

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

Расчеты характеристик рассеяния наземных объектов были получены для следующих основных углов места зондирования  $\varepsilon$  (рис. 3.198):  $1^\circ$  (зондирование наземными радиолокационными системами);  $10^\circ$  и  $30^\circ$  (зондирование радиолокационными системами воздушных объектов). Шаг изменения азимута зондирования составлял  $1^\circ$ , азимут  $\beta$  отсчитывался от лобового ракурса ( $0^\circ$  соответствует зондированию в лоб танка,  $180^\circ$  – зондирование в направлении кормовой части корпуса). Результаты расчетов приведены для частоты облучения равной 10 ГГц (длина волны 3 см).

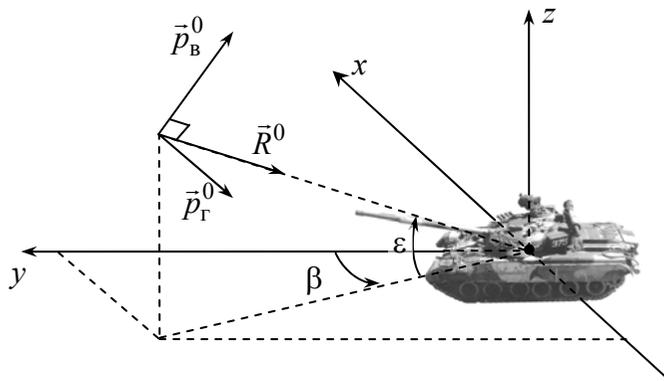


Рис. 3.198. Геометрия облучения наземного объекта

Результаты получены для случая совмещенного приема для двух ортогональных поляризаций зондирующего сигнала: горизонтальной – вектор напряженности электрического поля падающей волны  $\vec{p}_r^0$  параллелен подстилающей поверхности; вертикальной – вектор напряженности электрического поля падающей волны  $\vec{p}_v^0$  ортогонален  $\vec{p}_r^0$  и лежит в плоскости, перпендикулярной подстилающей поверхности и проходящей через вектор направления падающей плоской волны. Далее на всех рисунках синим цветом обозначен случай горизонтальной поляризации падающей

волны, малиновым цветом – случай вертикальной поляризации.

Результаты расчетов приведены для двух типов подстилающей поверхности, имеющих наиболее характерные значения относительной диэлектрической проницаемости, а именно: для сухого суглинка ( $\epsilon' = 3 + j0,4$ ); для влажного суглинка (относительная влажность 20%,  $\epsilon' = 17 + j0,9$ ; относительная магнитная проницаемость для обоих типов почв равна 1). В случае угла места зондирования  $\epsilon = 1^\circ$  диаграммы приведены только для сухого суглинка, так как модули коэффициентов отражения  $|P|$  от разных подстилающих поверхностей при малых углах места практически одинаковы и приближаются к 1 (рис. 3.199). Различия между ними становятся более существенными при увеличении угла места.

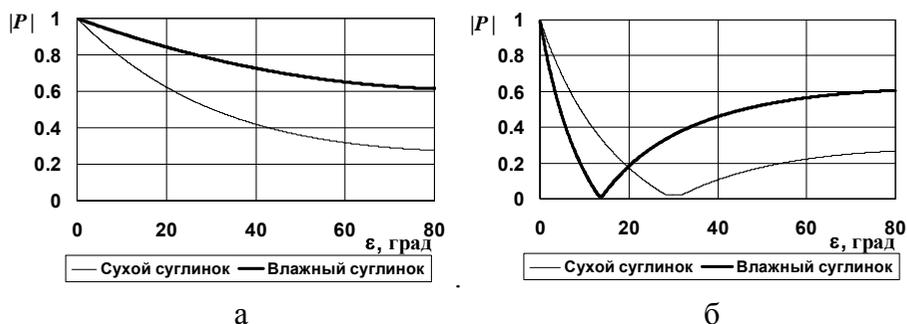


Рис. 3.199. Модуль коэффициента отражения от сухого и влажного суглинков при горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации зондирующего сигнала

Для наземных объектов гистограммы распределения амплитудного множителя отраженного сигнала (квадратного корня из ЭПР) приведены для двух углов места зондирования:  $\epsilon = 1^\circ$  и  $\epsilon = 30^\circ$ , в двух основных диапазонах азимутов облучения:  $-10^\circ \dots 10^\circ$  и  $10^\circ \dots 30^\circ$ . Для получения этих гистограмм в указанных диапазонах шаг изменения азимута выбирался равным  $0,02^\circ$ . Так же, как и для воздушных объектов, предложены теоретические плотности вероятности распределения амплитуд отраженных

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

сигналов, наиболее согласующиеся с полученными в вычислительном эксперименте данными.

#### 3.2.1. Характеристики рассеяния основного боевого танка Т-90

Танк Т-90 российского производства представляет собой последнюю модификацию машин Т-72 и принят на вооружение в 1993 году [98]. Танк Т-90 сохраняет особенность советского танкостроения – классическую компоновочную схему, при которой основное вооружение расположено в башне, силовая установка и трансмиссия – в кормовой части корпуса, а экипаж – отдельно: командир танка и наводчик в боевом отделении, механик-водитель – в отделении управления. Внешне Т-90 (рис. 3.200) практически полностью повторяет форму танка Т-72Б. Сам танк Т-72 разрабатывался конструкторским бюро "Уралвагонзавода" и был создан как один из вариантов модернизации танка Т-64А производства Харьковского завода им. Малышева [99].

Для расчетов использовалась идеально проводящая модель поверхности танка, представленная на рис. 3.201.



Рис. 3.200. Основной боевой танк Т-90

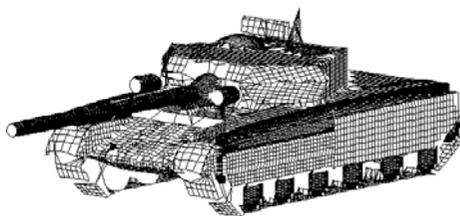


Рис. 3.201. Модель поверхности Т-90

Характеристики корпуса		Параметры модели поверхности танка	
Длина танка с пушкой	9,53 м	Количество участков эллипсоидов модели	89
Ширина	3,46 м	Количество кромочных участков в модели	34
Высота	2,23 м		
Боевой вес	46,5 т		

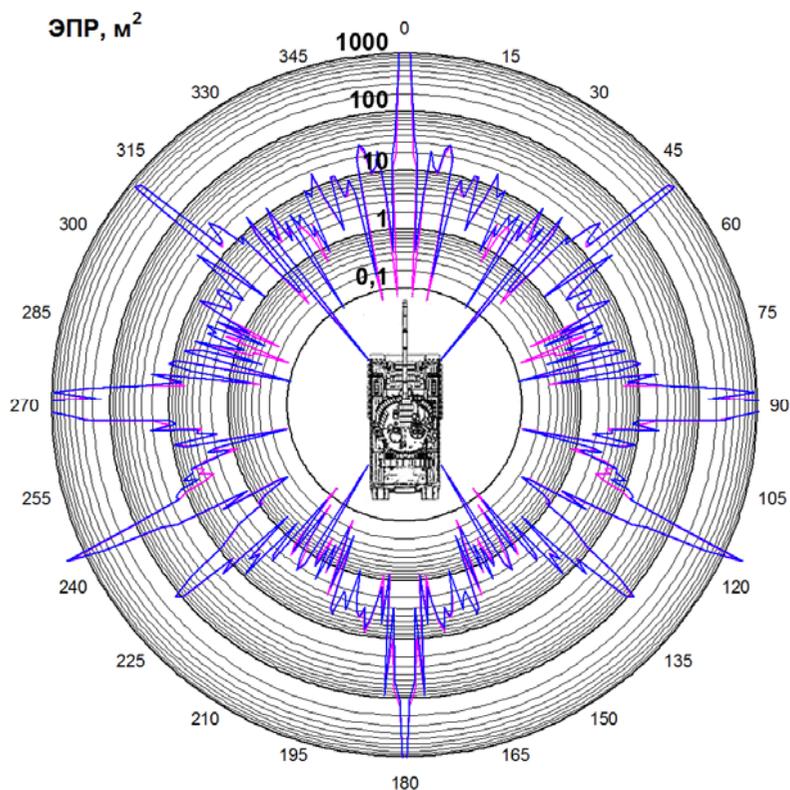


Рис. 3.202 Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ( $\epsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.203. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

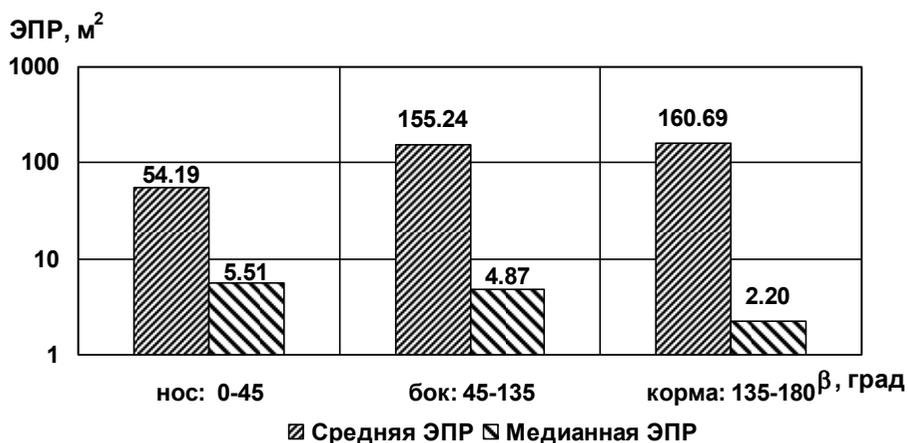


Рис. 3.204. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ( $\epsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

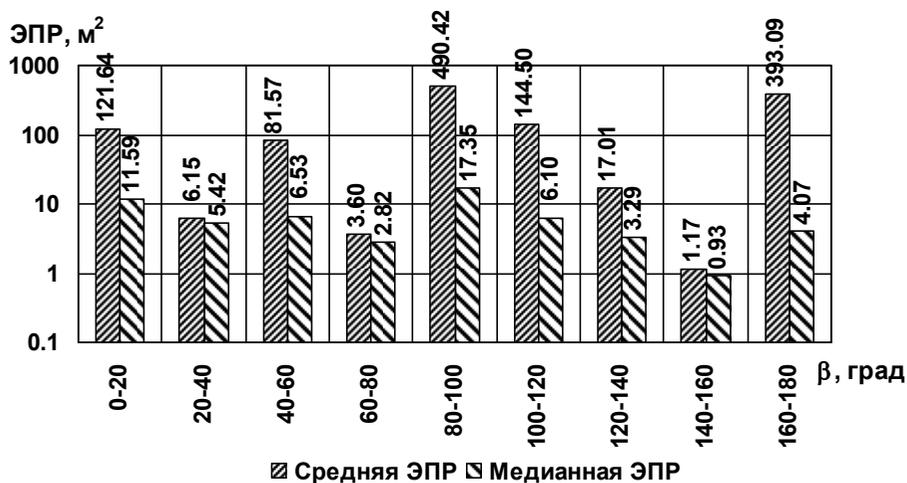


Рис. 3.205. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

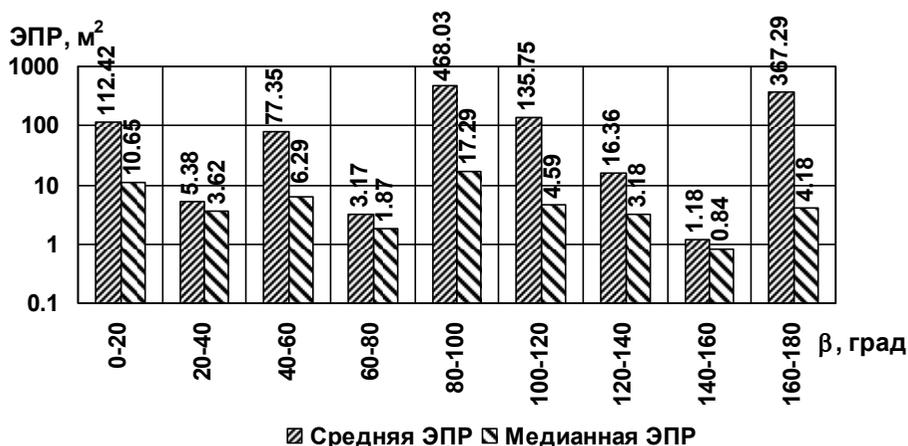


Рис. 3.206. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ( $\epsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

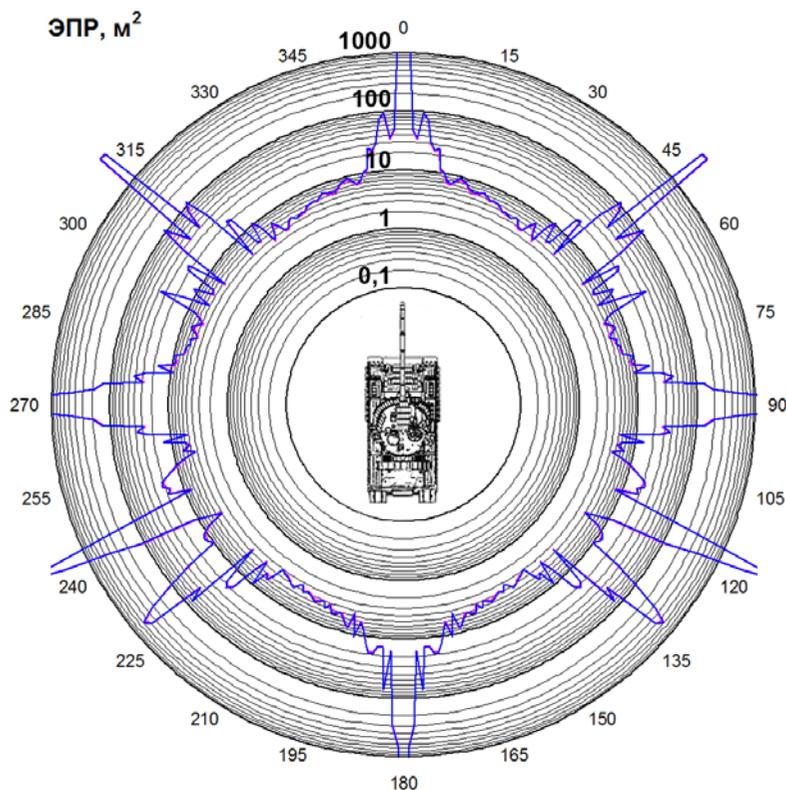


Рис. 3.207. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ( $\epsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

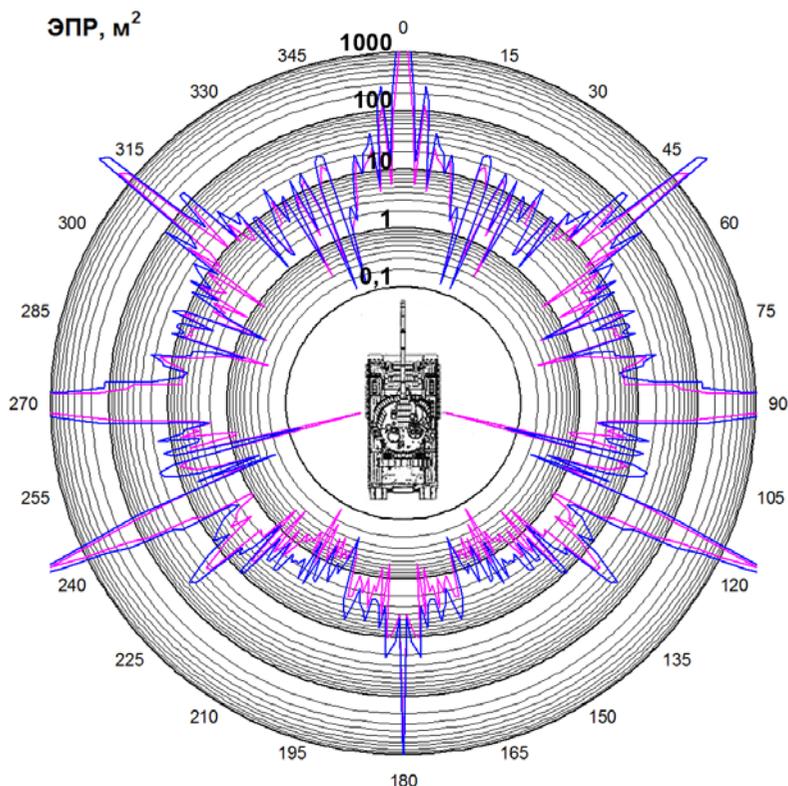


Рис. 3.208. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ( $\epsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.209. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

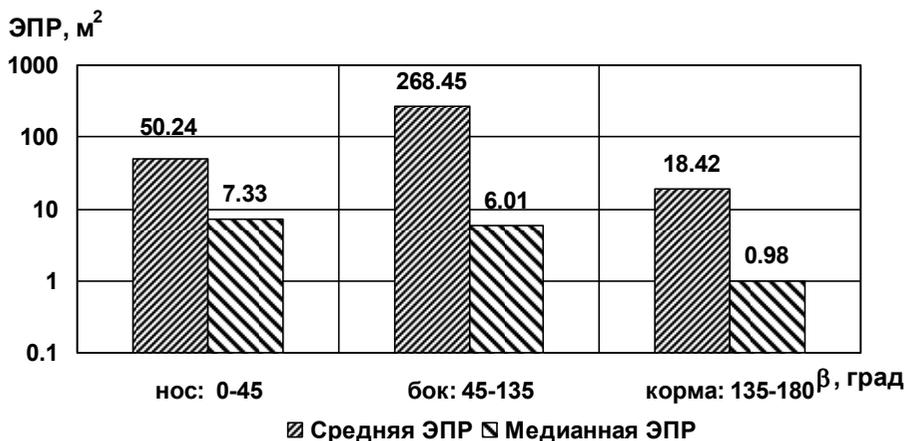


Рис. 3.210. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ( $\epsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

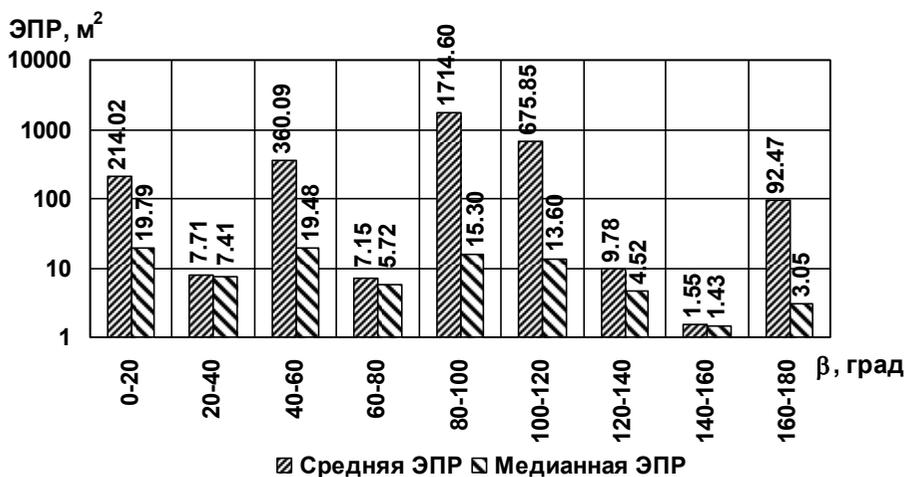


Рис. 3.211. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

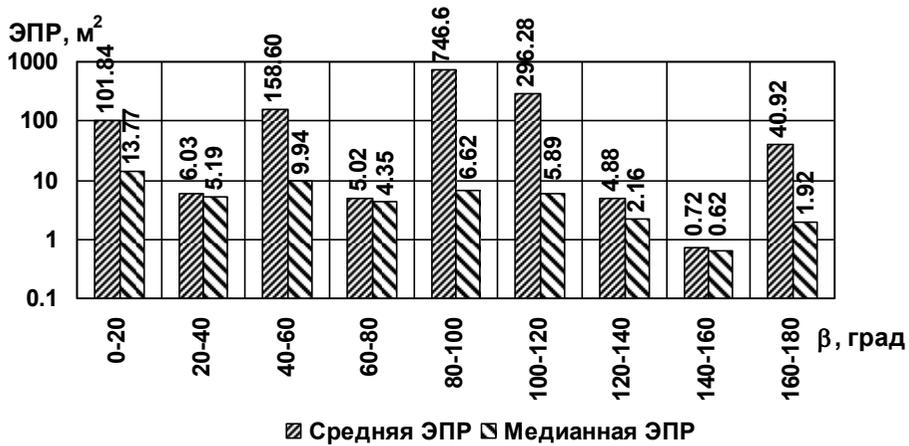


Рис. 3.212. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ( $\epsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

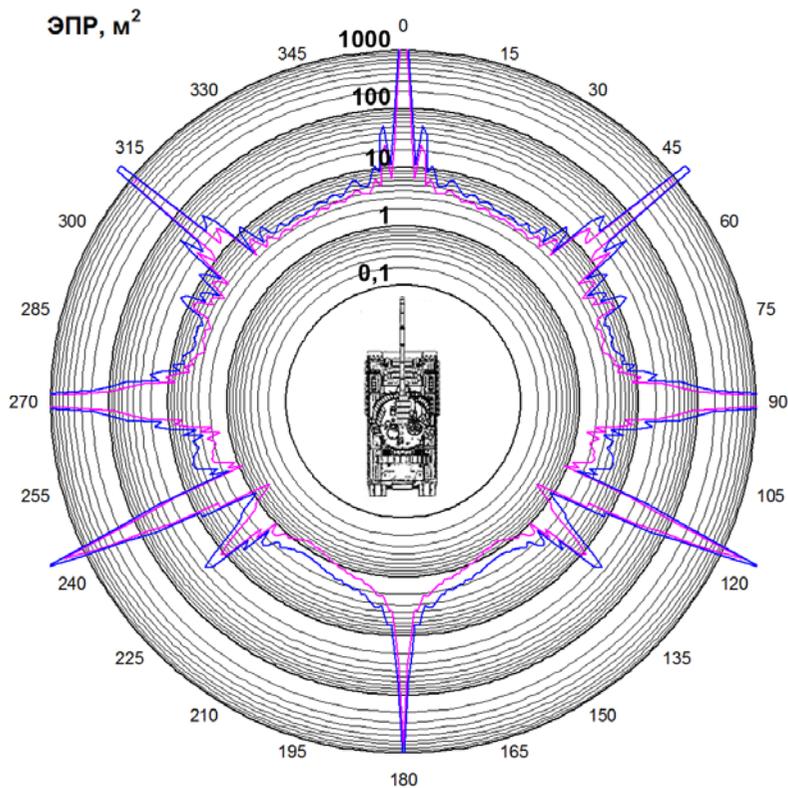


Рис. 3.213. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ( $\epsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

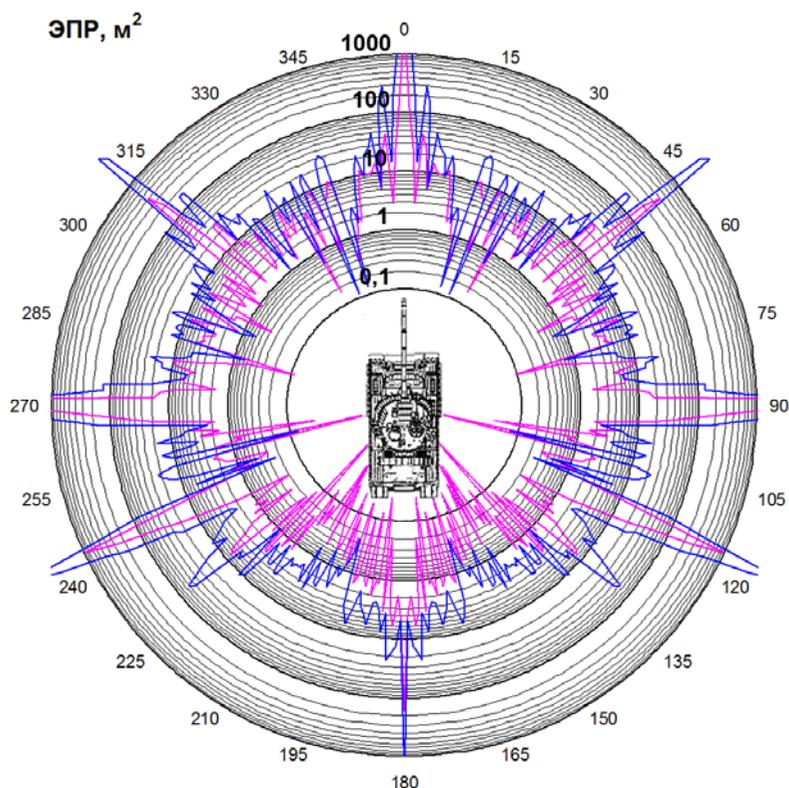


Рис. 3.214. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ( $\varepsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

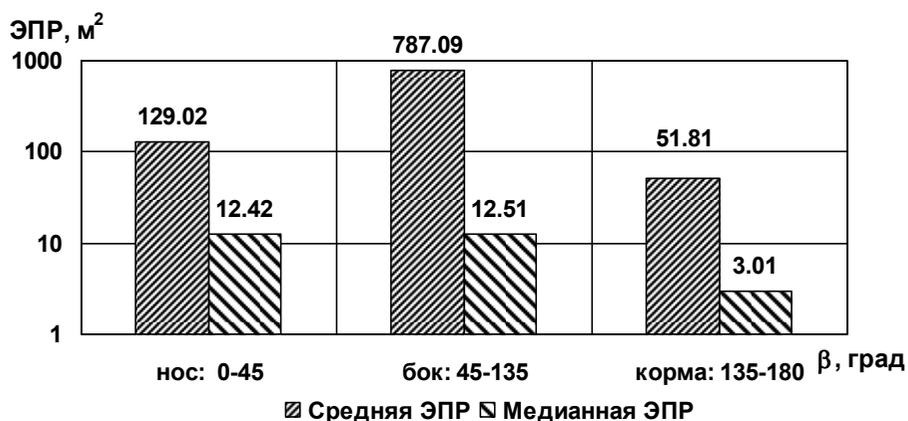


Рис. 3.215. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\varepsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

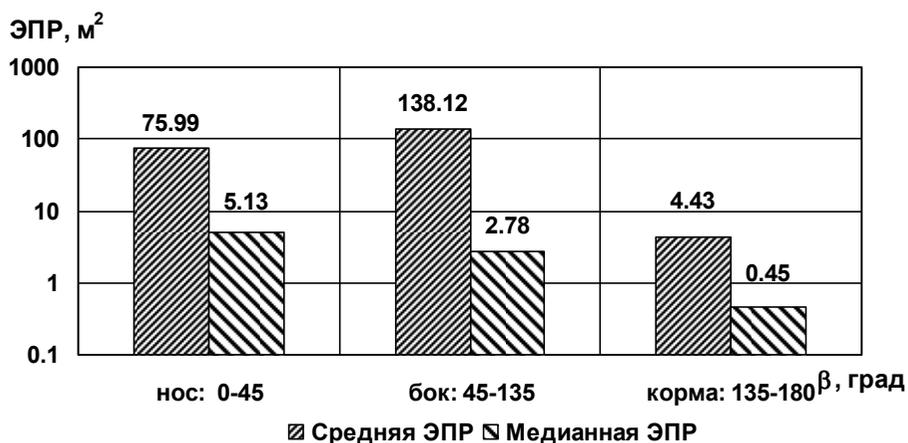


Рис. 3.216. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ( $\epsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

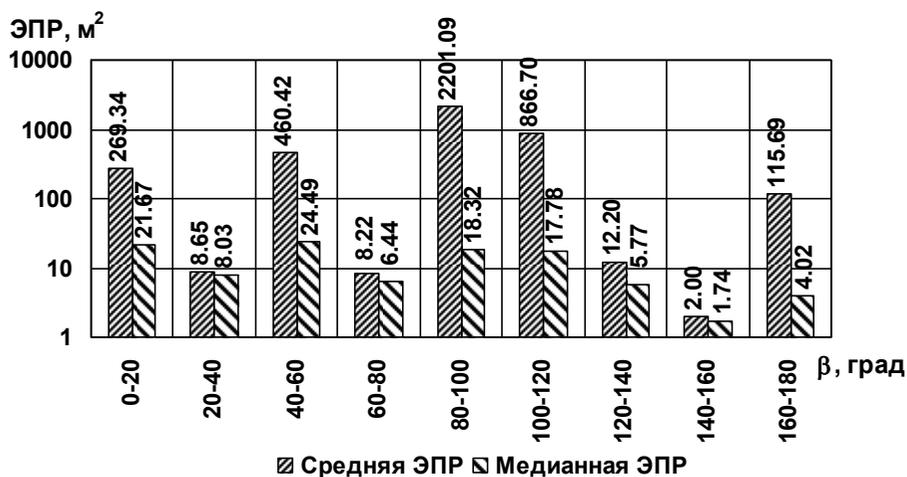


Рис. 3.217. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

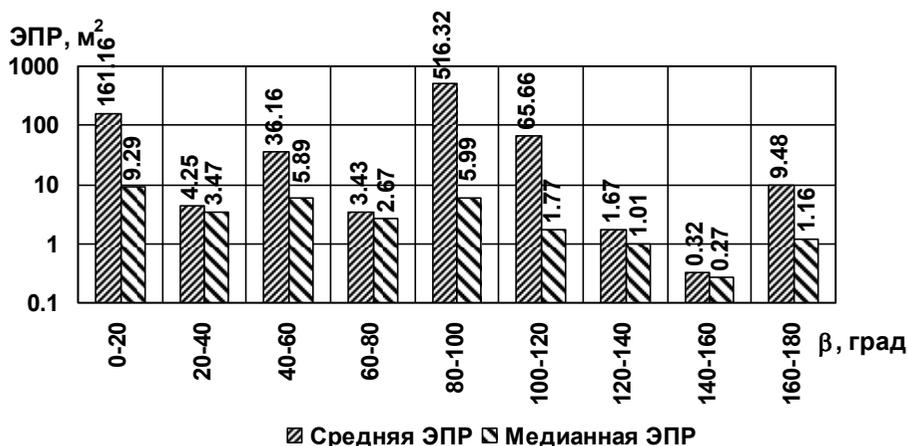


Рис. 3.218. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ( $\varepsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

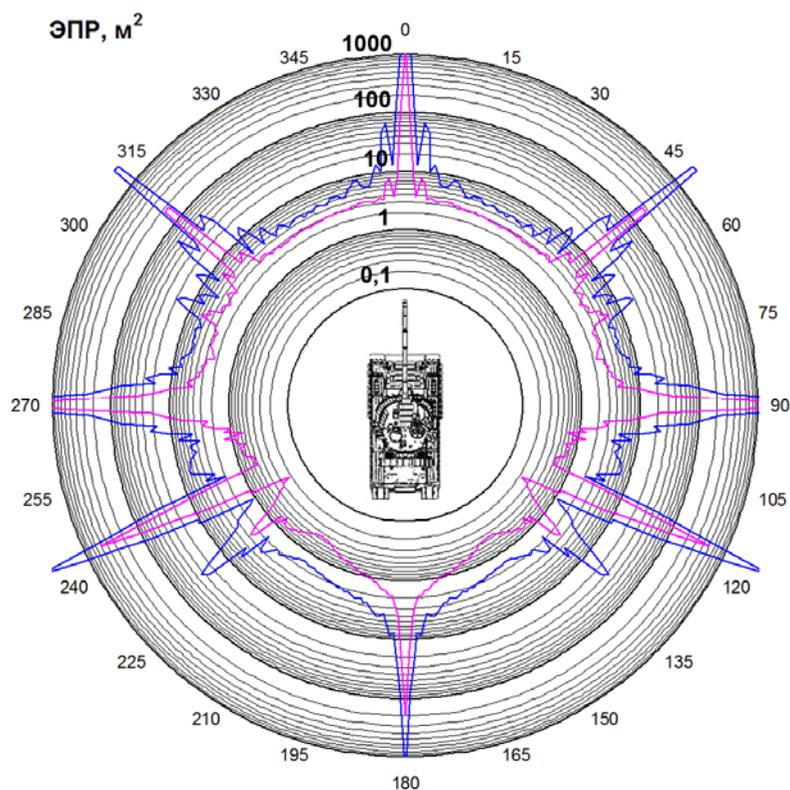


Рис. 3.219. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ( $\varepsilon = 10^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

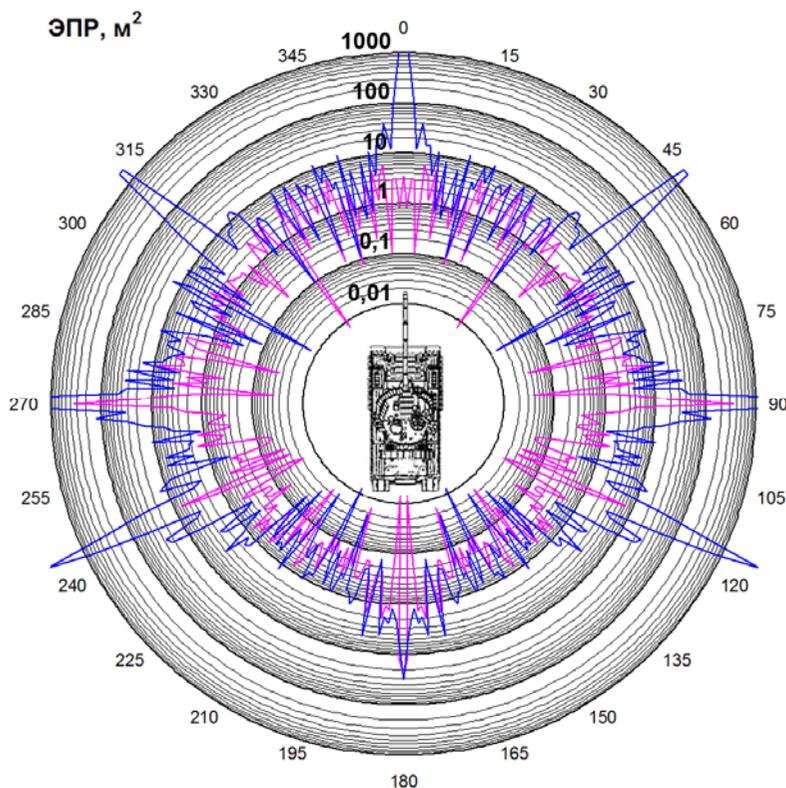


Рис. 3.220. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ( $\varepsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

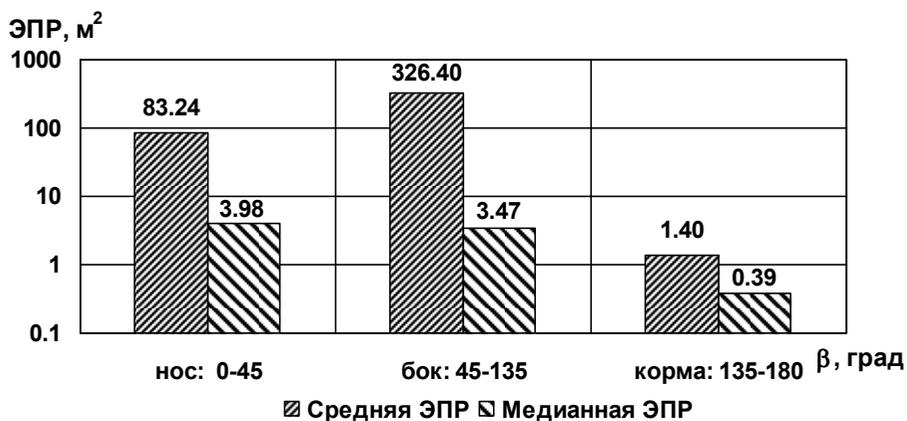


Рис. 3.221. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\varepsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

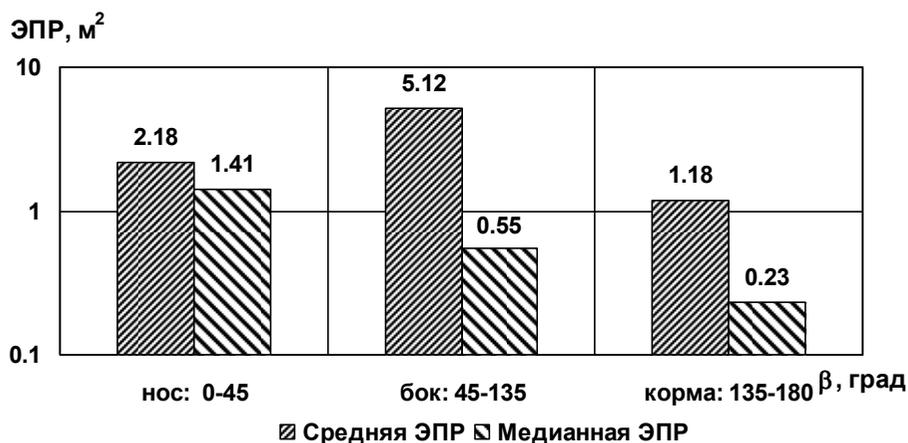


Рис. 3.222. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ( $\epsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

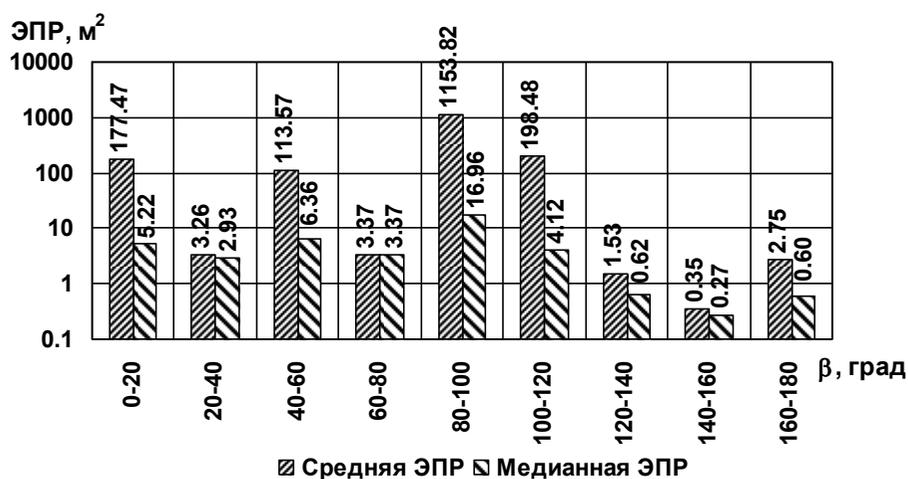


Рис. 3.223. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

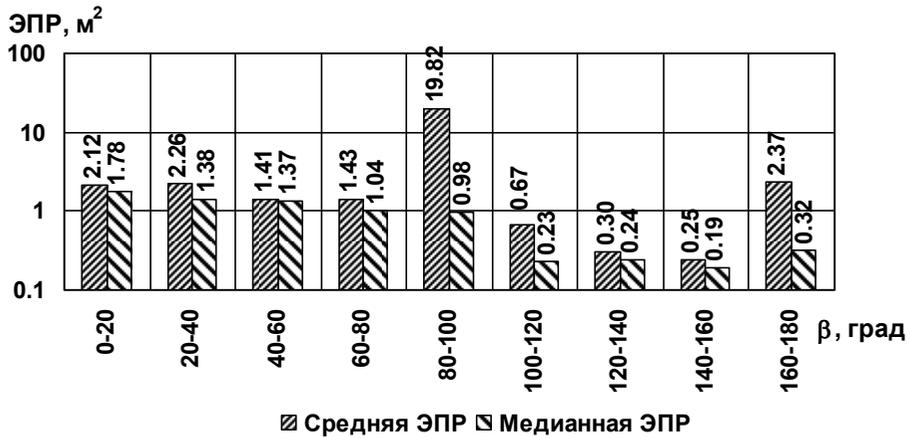


Рис. 3.224. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ( $\varepsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

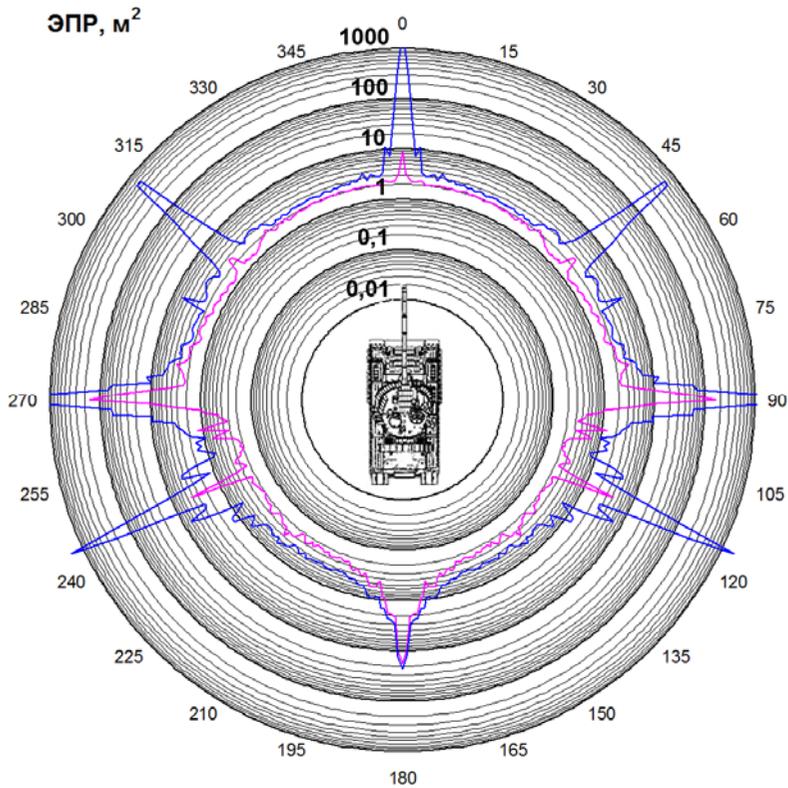


Рис. 3.225. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ( $\varepsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

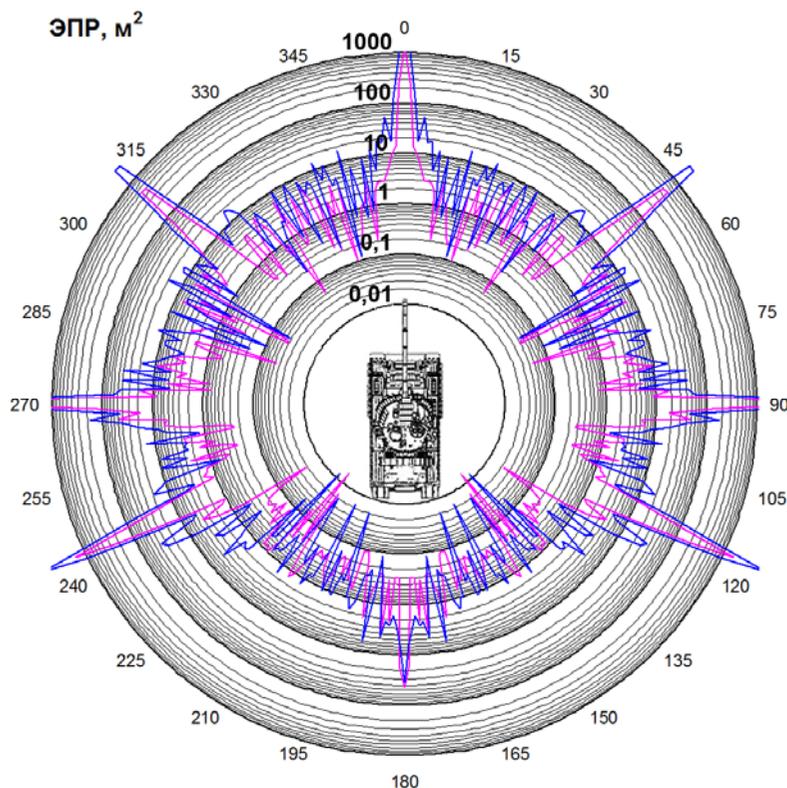


Рис. 3.226. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ( $\varepsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

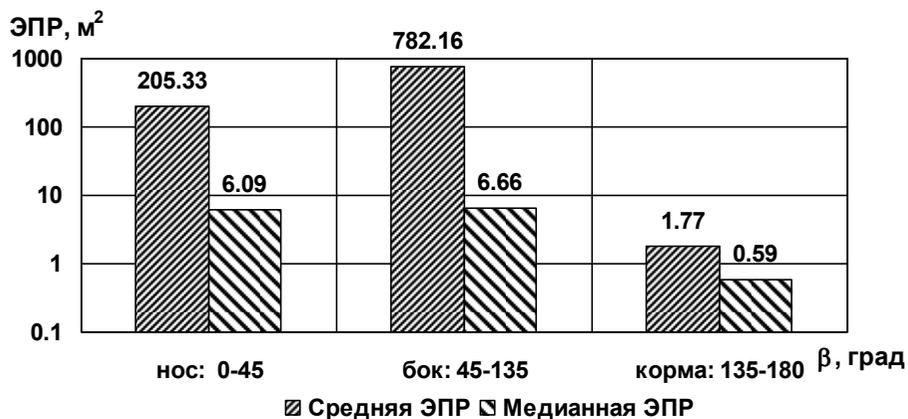


Рис. 3.227. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\varepsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов



Рис. 3.228. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ( $\epsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

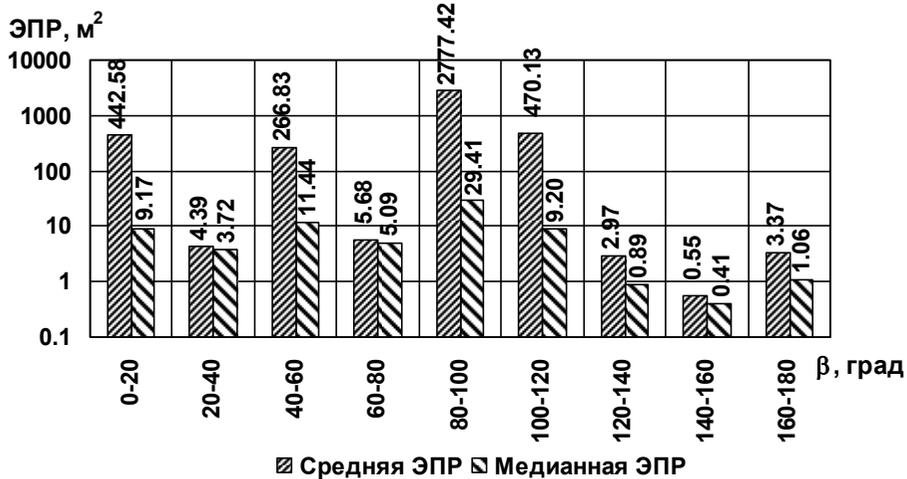


Рис. 3.229. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

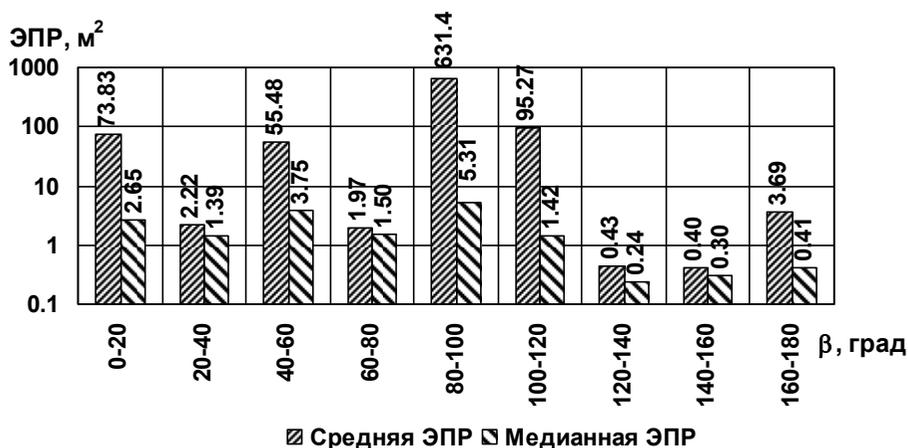


Рис. 3.230. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ( $\epsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

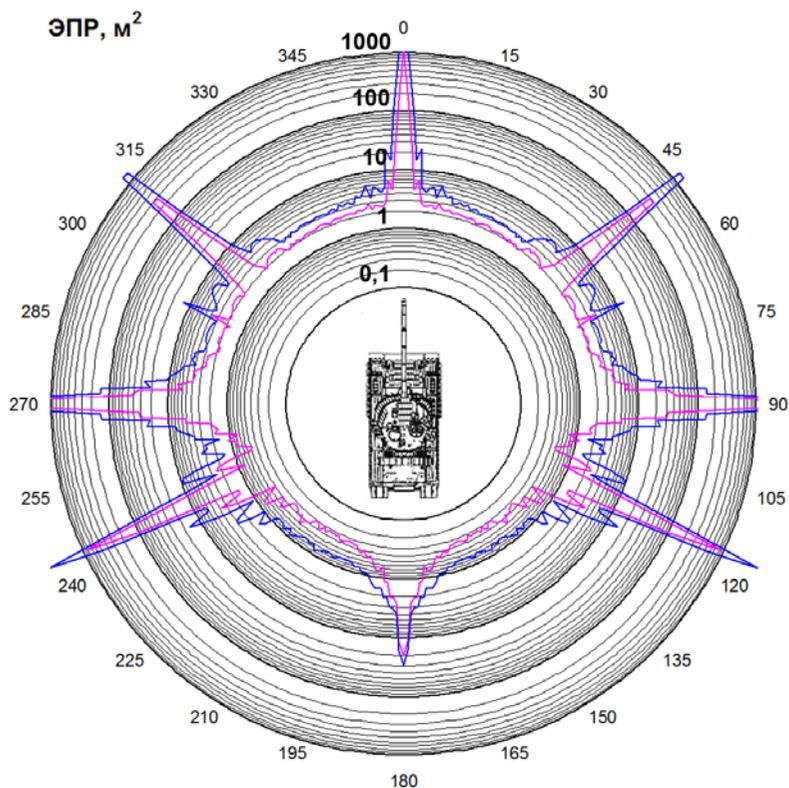


Рис. 3.231. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ( $\epsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

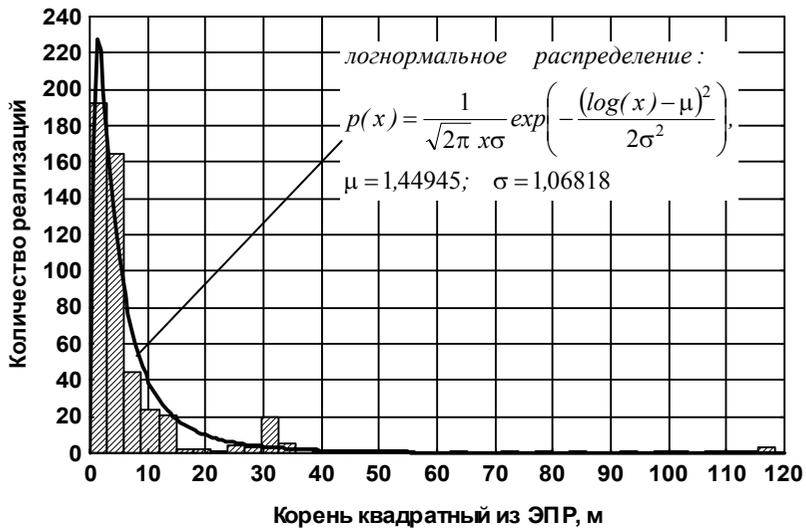


Рис. 3.232. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов  $-10^\circ \dots +10^\circ$  при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

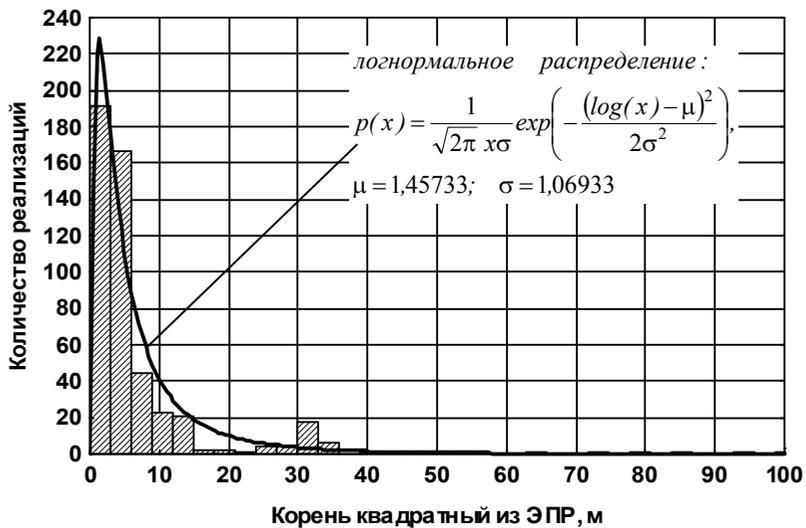


Рис. 3.233. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов  $-10^\circ \dots +10^\circ$  при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

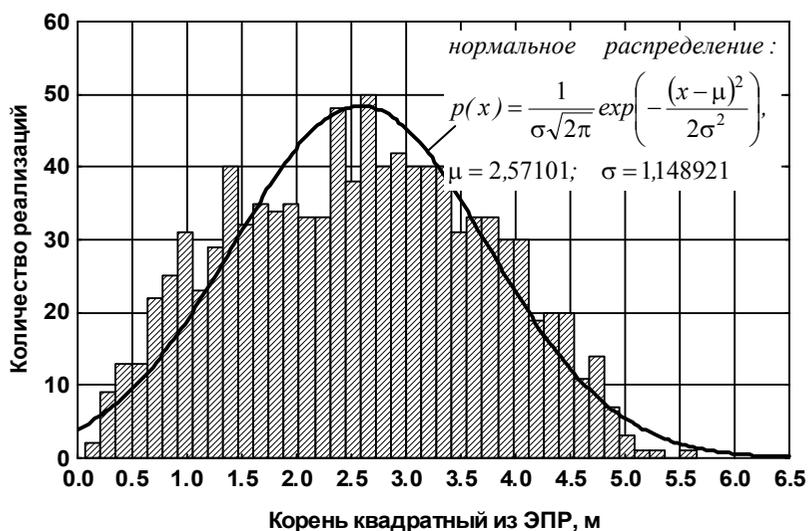


Рис. 3.234. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов  $10^\circ \dots 30^\circ$  при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\varepsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

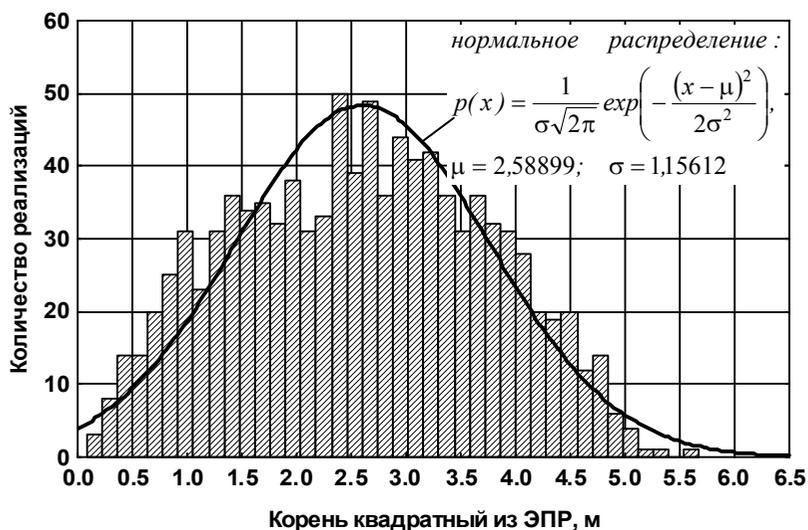


Рис. 3.235. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов  $10^\circ \dots 30^\circ$  при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\varepsilon = 1^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

Таблица 3.8. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала при угле места зондирования  $1^\circ$

Диапазон азимутов	Тип грунта	Поляризация зондирующего сигнала	Тип распределения	Параметры распределения
$-10^\circ \dots +10^\circ$	сухой суглинок	горизонтальная	логнормальное распределение: $p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} x \sigma} \exp\left(-\frac{(\log(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 1,44945$ $\sigma = 1,06818$
		вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 1,40716$ $\sigma = 1,09705$
	влажный суглинок	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = 1,45733$ $\sigma = 1,06933$
		вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 1,36692$ $\sigma = 1,09704$
$10^\circ \dots 30^\circ$	сухой суглинок	горизонтальная	нормальное распределение: $p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 2,57101$ $\sigma = 1,148921$
		вертикальная	распределение Вейбулла: $p(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$	$b = 2,75873$ $c = 2,32431$
	влажный суглинок	горизонтальная	нормальное распределение	$\mu = 2,58899$ $\sigma = 1,15612$
		вертикальная	распределение Вейбулла	$b = 2,671515$ $c = 2,320417$

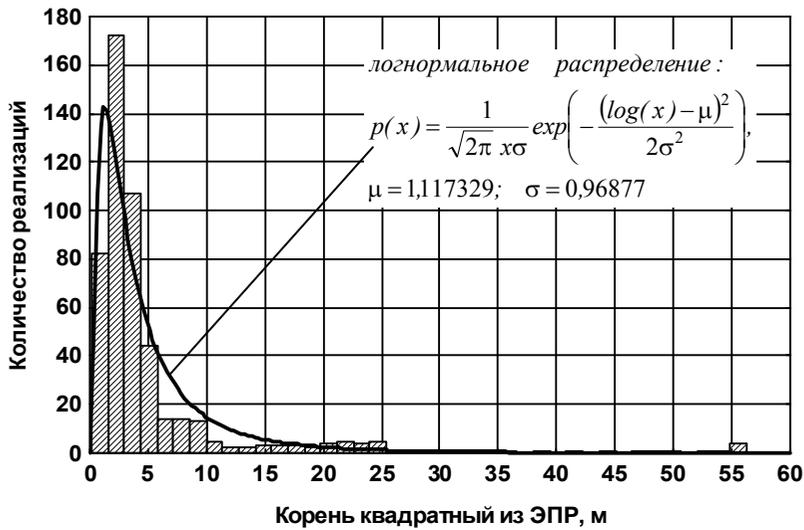


Рис. 3.236. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов  $-10^\circ \dots +10^\circ$  при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

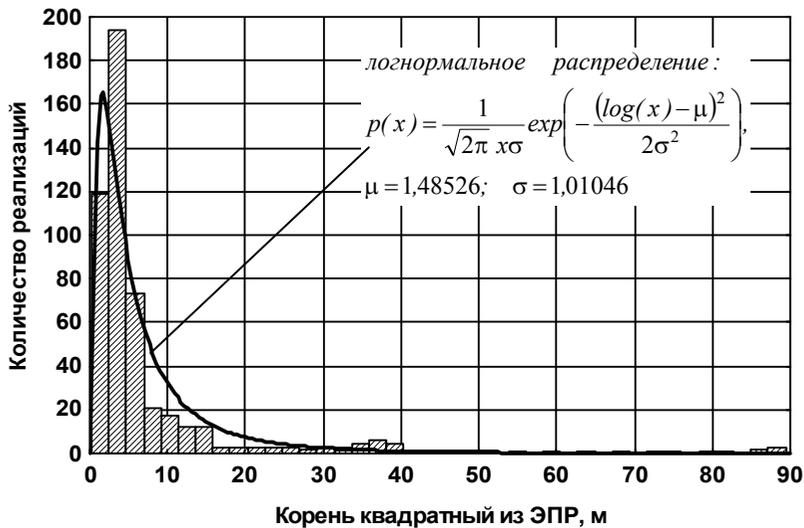


Рис. 3.237. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов  $-10^\circ \dots +10^\circ$  при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\epsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

### 3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

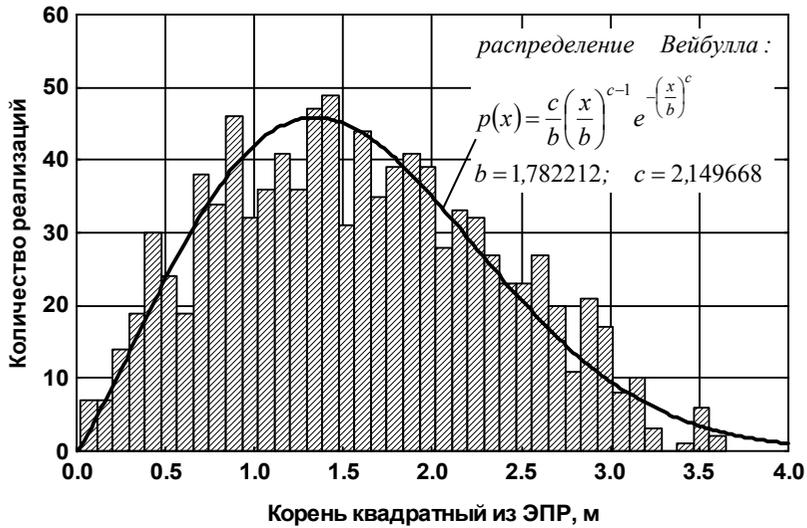


Рис. 3.238. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов  $10^\circ \dots 30^\circ$  при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\varepsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – сухой суглинок)

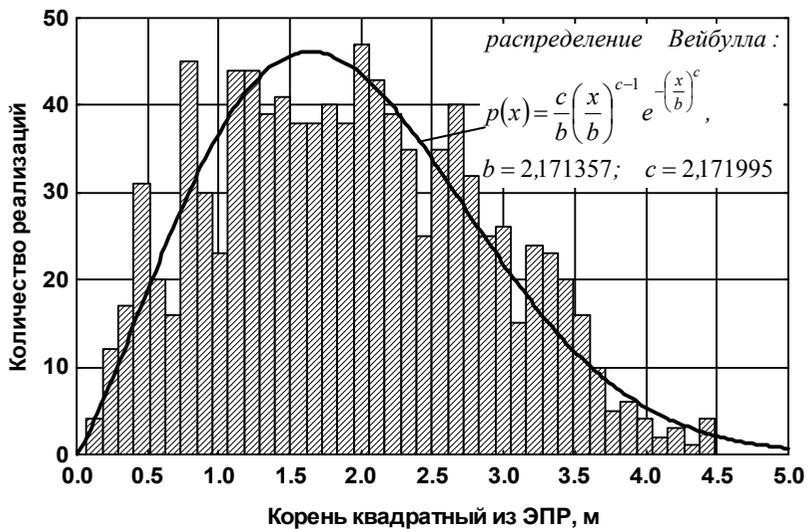


Рис. 3.239. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов  $10^\circ \dots 30^\circ$  при зондировании на горизонтальной поляризации ( $\varepsilon = 30^\circ$ , подстилающая поверхность – влажный суглинок)

Таблица 3.9. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала при угле места зондирования 30°

Диапазон азимутов	Тип грунта	Поляризация зондирующего сигнала	Тип распределения	Параметры распределения
-10°...+10°	сухой суглинок	горизонтальная	логнормальное распределение: $p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} x\sigma} \exp\left(-\frac{(\log(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 1,117329$ $\sigma = 0,96877$
		вертикальная	нормальное распределение: $p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 1,588124$ $\sigma = 0,732297$
	влажный суглинок	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = 1,48526$ $\sigma = 1,01046$
		вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 0,71735$ $\sigma = 1,04842$
10°...30°	сухой суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла: $p(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$	$b = 1,782212$ $c = 2,149668$
		вертикальная	распределение Вейбулла	$b = 1,381546$ $c = 2,163581$
	влажный суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла	$b = 2,171357$ $c = 2,171995$
		вертикальная	распределение Рэлея: $p(x) = \frac{x}{b^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2b^2}\right)$	$b = 0,927724$