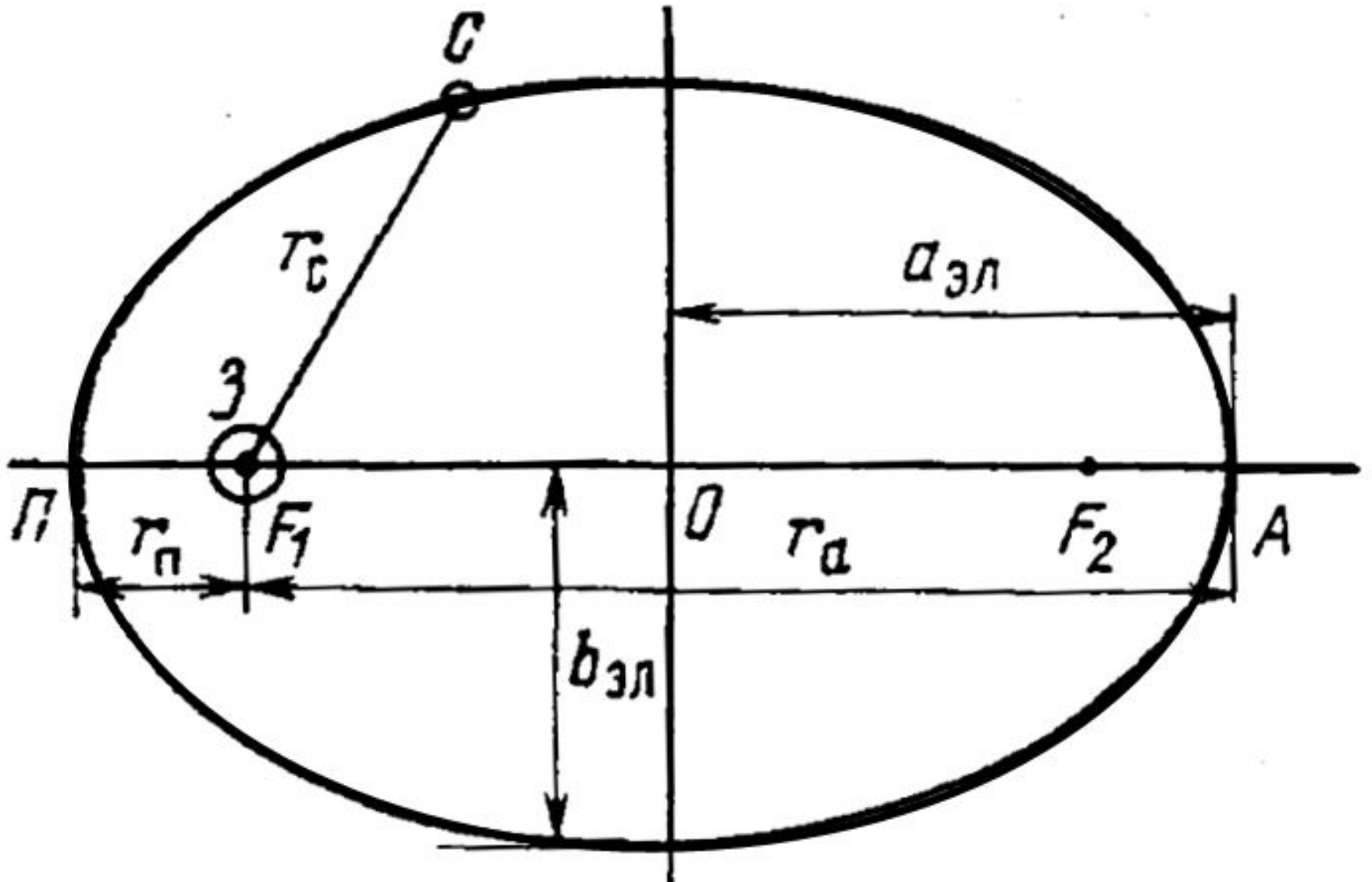




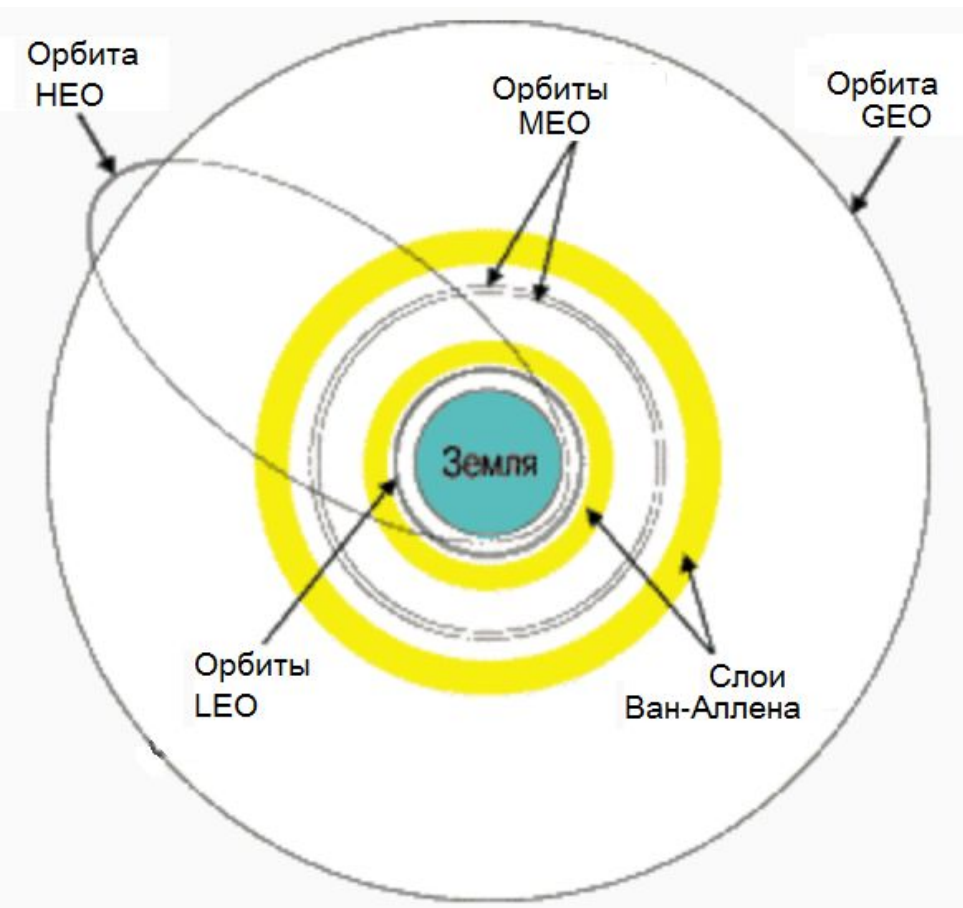
СибГУТИ

СИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
И ИНФОРМАТИКИ

Пояснения к законам Кеплера



Расположение орбит относительно слоёв Ван-Аллена



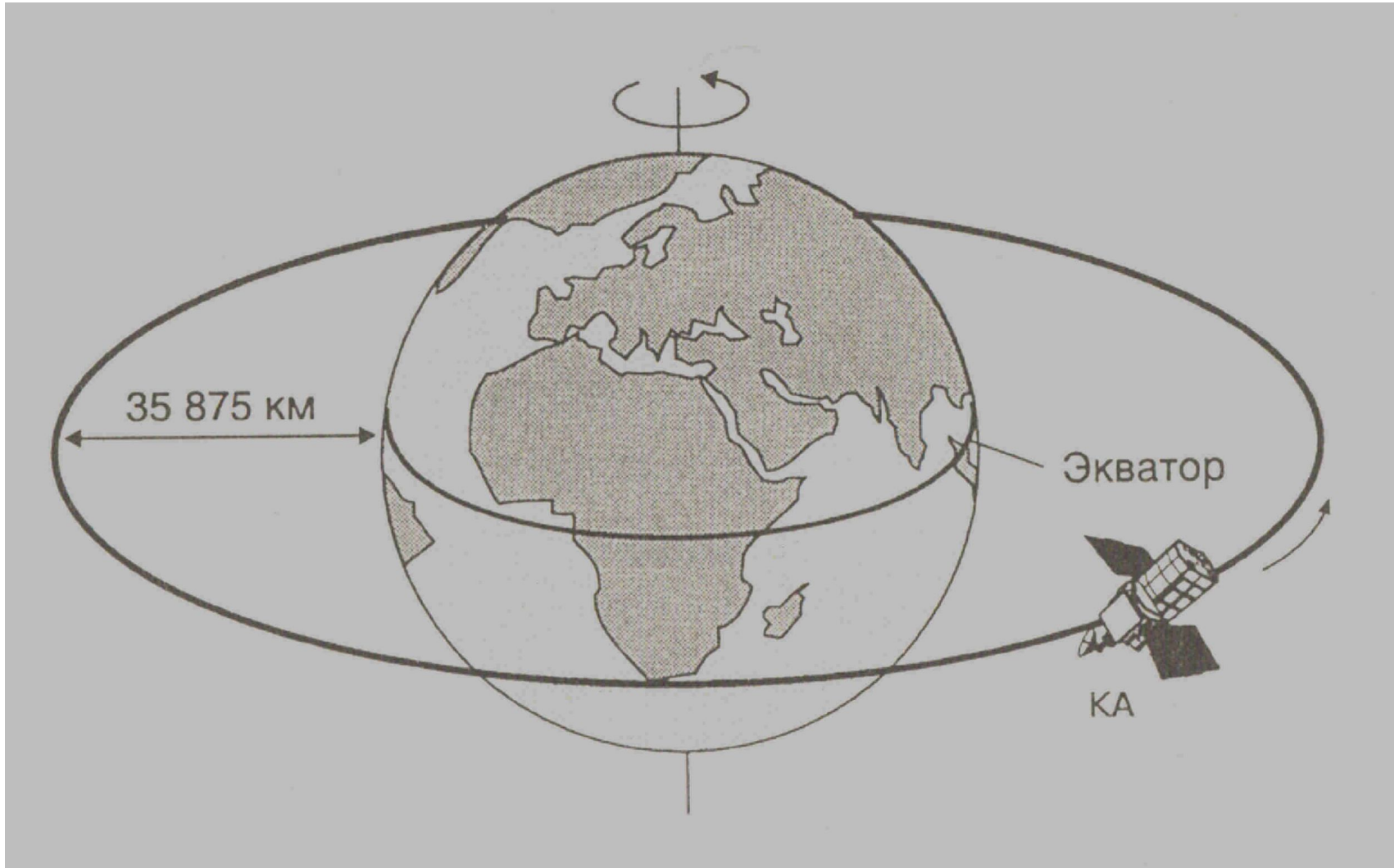
высокоэллиптическая орбита (HEO - High Elliptic Orbit Satellites) с апогеем около 40 000 км, перигеем около 2000км,

средняя или средневысотная орбита (MEO или ICO - Medium Earth Orbit или Intermediate Circular Orbit Satellites), радиус от 5 000 до 20 000 км,

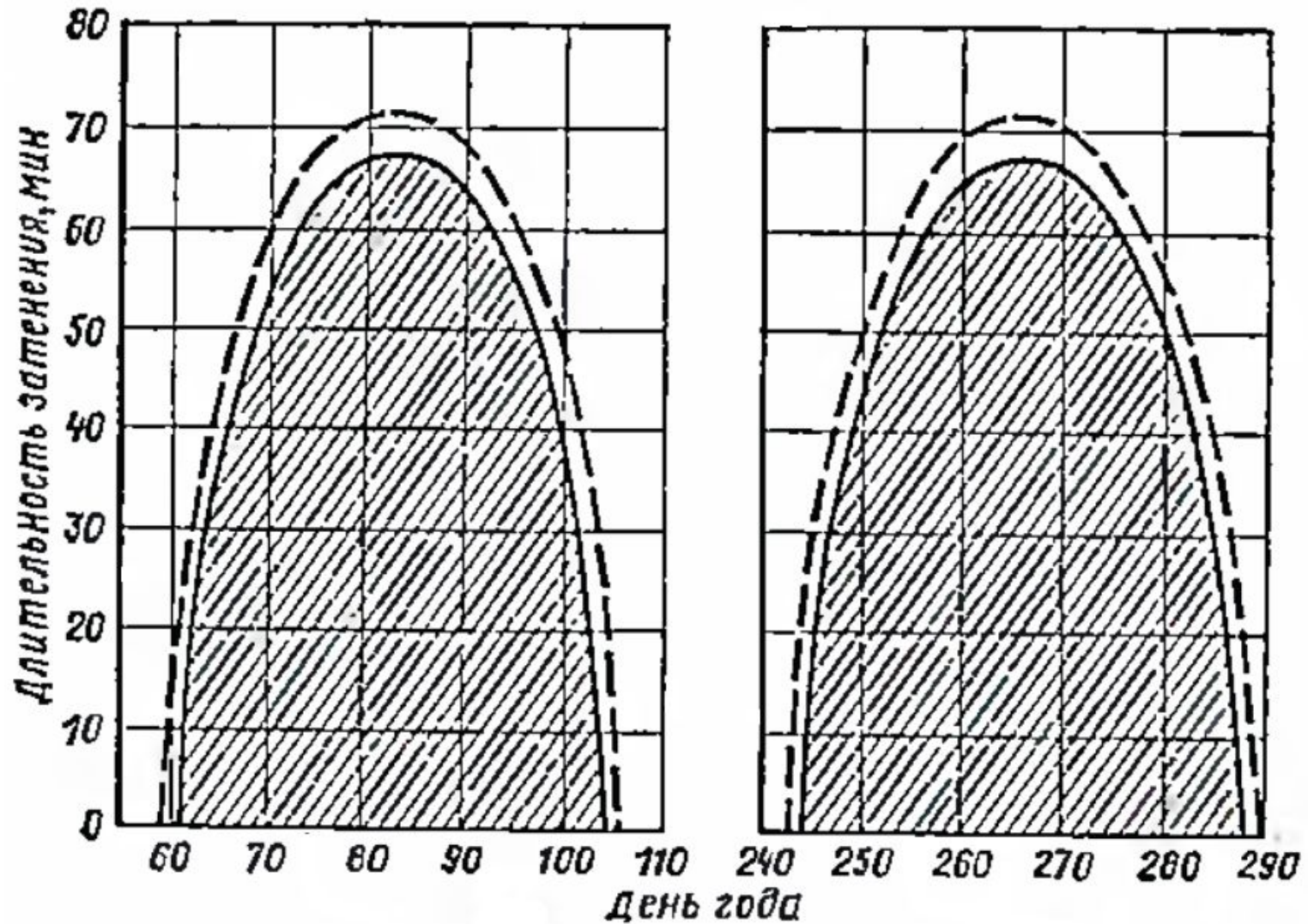
низкая орбита (LEO - Low Earth Orbit Satellites) с радиусом от 500 до 2 000 км).

геостационарная орбита (GEO - Geostationary Earth Orbit Satellites) с высотой 35 786 км.

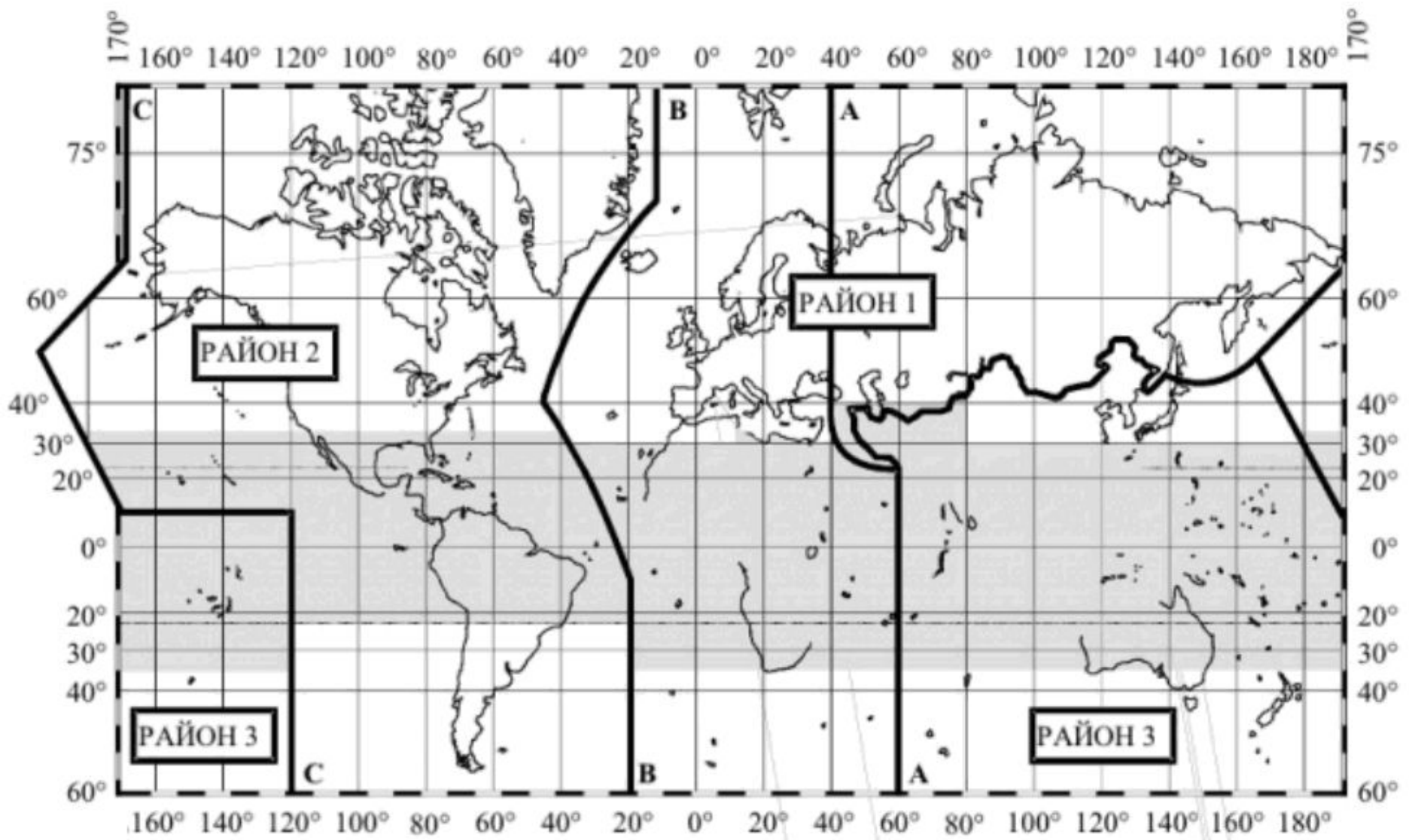
Геостационарная орбита



Длительность затенения по дням года



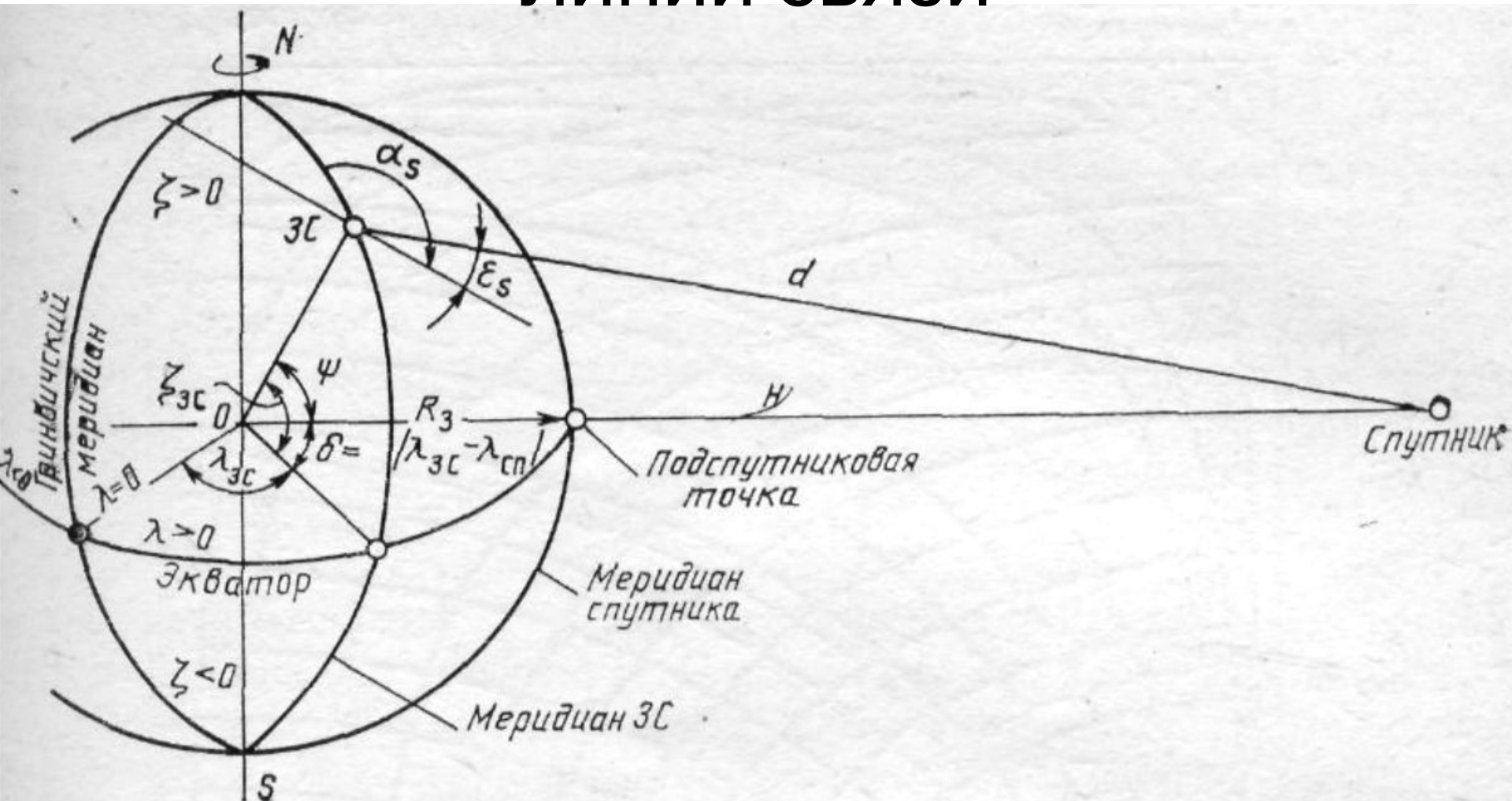
Деление территории Земли на районы



Наименование диапазонов и полосы частот

Наименование диапазона	Разрешённая полоса частот
L – диапазон	1452-1550 МГц и 1610-1710 МГц
S – диапазон	1930 – 2700 МГц
C – диапазон	3400 -5250 МГц и 5725 – 7075 МГц
X – диапазон	7250 – 8400 МГц
Ku – диапазон	10,70 - 12,75 ГГц и 12,75 - 14,80 ГГц
Ka – диапазон	15,40 - 26,50 ГГц и 27,00 - 30,20 ГГц
K – диапазон	84,0 - 86,0 ГГц (не используется)

Расчет геометрических соотношений для спутниковой линии связи



Расчет геометрических соотношений для спутниковой линии связи

- относительная долгота подспутниковой точки: $\Delta\lambda = \lambda_{ЗС} - \lambda_{ИСЗ}$
- φ° - географическая широта расчетной точки на земной поверхности,
- β – угол места (*определяется между направлением на горизонт и на ИСЗ*)
- α – азимут (*угол, отсчитываемый в горизонтальной плоскости по часовой стрелке между направлениями на Северный полюс и на ЗС*)
- d - наклонная дальность (*расстояние от ЗС до спутника*) при географическом радиусе Земли $R = 6370$ км и высоте ГО $H = 35794$ км

Расчет геометрических соотношений для спутниковой линии связи

$$d = R_3 \frac{\sqrt{1 + \gamma_0^2 - 2 \cdot \gamma_0 \cdot \cos \psi}}{\gamma_0}, \quad (1)$$

где $R_3 = 6378$ км – радиус Земли;

$$\gamma_0 = \frac{R_3}{R_3 + H} = 0,1513;$$

$H = 35786$ км – высота геостационарной орбиты;

$$\cos \psi = \cos \varphi_{3C} \cdot \cos \Delta \lambda,$$

$$\Delta \lambda = \lambda_{3C} - \lambda_{СП};$$

λ_{3C} - долгота земной станции;

$\lambda_{СП}$ - долгота подспутниковой точки;

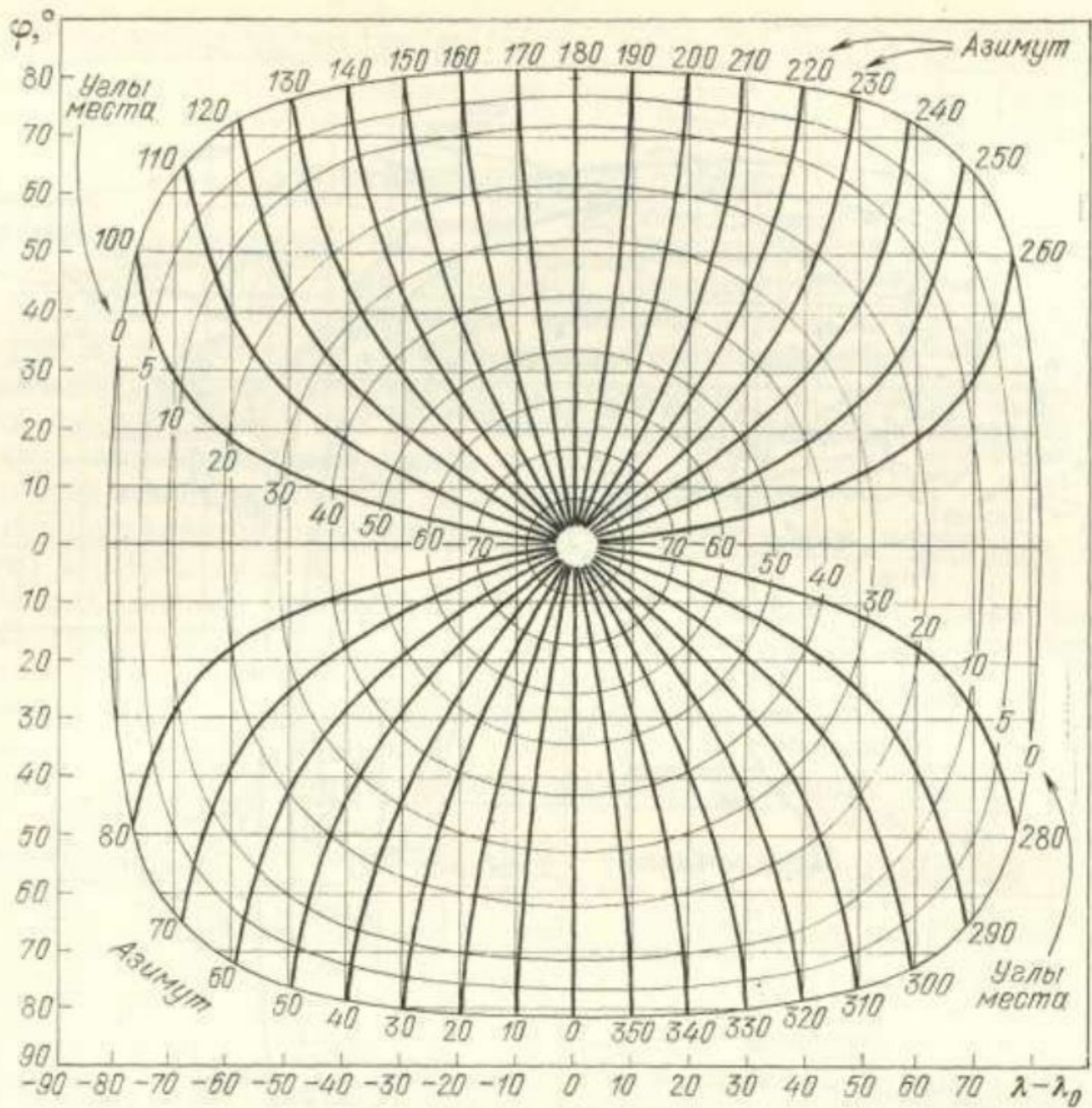
φ_{3C} - широта земной станции.

Значение угла места найдем как:

$$\beta = \arctg \left(\frac{\cos \psi - \gamma_0}{\sqrt{1 - \cos^2 \psi}} \right). \quad (2)$$

Значение азимута:

$$\alpha = 180^\circ + \arctg \left(\frac{\operatorname{tg} \Delta \lambda}{\sin \varphi_{3C}} \right). \quad (3)$$



Калькулятор азимута и угла места

Широта места установки ° ' "

Долгота места установки ° ' " (Найти координаты места по [названию](#), [IP](#))

Координаты спутника	Азимут	Угол места	Поворот конвертера
<input type="text"/> Выбор спутника ▼			

Расчитать азимут и угол места

Satellite Antenna Alignment 2.50.0.0 [NSS 11]

Файл Вид Язык Справка ГородаРоссии

Углы поворота антенны Азимут на солнце Оффсетная антенна Препятствия Отчет Транспондеры Информация

Спутник	E/W	°	Азимут °	Угол места °	www.lyr	
KazSat 1	E	103	0	114,725 °	11,590 °	http://w
Express A2	E	103	0	114,725 °	11,590 °	http://w
AsiaStar	E	105	0	113,031 °	10,349 °	http://w
AsiaSat 3S	E	105	5	112,612 °	10,037 °	http://w
Cakrawarta 1	E	107	7	110,783 °	8,656 °	http://w
Telkom 1	E	108	0	110,536 °	8,467 °	http://w
NSS 11	E	108	0	110,536 °	8,467 °	http://w
N-Sat 110	E	110	0	108,899 °	7,200 °	http://w
BSAT 1A, 2A	E	110	0	108,899 °	7,200 °	http://w
Sinosat 1	E	110	5	108,494 °	6,883 °	http://w
Koreasat 5	E	113	0	106,482 °	5,286 °	http://w
Palapa C2	E	113	0	106,482 °	5,286 °	http://w
Chinasat 6B	E	115	0	104,893 °	4,002 °	http://w
Koreasat 3	E	116	0	104,105 °	3,358 °	http://w
Telkom 2	E	118	0	102,538 °	2,067 °	http://w
Thaicom 1A	E	120	0	100,986 °	0,772 °	http://w
AsiaSat 4	E	122	2	99,291 °	-0,655 °	http://w
JCSAT 4A	E	124	0	97,913 °	-1,823 °	http://w
Sinosat 3	E	125	0	97,151 °	-2,472 °	http://w
JCSAT 3A	E	128	0	94,875 °	-4,419 °	http://w
JCSAT 5A, Vinasat 1	E	132	0	91,856 °	-7,010 °	http://w

Местоположение спутника

NSS 11

108 ° град E

Азимут: 110,536 °
Угол места: 8,467 °

Координаты места установки антенны

Широта места: "N" Северная; "S" Южная

48 ° град 48 ' мин 0 " сек N

Долгота места: "E" Восточная; "W" Западная

44 ° град 28 ' мин 0 " сек E

Название места	°	'	"	°	'	"
Chelyabinsk	55	10	0	61	25	0
Dobryanka	58	27	0	56	25	0
Ekaterinburg	56	50	0	60	43	0
Elabuga	55	45	0	52	4	0
Irkutsk	52	16	0	104	20	0
Volgograd						

Сохранить Удалить

More downloads: <http://www.al-soft.com>

Online-расчет углов спутниковой антенны

18/5/111 0:1:9

Введите высоту и ширину антенны	1 м X 0.9 м
Введите усиление антенны из паспорта	39.1 дБ
Частота излучения	11700 МГц
Эффективность антенны	60.17 %

Выберите ваше географическое местоположение	<ul style="list-style-type: none">Россия - МоскваРоссия - ЕкатеринбургРоссия - ВладивостокРоссия - Н.НовгородРоссия - НовосибирскРоссия - Санкт-ПетербургРоссия - СтавропольРоссия - АрзгирРоссия - БлагодарныйРоссия - БуденновскРоссия - Георгиевск
Широта места, °	45.1 North 45 град. 6 мин. 0 сек.
Долгота места, °	41.55 East 41 град. 32 мин. 55 сек.
Высота над уровнем моря, м	0
Дуга теоретически возможных восточных спутников	120.0 East ~ 240.0 West
Дуга теоретически возможных западных спутников	323.1 East ~ 36.93 West
Позиция спутника, °	119.5 East равно 240.5 West
Выберите спутник	<ul style="list-style-type: none">Intelsat 701Inmarsat 3 f3Intelsat 605 (incl. 1.6°)GE-23Intelsat 2(PAS 2)Intelsat 8(PAS 8)Optus B1

Цель энергетического расчета

- Выбор оптимальных параметров земных станций
- Принятие решения о целесообразности использования конкретного ИСЗ или транспондера



Ограничения на энергетику спутниковой линии СВЯЗИ

Допустимая плотность потока мощности сигналов спутниковых передатчиков у земной поверхности

Диапазон частот [ГГц]	Допустимая плотность потока мощности у поверхности Земли [дБВт/м ²]		
	$\gamma \leq 5^\circ$	$5^\circ \leq \gamma \leq 25^\circ$	$25^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$
$\Delta f_H = 4$ кГц			
2,5–2,69	-152	$-152 + 0,75(\gamma - 5)$	-137
3,4–7,75	-152	$-152 + 0,5(\gamma - 5)$	-142
8,025–11,7	-150	$-152 + 0,5(\gamma - 5)$	-140
12,2–12,75	-148	$-152 + 0,5(\gamma - 5)$	-138
$\Delta f_H = 1$ МГц			
17,7–19,7	-115	$-115 + 0,5(\gamma - 5)$	-105
31,0–40,5	-115	$-115 + 0,5\gamma (-5)$	-105

Ограничения на энергетику спутниковой линии СВЯЗИ

**Предельно допустимые максимальная удельная ЭИИМ ствола ГСР
и минимальный диаметр антенн ЗС**

Диапазоны	<i>C</i>	<i>Ku</i>	<i>Ka</i>
ЭИИМ_{max} [Вт/Гц]	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
D_{min} [м]	1,5	1,1	0,46

Ограничения при размещении земных станций

Радионавигационные станции, работающие в диапазоне частот 960...1215 МГц и имеющие передатчики мощностью до 5 кВт могут создавать помехи по каналу первой ПЧ (950...2150 МГц).

Защитное расстояние должно составлять не менее 11 км. Для повышения защиты необходимо улучшать экранировку аппаратуры приёмного устройства, особенно соединительного кабеля. Которая должна обеспечивать ослабление не менее 80 дБ.

Возможны помехи от СВЧ печей, которые работают на частотах 2,45 и 5,85 ГГц. Соответственно 5-ая и 2-ая гармоники от них попадают в полосу частот, отведённую для сигналов спутникового телевизионного вещания и создают ППМ около -92 дБ Вт/м² на расстоянии 10м.

Снижение уровня помех обеспечивается защитой «расстоянием», которое должно быть не менее 10 м.

Методы расчета энергетики спутниковых линий связи

- Расчет через линию «вниз»
- Расчет двух участков спутниковой линии
- Расчет для заданной вероятности перерыва связи за счет осадков

Определение мощности сигнала на входе приёмника

$$P_{C.Bx.3C} = P_{Э.СП} - L + G_{A.3C} + \eta_{\Phi.3C}, \quad (4)$$

где $P_{C.Bx.3C}$ - уровень сигнала на входе земной станции, дБВт;

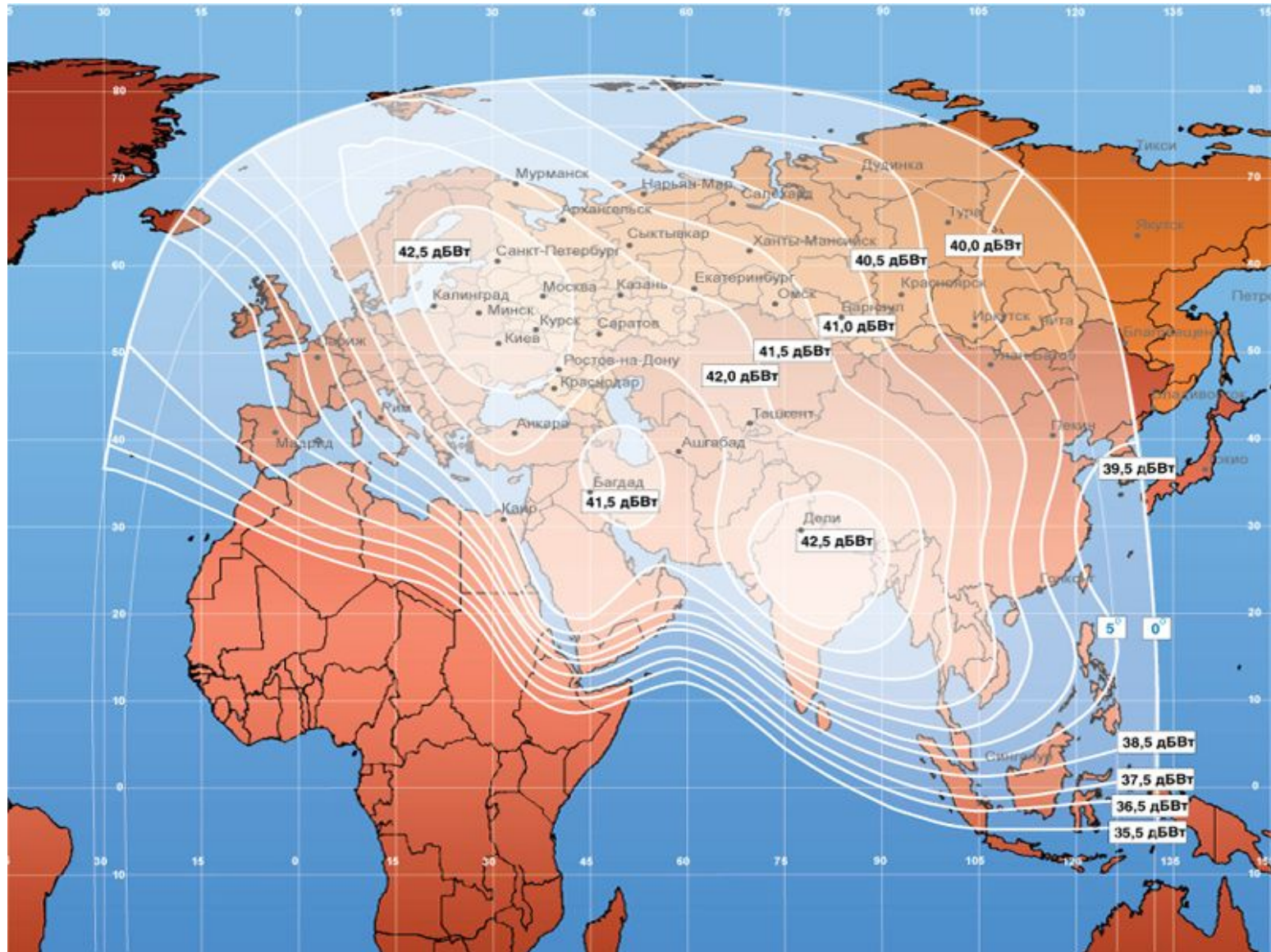
$P_{Э.СП}$ - эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ) на выходе спутника, дБВт;

$\eta_{\Phi.3C}$ - коэффициент передачи (по мощности) волноводного тракта (КПД тракта) земной станции, дБ (принимается равным 0,7-0,9 дБ);

$G_{A.3C}$ - коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя земной станции, дБ;

L - ослабление сигнала в тракте распространения на участке от спутника до земной станции, дБ.

Эффективная изотропная излучаемая МОЩНОСТЬ



Расчет потерь энергии сигнала при распространении по спутниковой радиолинии

Затухание энергии сигнала в свободном пространстве, определяемое уменьшением плотности потока мощности при удалении от излучателя:

$$L_0 = 20 \cdot \lg d + 20 \cdot \lg f + 92,4, \quad (6)$$

где d – наклонная дальность, км;

f – частота, ГГц.

Дополнительные потери определяются как:

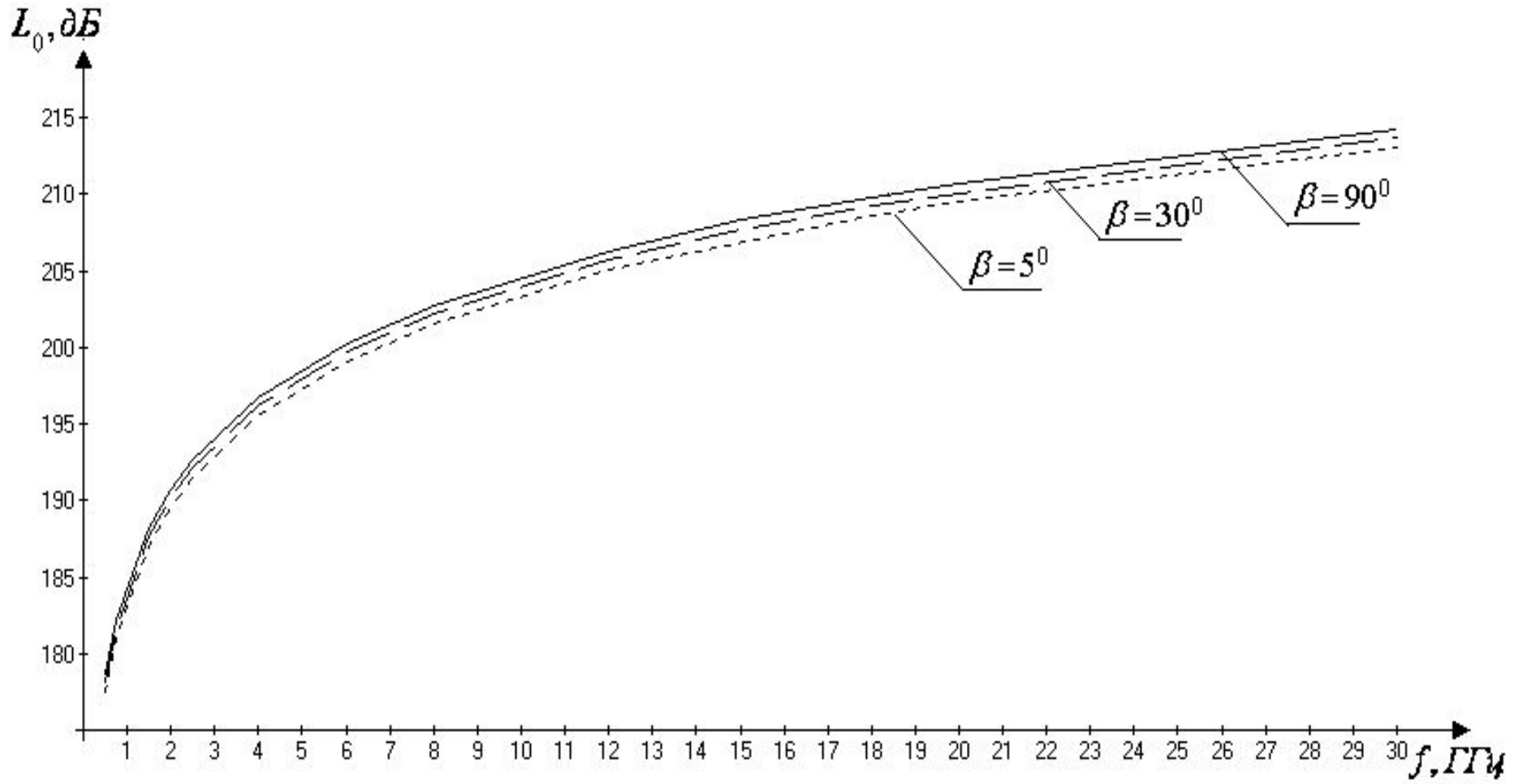
$$L_{\text{ДОП}} = L_A + L_H + L_{\text{П}}, \quad (7)$$

где L_A - потери энергии сигнала в атмосфере, дБ;

L_H - потери энергии сигнала из-за рефракции и неточности наведения антенны, дБ;

$L_{\text{П}}$ - поляризационные потери энергии сигнала, дБ.

Зависимость затухания сигнала в свободном пространстве от частоты при различных углах места



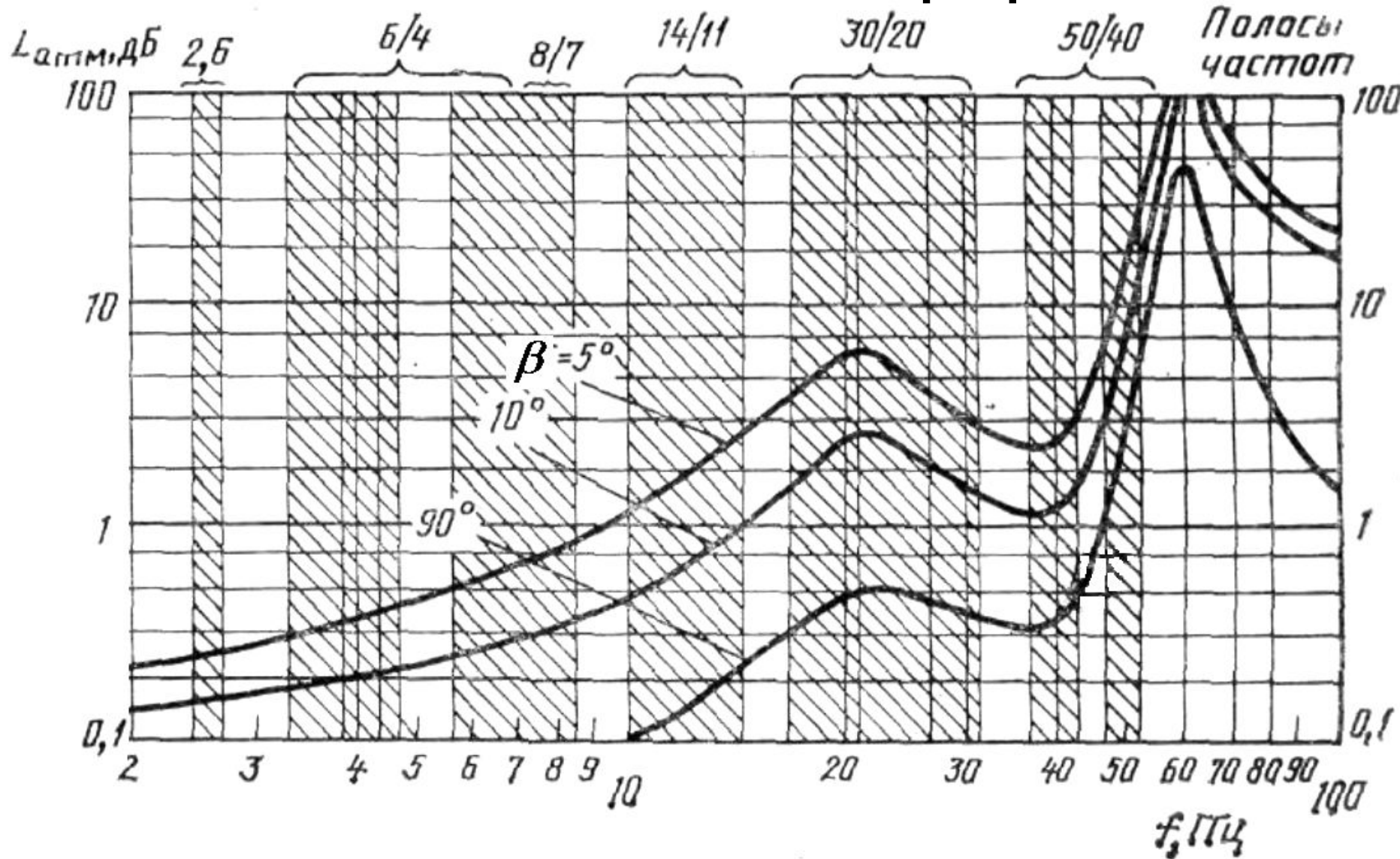
Потери энергии сигнала в атмосфере находятся как:

$$L_A = L_{ATM} + L_D, \quad (8)$$

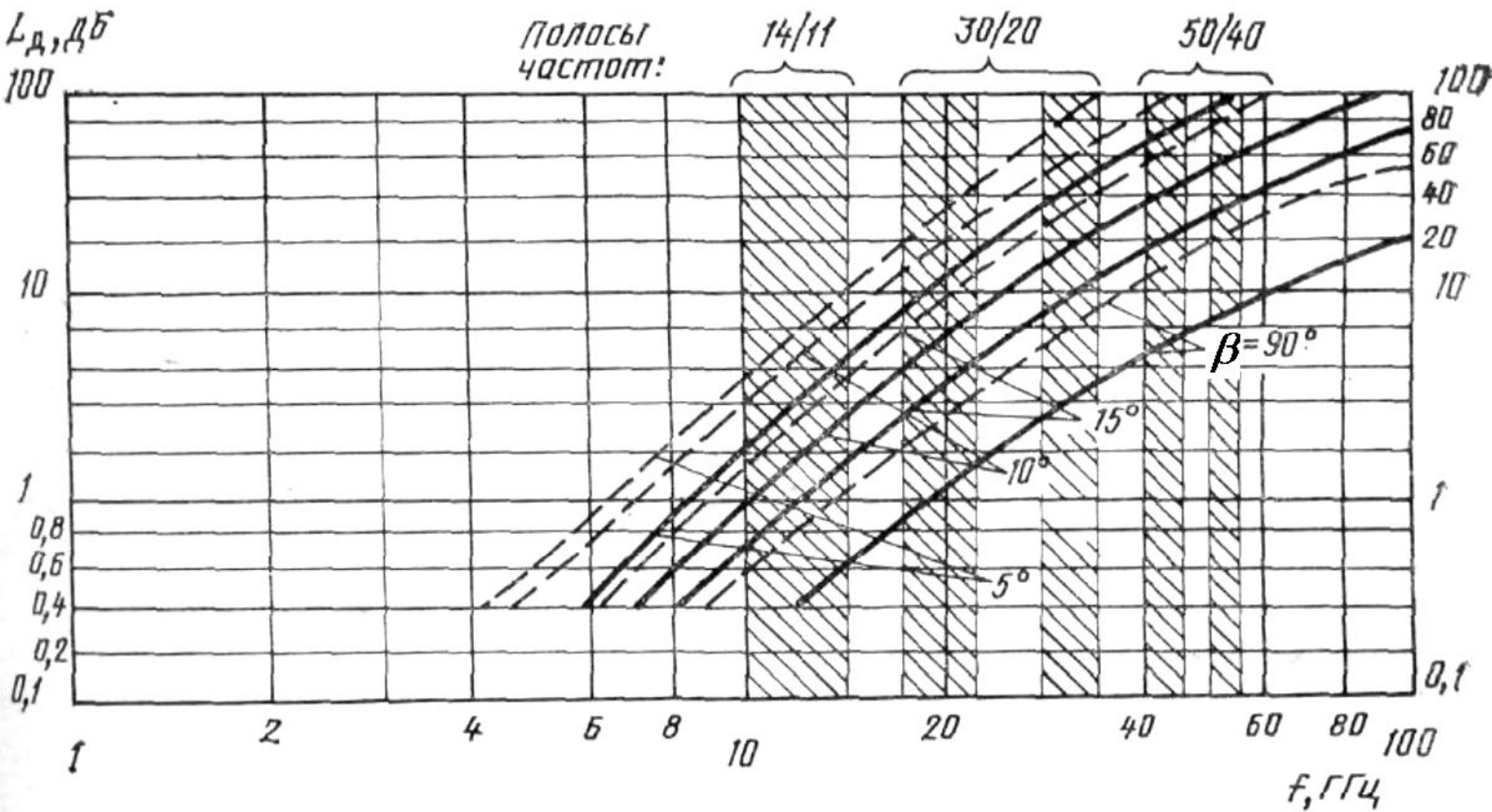
где L_{ATM} - затухание радиоволн в спокойной атмосфере, дБ;

L_D - затухание радиоволн в дожде, дБ.

Потери энергии сигнала в спокойной атмосфере



Потери энергии сигнала в осадках



Потери энергии сигнала из-за рефракции и неточности наведения антенны

Рефракция - это искривление траектории сигнала при прохождении через атмосферу (ионосферу и тропосферу).

Потери из-за наведения носит неподдающийся оценке статистический характер и может примерно на 1 дБ увеличить общие потери.

Поляризационные потери

- потерь, вызванных несогласованностью поляризаций,
- потерь, связанных с эффектом Фарадея,
- потерь из-за деполяризации радиоволн в осадках.

В сумме не превышают 1,5 – 2,0 дБ

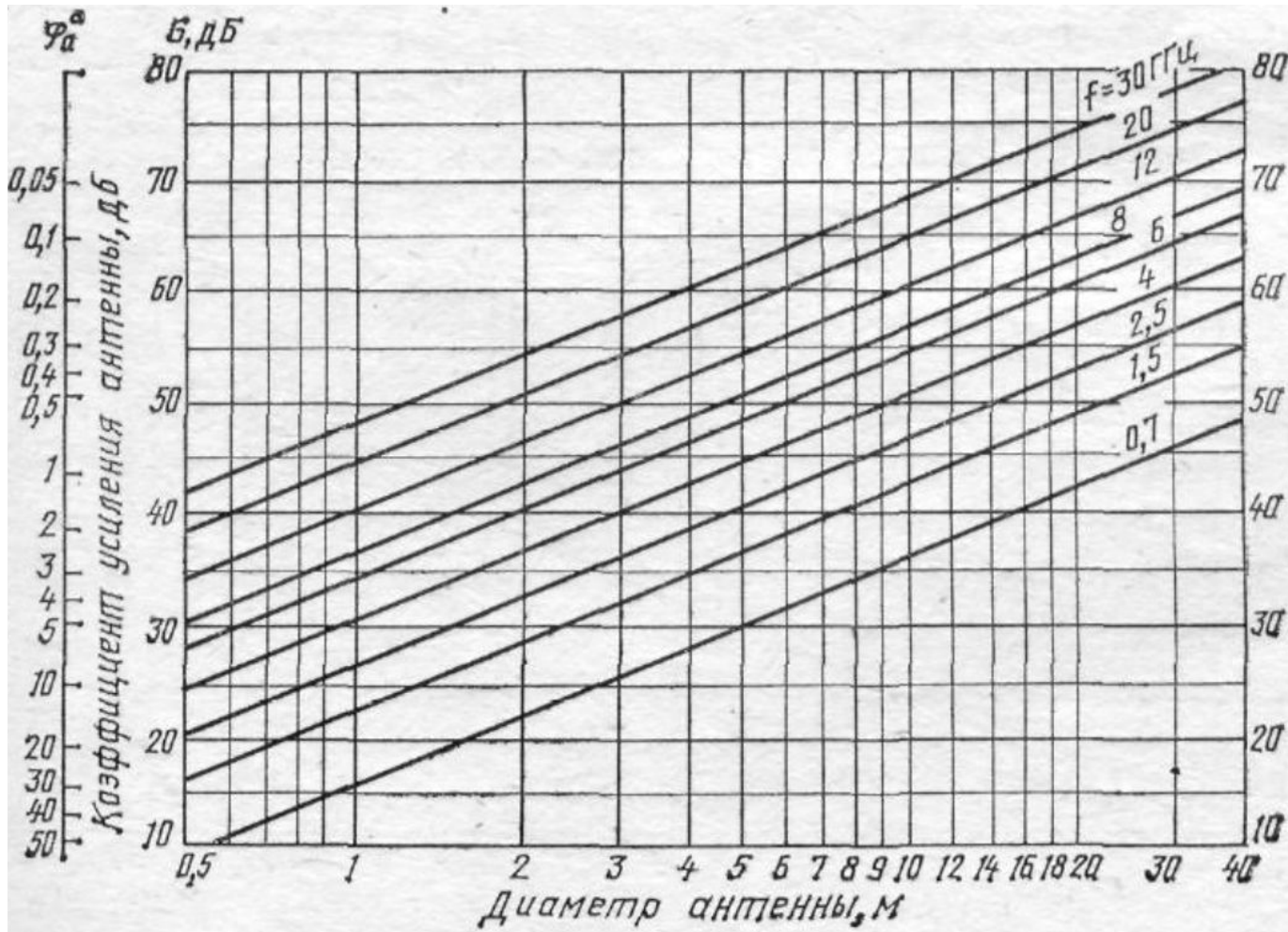
Влияние эффекта Фарадея

$$\psi \approx \frac{2,32 \cdot 10^{19}}{f^2 \cdot \sqrt{1 - 0,91 \cos \beta}},$$

$$L_{\phi} = 20 \lg |\cos \psi|,$$

Частота, ГГц	0,5	1,5	4	8	12	16	20	30
90°	26	0,14	0,002	0,001	0	0	0	0
60°	4,5	0,3	0,005	0	0	0	0	0
30°	0,63	0,68	0,013	0	0	0	0	0
20°	7	1	0,02	0,001	0	0	0	0
5°	5,14	1,6	0,03	0,002	0	0	0	0

Коэффициент усиления антенны приёмной земной станции



$$S = \pi R^2 = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

$$G = \frac{4\pi S k_{\text{исп}}}{\lambda^2}$$

Таким образом, рассчитан уровень мощности сигнала на входе приёмной земной станции

$$P_{C.Bx.3C} = P_{Э.СП} - L + G_{A.3C} + \eta_{\Phi.3C}$$

Определение шумовых параметров

$$P_{ш.зс} = kT_{\Sigma}\Delta f_{ш},$$

где k - постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц·К

$\Delta f_{ш}$ - эквивалентная (энергетическая) шумовая полоса приемника, Гц.

T_{Σ} - суммарная эквивалентная шумовая температура приемной станции, приведенная к облучателю антенны, К.

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot \left(\frac{1}{\eta_{ПР}} - 1 \right) + \frac{T_{ПР}}{\eta_{ПР}}$$

$$T_{A.зс} = T_{АТМ}(\gamma) + c \cdot T_3 + T_{КОСМ}(\gamma)$$

Шумовая температура приёмной системы

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \left(\frac{1}{\eta_{ПП}} - 1 \right) + \frac{T_{ПП}}{\eta_{ПП}},$$

где T_A — результирующая шумовая температура антенны, К;

$T_0 = 290$ К - физическая температура окружающей среды;

$\eta_{ПП}$ - коэффициент передачи волноводного тракта приемной станции от облучателя антенны до входа приемника;

$T_{ПП}$ - собственная шумовая температура приемника, К.

В свою очередь для приемной антенны земной станции:

$$T_A = T_{атм}(\beta) + c \cdot T_3 + T_{косм}(\beta),$$

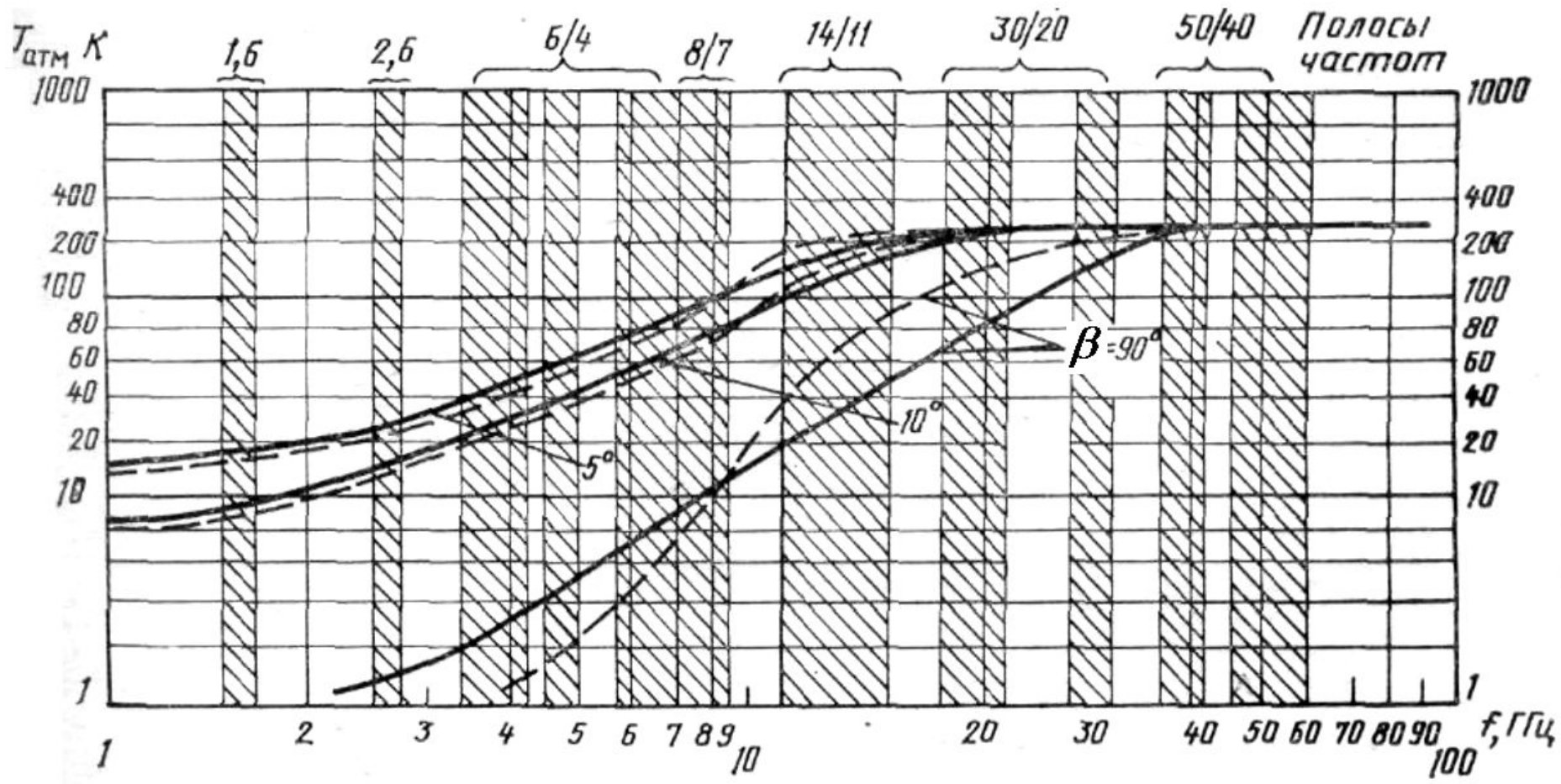
где $T_{атм}(\beta)$ - шумовая температура, обусловленная шумами атмосферы и зависящая от угла места β ;

T_3 - шумовая температура, обусловленная тепловым излучением Земли;

$T_{косм}(\beta)$ - шумовая температура, обусловленная шумами космического происхождения;

c — коэффициент, учитывающий усредненный уровень боковых и задних лепестков диаграммы направленности антенны. Коэффициент $c = 0,2$ для антенн ЗС.

Шумовая температура атмосферы



Шумовая температура Земли в практических случаях может быть положена равной 290 К.

Шумы космического происхождения определяются в основном излучениями Галактики, Солнца и Луны. При этом усредненная температура шумов Галактики не превышает 10 К на частотах более 2 ГГц

Шумовая температура приемника обусловлена его собственными тепловыми шумами, зависит от типа приемника

$$T_{np} = (10^{0,1 \cdot n_{ш}} - 1) 290 K$$

Результат расчета на линии

«ВНИЗ»

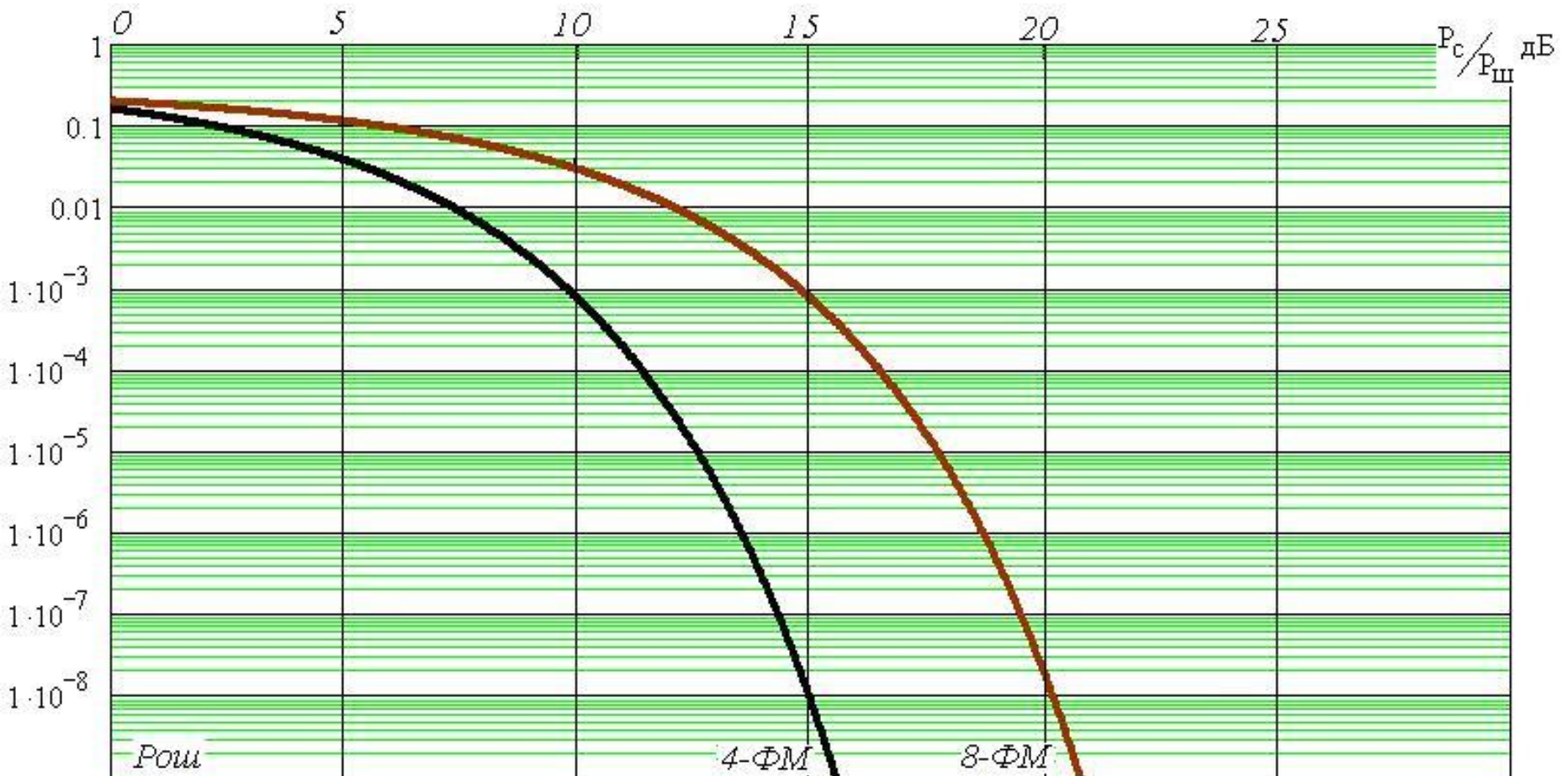
$$\frac{P_{C.Вх.ЗС}}{P_{Ш.ЗС}}$$

Результирующее отношение сигнал-шум на выходе линии

$$\left(\frac{P_C}{P_{Ш}} \right)_{\Sigma} = \frac{1}{b} \cdot \left(\frac{P_C}{P_{Ш}} \right)_{ВхЗС}$$

где $b = 1.1 \div 1.3$ – энергетический запас

Определение вероятности ошибочного проема в зависимости от С/Ш и метода модуляции



Модуляция	Скорость внутреннего кода	Спектральная эффективность, бит/Гц	Запас на реализацию модема, дВ	С/Ш для $P_{\text{ош}} = 2 \times 10^{-4}$ дБ
QPSK	1/2	0,92	0,8	4,5
	2/3	1,23	0,8	5
	3/4	1,38	0,8	5,5
	5/6	1,53	0,8	6
	7/8	1,61	0,8	6,4
8PSK	2/3	1,84	1	6,9
	5/6	2,3	1,4	8,9
	8/9	2,46	1,5	9,4

Режим	Спектральная эффективность	С/Ш для $P_{0ш}=2 \times 10^{-4}$, дБ
QPSK 1/4	0,49	-2,35
QPSK 1/3	0,66	-1,24
QPSK 2/5	0,79	-0,3
QPSK 1/2	0,99	1
QPSK 3/5	1,19	2,23
QPSK 2/3	1,32	3,1
QPSK 3/4	1,49	4,03
QPSK 4/5	1,59	4,68
QPSK 5/6	1,65	5,18
QPSK 8/9	1,77	6,2
QPSK 9/10	1,79	6,42

Режим	Спектральная эффективность, бит/Гц	Идеальное E_s/N_0 (dB) для FEC фрейма длиной 64 800 бит
8PSK 3/5	1,78	5,5
8PSK 2/3	1,98	6,62
8PSK 3/4	2,23	7,91
8PSK 5/6	2,48	9,35
8PSK 8/9	2,65	10,69
8PSK 9/10	2,68	10,98
16APSK 2/3	2,64	8,97
16APSK 3/4	2,97	10,21
16APSK 4/5	3,17	11,03
16APSK 5/6	3,3	11,61
16APSK 8/9	3,52	12,89
16APSK 9/10	3,57	13,13

Расчет двух участков спутниковой ЛИНИИ

$$\text{ЭИИМ} = 10 \lg(P_{\text{ПД}} \eta_{\text{ПД}}) + G_{\text{ПД.ЗС}}$$

$$\frac{G}{T} = G_{\text{ПР.КС}} - 10 \lg T_{\Sigma}$$

$$L_p = L_0 + L_{\text{дон}}$$

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{Ш}}} \right) = \text{ЭИИМ} - L_p + \frac{G}{T} + 228.6$$

Потери энергии сигнала в спокойной атмосфере

$$L_a = L'_{O_2} \cdot l_1 + L'_{H_2O} \cdot l_2,$$

L'_{O_2} L'_{H_2O} — коэффициенты погонного поглощения энергии в кислороде и водяных парах, дБ/км,

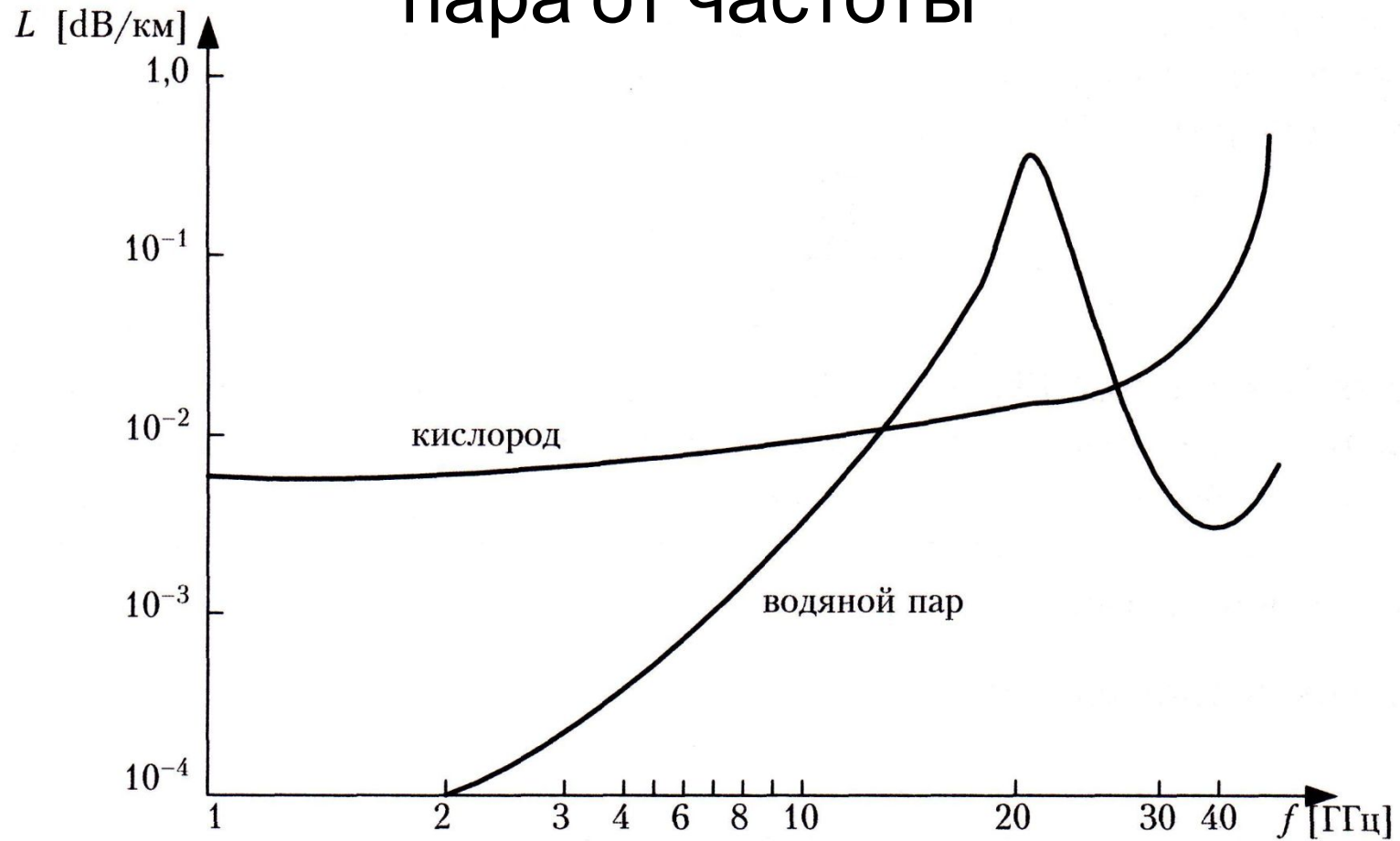
l_1 l_2 — эквивалентная длина пути сигнала в средах кислорода и водяного пара соответственно, км.

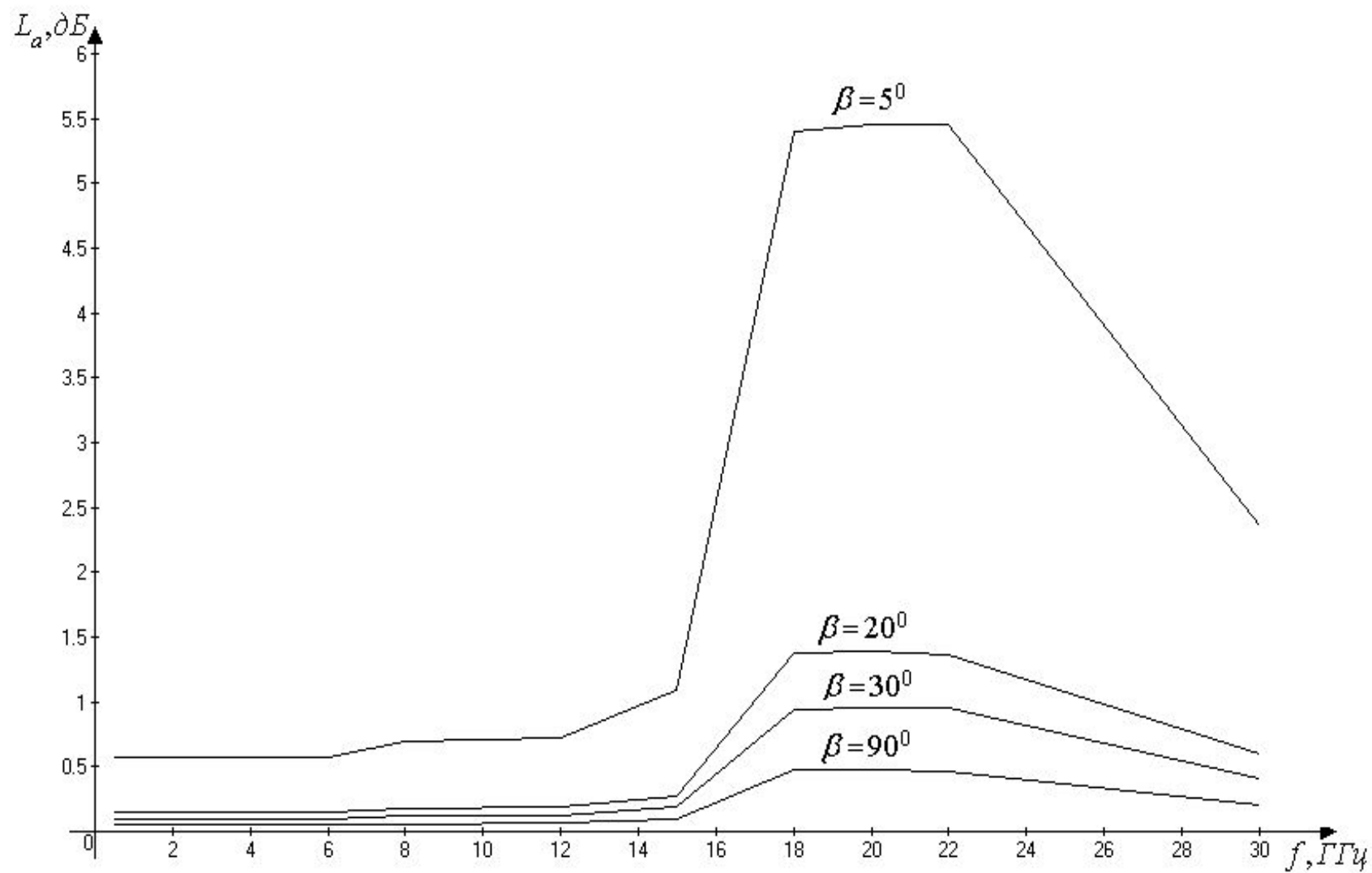
$$l_1 = \frac{h'_{O_2} - h_3}{\sin \beta}, \quad l_2 = \frac{h'_{H_2O} - h_3}{\sin \beta},$$

$$h'_{O_2} \approx 5,3 \text{ км}$$

$$h'_{H_2O} \approx 2,1 \text{ км}$$

Зависимость погонного коэффициента поглощения для кислорода и водяного пара от частоты





Ослабление энергии сигнала в осадках

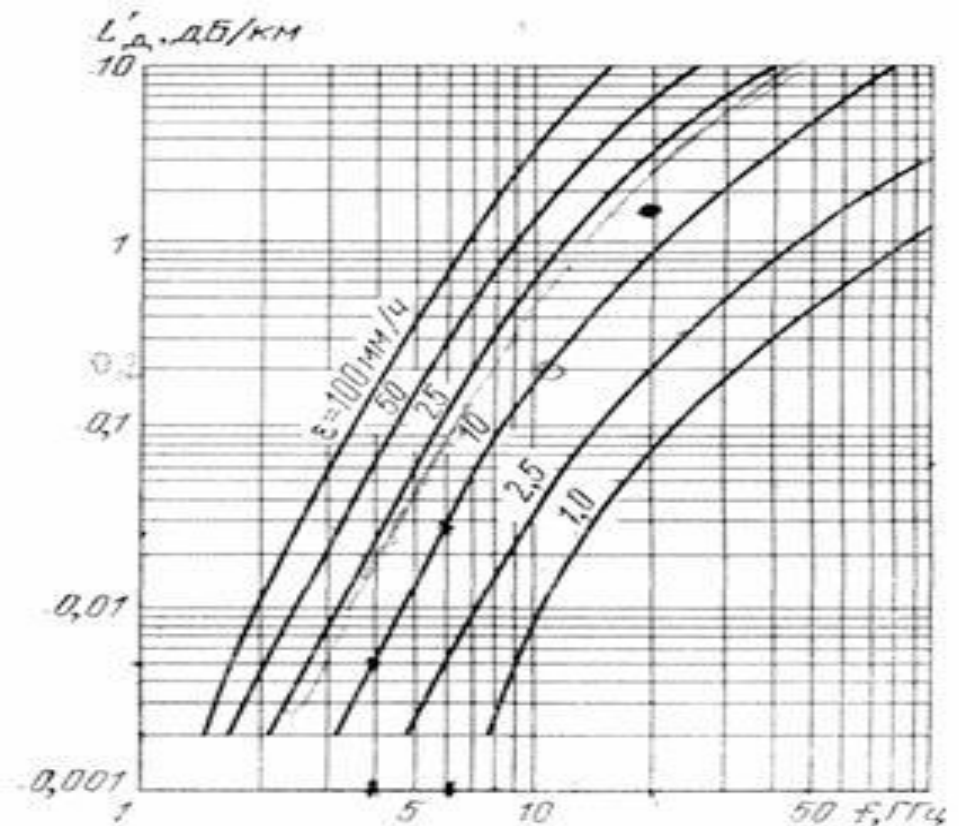
$$L_{Д} = L'_{Д} \cdot l_{3},$$

$L'_{Д}$

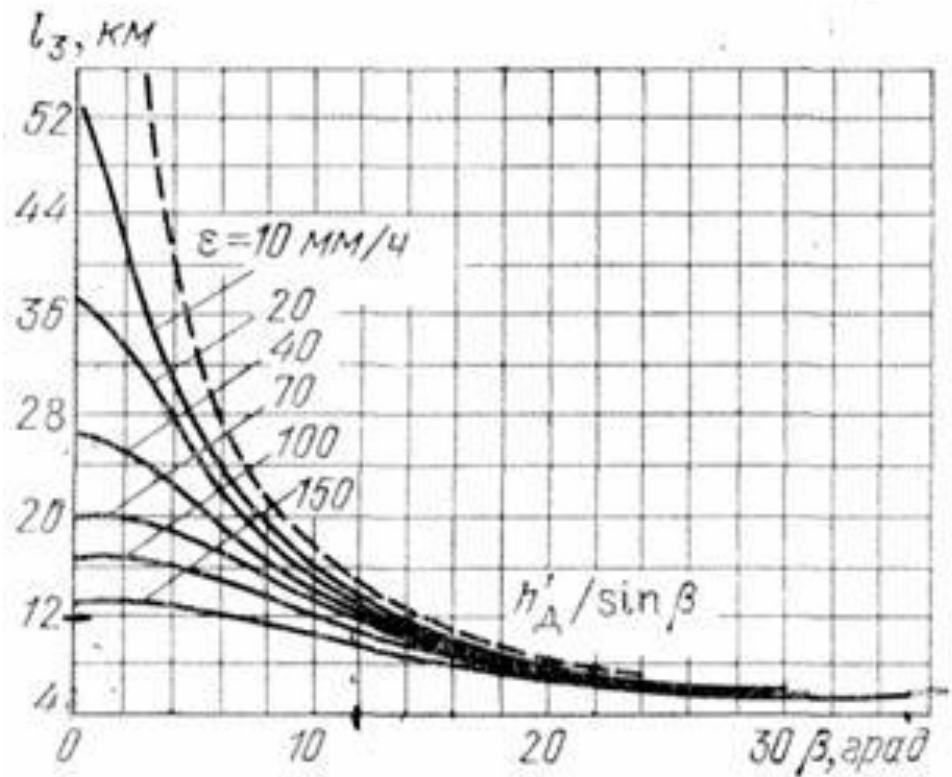
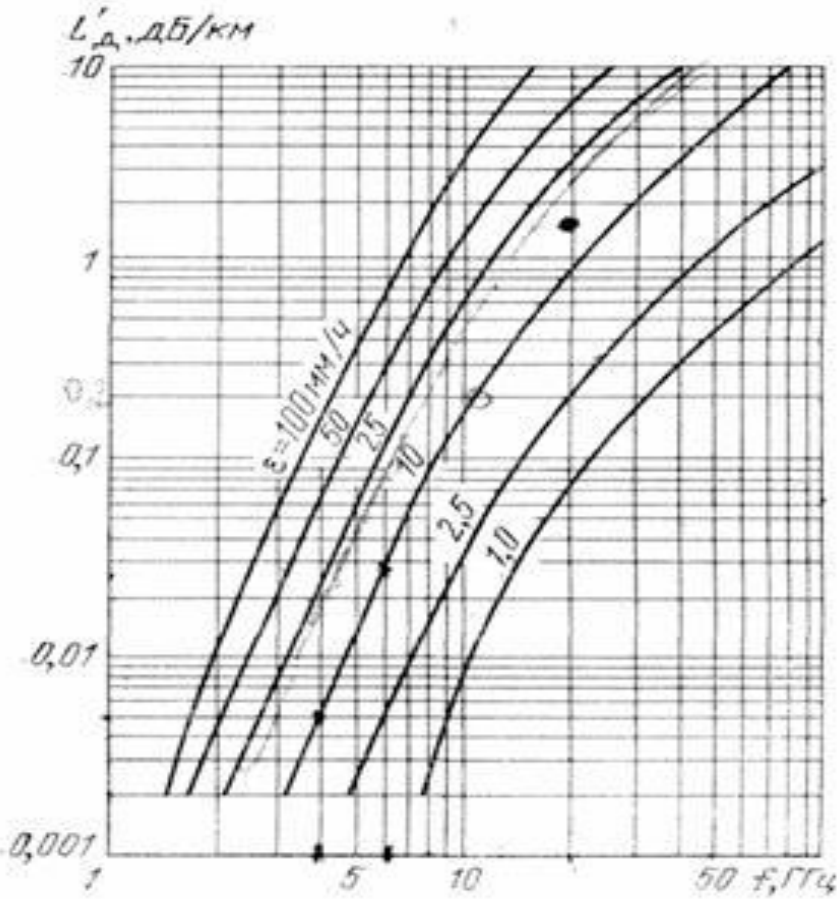
— коэффициент погонного поглощения в гидрометеорах, дБ/км,

l_{3}

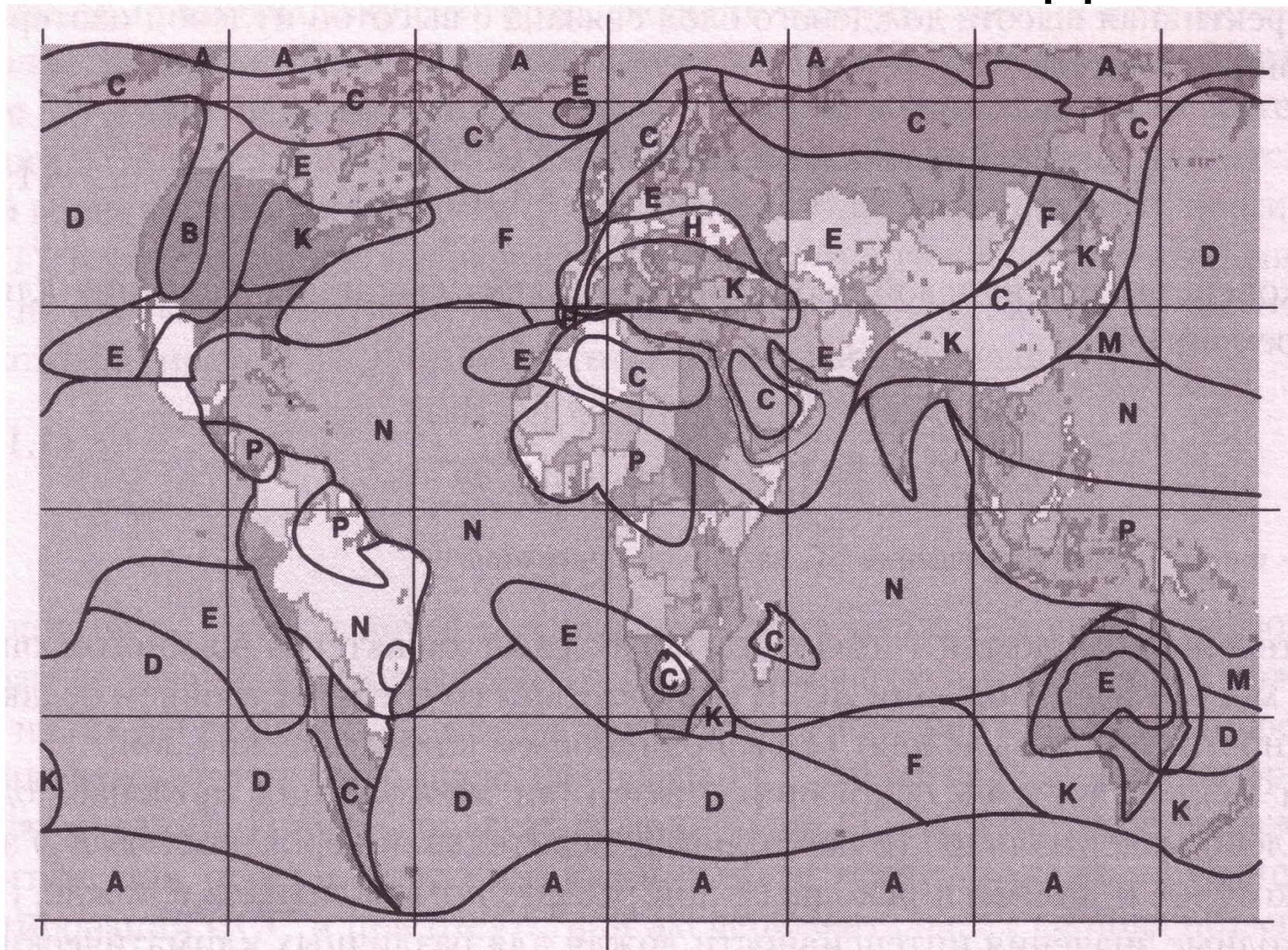
— эквивалентная длина пути сигнала, км.



Ослабление энергии сигнала в осадках



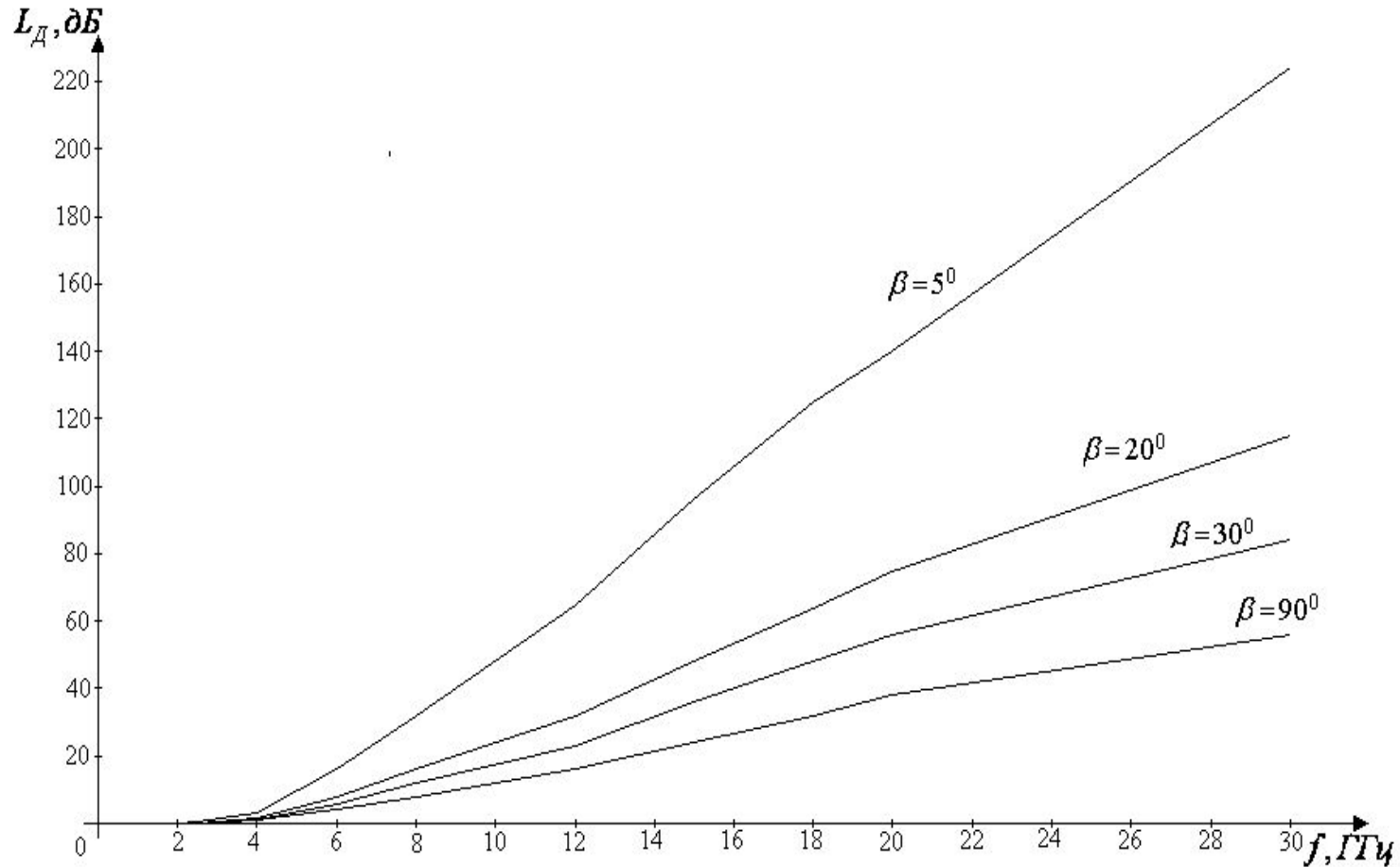
Учёт интенсивности осадков



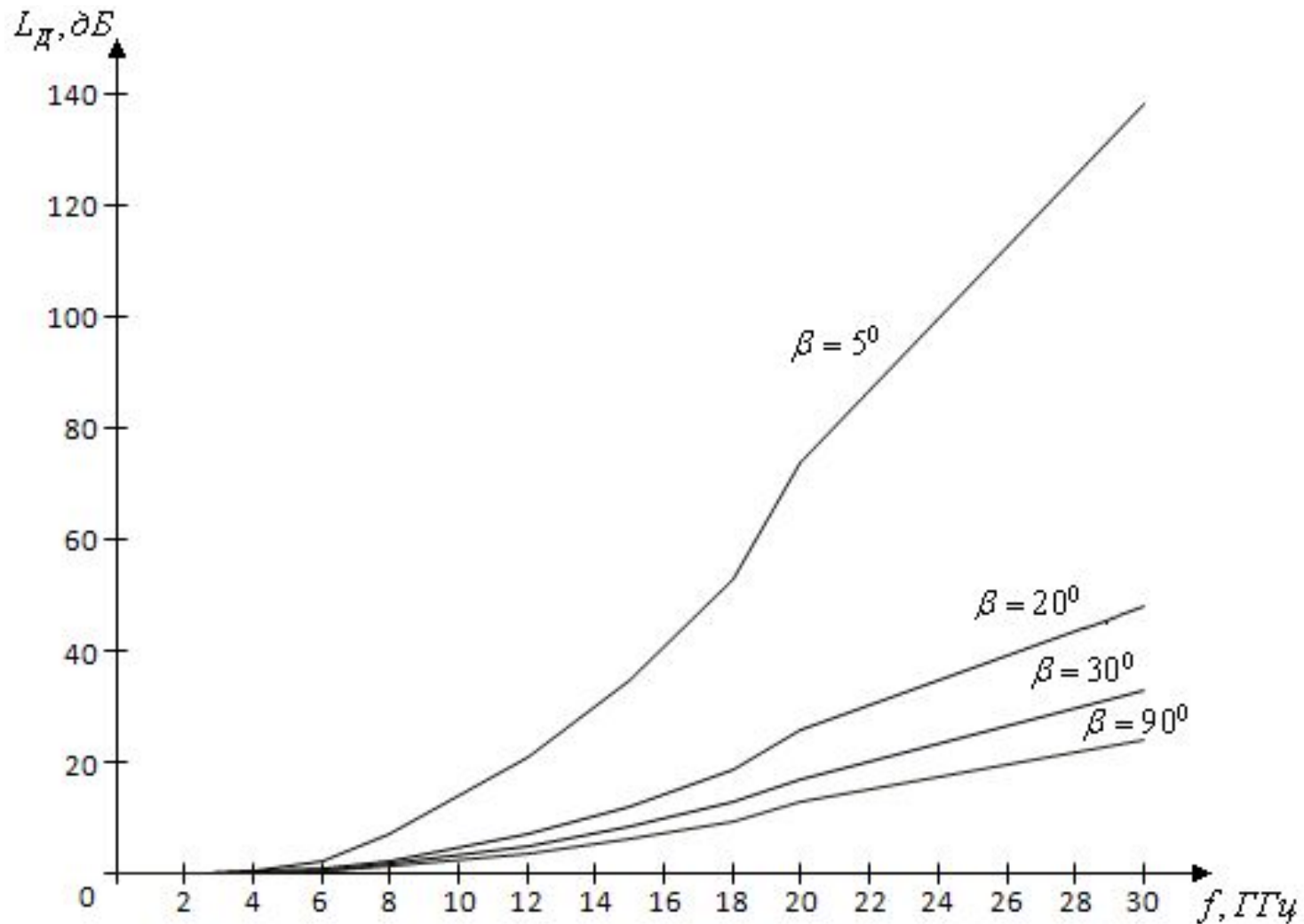
Исходные значения интенсивности дождя - [мм/час] для различных климатических зон

K_d	Климатическая зона													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
0,99	-	1	-	3	1	2	-	-	-	2	-	4	5	12
0,997	1	2	3	5	3	4	7	4	13	6	7	11	15	34
0,999	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65
0,9997	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105
0,9999	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145
0,99997	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200
0,99999	22	32	42	42	70	78	65	83	65	100	150	120	180	250

Зависимость затухания сигнала в осадках с интенсивностью 100 мм/ч от частоты



Зависимость затухания сигнала в осадках с интенсивностью 30 мм/ч от частоты



Адрес СибГУТИ:

630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86.

Телефоны: (383) 269-82-27, 269-82-28

Электронная почта: info@sibsutis.ru

Сайт: www.sibsutis.ru

Лицензия №283445 от 17 января 2008 года.

Свидетельство о государственной аккредитации №1222 от 07 марта 2008 года.



Параметры стандарта DVB-S/S2

	DVB-S	DVB-S2
<u>Интерфейс ввода</u>	Единый <u>транспортный поток</u> (TS)	Многоканальный <u>транспортный поток</u>
<u>Коррекция ошибок</u> (FEC)	RS 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 и 9/10	<u>LDPC</u> + <u>VCH</u> 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 и 9/10
Режимы <u>модуляции</u> и	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK
Полоса пропускания	не определена	не определена
Минимальное требуемое ОСШ, дБ	2,5 – 7,5	-2.4 - 16
Спектральная эффективность, Бит/с/Гц	0,9 – 1,5	0,49 – 4,25