Деловая зона	Жилой район	Деловая зона	Жилой район
210	14	5	3	3	2	1
425	16	3	4	1	1	1

ЧАСТЬ 7

Комбинирование шумов от различных источников

7.1 Комбинирование шумов от различных источников

Существуют ситуации, когда необходимо рассматривать несколько типов шумов, поскольку два или более типов шумов соизмеримы по амплитуде. Такая ситуация, как правило, возможна на любой частоте, но наиболее часто это случается на ВЧ, когда атмосферные, промышленные и галактические шумы соизмеримы по интенсивности (например, кривая для 10 МГц на рисунке 2).

Значения коэффициента шума для каждого источника шума определены выше; предполагается, что величина F_a (дБ) распределяется по обе стороны от медианного значения F_{am} согласно полунормальному распределению. В нижней части полунормального распределения стандартное отклонение σ_l (= D_l /1,282) ниже медианы, а в верхней части полунормального распределения стандартное отклонение σ_u (= D_u /1,282) выше медианы. У соответствующих коэффициентов шума f_a (Вт) – логарифмически нормальное распределение по обе стороны от медианы.

Медианное значение, F_{amT}, и стандартное отклонение, σ_T, от значения шума для суммы двух или более вызывающих шум процессов задается уравнением:

$$F_{amT} = c\left[\ln(\alpha_T) - \frac{\sigma_T^2}{2c^2}\right] \qquad \text{дБ} \tag{18}$$

$$\sigma_T = c\sqrt{\ln\left(1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T^2}\right)} \qquad \text{дБ,} \tag{19}$$

где:

$$c = 10/\ln(10) = 4{,}343 \tag{20}$$

$$\alpha_T = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i = \sum_{i=1}^{n} \exp\left[\frac{F_{ami}}{c} + \frac{\sigma_i^2}{2c^2}\right] \qquad \text{Вт} \tag{21}$$

$$\beta_T = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^2 \left[\exp\left(\frac{\sigma_i^2}{c^2}\right) - 1\right] \qquad \text{Вт}^2 \tag{22}$$

а F_{ami} и σ_i – медианное значение и стандартное отклонение от показателей шума для источников компонентов шума. Для атмосферных помех эти данные получают с помощью рисунков 13–36. Промышленный шум можно также получить с помощью рисунка 10 и таблицы 2. Для галактического шума F_{am} задается уравнением (15), а σ_i устанавливается на уровне 1,56 дБ (= 2/1,282).

Верхнее значение дециля, D_{uT}, показателя шума для суммы двух или более вызывающих шум процессов задается уравнением:

$$D_{uT} = 1{,}282\ \sigma_T \qquad \text{дБ,} \tag{23}$$

где σ_T рассчитывается с использованием верхних значений дециля компонентов шума для расчета σ_i (= D_u /1,282) в уравнениях (21) и (22).

Нижнее значение дециля, D_{lT}, показателя шума для суммы двух или более вызывающих шум процессов задается уравнением:

$$D_{lT} = 1{,}282\ \sigma_T \qquad \text{дБ,} \tag{24}$$

где σ_T рассчитывается с использованием нижних значений дециля компонентов шума для расчета σ_i (= D_l /1,282) в уравнениях (21) и (22).

Когда верхнее значение дециля показателя шума для по крайней мере одного компонента шума превышает 12 дБ, величина σ_T, рассчитываемая с помощью уравнений с (19) по (22) с использованием верхних значений дециля компонентов шума, должна ограничиваться максимальным значением:

$$\sigma_T = c\sqrt{2\ln\left(\frac{\alpha_T}{\gamma_T}\right)} \qquad \text{дБ,} \tag{25}$$

где γ_T – коэффициент шума для простой суммы мощностей отдельных медианных коэффициентов шума:

$$\gamma_T = \sum_{i=1}^{n} \exp\left(\frac{F_{ami}}{c}\right) \qquad \text{Вт.} \tag{26}$$

Точно так же, когда нижнее значение дециля показателя шума для по крайней мере одного компонента шума превышает 12 дБ, величина σ_T, рассчитываемая с помощью уравнений с (19) по (22) с использованием нижних значений дециля компонентов шума, должна ограничиваться максимальным значением, заданным уравнением (25).