

ОСЛАБЛЯЮЩИЕ СВОЙСТВА ЛЕСНОГО ПОКРОВА

*Атутов Е.Б., Дагуров П.Н., Ломухин Ю.Л.
Отдел физических проблем при БИЦ СО РАН
e-mail: evgeniy_atutov@mail.ru*

В работе представлены результаты исследования прохождения волн метрового диапазона через лесной слой. Показано что ослабление волн в данном случае существенно зависит от плотности и среднего радиуса стволов деревьев. Обнаружено, что среднее поле в лесном слое может быть больше, чем поле без леса.

Радиозондирование является эффективным средством контроля экологического состояния и охраны окружающей среды, в частности, лесной растительности.

При разработке и эксплуатации радиолокационных систем зондирования, а также систем радиосвязи, работающих в лесных средах, большое значение имеет знание особенностей распространения электромагнитных волн в данных средах [1,2].

Лес- это случайная дискретная, анизотропная, дисперсионная среда. Эти свойства в большей степени определяют механизмы распространения волн метрового и дециметрового диапазонов.

В работе представлены результаты исследования ослабления волн при радиопросвечивании лесного слоя. Схема эксперимента показана на рис. 1.

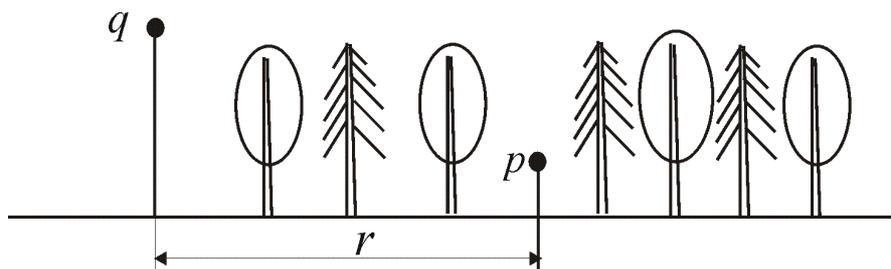


Рис. 1. Геометрия эксперимента.

Излучающая антенна - полуволновой вибратор поднят над лесом, приемный полуволновой вибратор расположен в лесу. Цель экспериментов- определение зависимости среднего поля от расстояния r между источником и приемником. Облучение леса осуществлялось полем, вектор \vec{E} которого параллелен стволам. Дистанционная зависимость измерялась на 3 ÷ 15 реализациях, после чего проводилось усреднение. Лесные массивы выбирались так, чтобы вблизи их располагалось пространство, свободное от леса, где также измерялась дистанционная характеристика при той же частоте и тех же высотах источника и точки наблюдения. Из полученных данных определялась функция $B = 10 \lg \frac{P}{P_0}$, где P - средний уровень поля в лесу, P_0 - мощность поля в открытом пространстве. Исследования проводились в июле месяце.

На рис. 2-4 представлены результаты измерения величин B для различных типов лесного покрова.

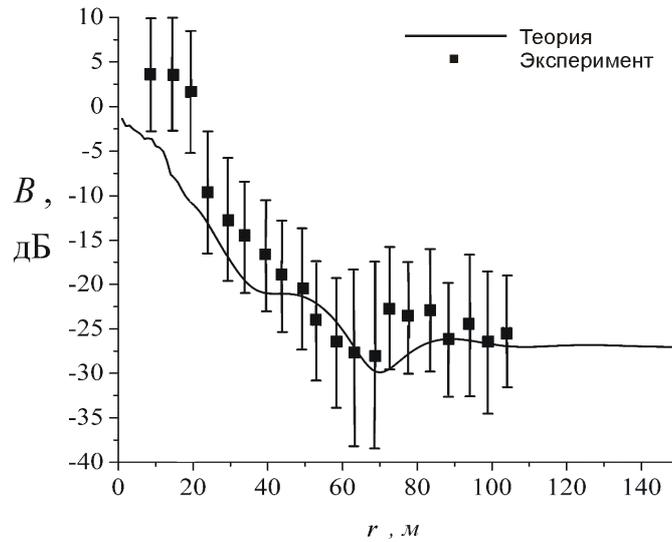


Рис.2. Дистанционная зависимость ослабления поля в смешанном лесу (широта: 51.903715^0 , долгота: 106.125638^0). Средняя высота леса- $h = 10 м$, средняя плотность леса- $\delta = 0.1 м^{-2}$, средний радиус стволов деревьев- $a_1 = 0.09 м$, средний радиус кроны деревьев- $a_2 = 1.58 м$, высота передающей антенны- $z_q = 13.7 м$, высота приемника- $z_p = 2 м$, частота- $f = 152.93 МГц$

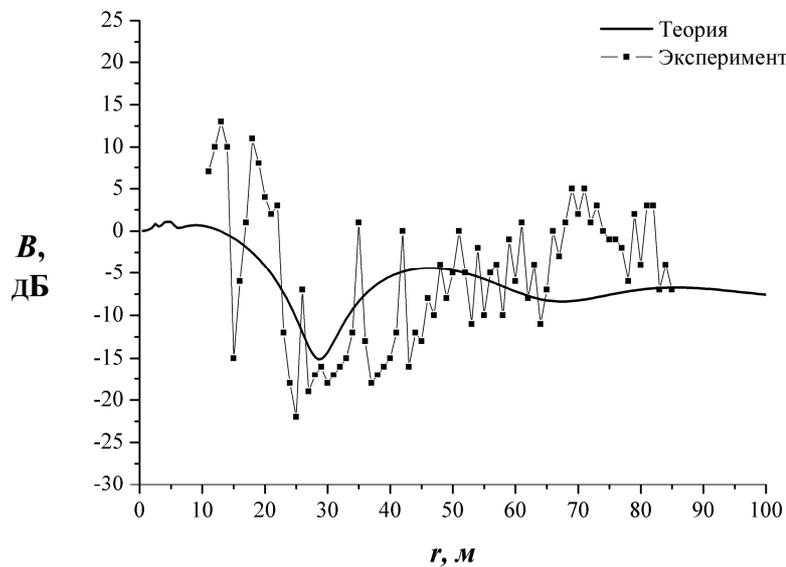


Рис.3. Дистанционная зависимость ослабления поля в сосновом молодняке (широта: 51.526667^0 , долгота: 106.785017^0). Средняя высота леса- $h = 3 м$, средняя плотность леса- $\delta = 0.7 м^{-2}$, средний радиус стволов деревьев- $a_1 = 0.05 м$, средний радиус кроны деревьев- $a_2 = 0.5 м$, высота передающей антенны- $z_q = 8.41 м$, высота приемника- $z_p = 1 м$, частота- $f = 155 МГц$

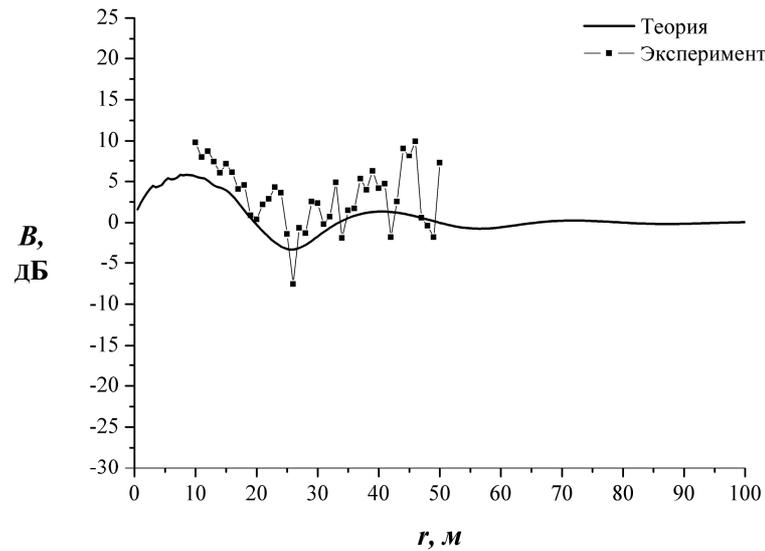


Рис.4. Дистанционная зависимость ослабления поля в смешанном лесу (широта: 51.527300^0 , долгота: 106.787500^0). Средняя высота леса- $h = 9\text{ м}$, средняя плотность леса- $\delta = 0.36\text{ м}^{-2}$, средний радиус стволов деревьев- $a_1 = 0.04\text{ м}$, средний радиус кроны деревьев- $a_2 = 0.7\text{ м}$, высота передающей антенны- $z_Q = 8.41\text{ м}$, высота приемника- $z_P = 1\text{ м}$, частота-

На рисунках также приведены расчетные зависимости функции $B_{\text{дБ}}$. Расчеты выполнены по формулам, полученным в приближении однократного рассеяния с использованием условия погружения в плотноупакованную среду [3].

Среднее поле точечного источника в лесной среде представляется в виде

$$\langle U(\vec{r}) \rangle = q \exp(i\omega t) \frac{\exp(-ik_0 r)}{r} W$$

$$W = \psi_0(R, z_q, z_p, k_0) B \quad (1)$$

где $\psi_0(R, z_q, z_p, k_0)$ - множитель ослабления поля диполя вблизи плоской земной поверхности, $k_0 = \omega/c$.

Функция B в (1) учитывает наличие лесного покрова:

$$B = 1 + \left[\exp(-i(k - k_0)r) \frac{\psi_{np}(R, z_q, z_p, k_1)}{\psi_0(R, z_q, z_p, k_0)} - 1 \right] \frac{\Phi}{\Phi_{np}} \beta_0 \quad (2)$$

$$\Phi = \left[\frac{F(\infty, \xi_1) - F(\infty, \xi_2)}{\sqrt{r^2 - \tilde{r}^2}} + \frac{F(\infty, \xi_3) - F(\infty, \xi_4)}{r + \tilde{r}} \right], \quad \Phi_{np} = \left[\frac{F(\infty, \xi_5)}{\sqrt{r^2 - \tilde{r}_{np}^2}} + \frac{F(\infty, \xi_6)}{r + \tilde{r}_{np}} \right],$$

$\psi_{np}(R, z_q, z_p, k_1)$ - множитель ослабления поля диполя вблизи плоской земной поверхности при плотноупакованной лесной среде,

$$\beta_0 = \exp(-i(p - p_{np})) \frac{\sum_{n=0}^{\infty} (-i)^n J_n(p)}{\sum_{n=0}^{\infty} (-i)^n J_n(p_{np})},$$

$$p = \frac{k_0 \chi}{2\sqrt{\delta}}, \quad p_{np} = \frac{k_0 \chi_{np}}{2\sqrt{\delta_{np}}}, \quad \chi = \sqrt{1 + \left(\frac{z_q - z_p}{r + \frac{1}{2\sqrt{\delta}}} \right)^2}, \quad \chi_{np} = \sqrt{1 + \left(\frac{z_q - z_p}{r + \frac{1}{2\sqrt{\delta_{np}}}} \right)^2},$$

$2\tilde{r} = 1/(\sqrt{\delta})$ - среднее расстояние между деревьями, $2\tilde{r}_{np} = 1/(\sqrt{\delta_{np}})$ - расстояние между рассеивающими элементами при плотной упаковке, $J_n(p)$ - функция Бесселя, $\delta_{np} = \frac{1}{4a_2^2}$ - плотность при плотной упаковке лесной среды. a_2 - средний радиус кроны деревьев, δ - средняя плотность леса,

$$F(\infty, \xi_i) = \int_{\infty}^{\xi_i} \exp(-i \frac{\pi}{2} t^2) dt,$$

$$\xi_1 = \sqrt{\frac{k_0 \chi}{\pi} \frac{r}{(r - \tilde{r})\tilde{r}}} \left(h - \frac{\tilde{r}z_q + (r - \tilde{r})z_p}{r} \right), \quad \xi_2 = -\sqrt{\frac{k_0 \chi}{\pi} \frac{r}{(r + \tilde{r})\tilde{r}}} \frac{\tilde{r}z_q + (r - \tilde{r})z_p}{r},$$

$$\xi_3 = \sqrt{\frac{k_0 \chi (r + 2\tilde{r})}{\pi (r + \tilde{r})\tilde{r}}} \left(h - \frac{\tilde{r}z_q + (r + \tilde{r})z_p}{r + 2\tilde{r}} \right), \quad \xi_4 = -\sqrt{\frac{k_0 \chi (r + 2\tilde{r})}{\pi (r + \tilde{r})\tilde{r}}} \frac{\tilde{r}z_q + (r + \tilde{r})z_p}{r + 2\tilde{r}},$$

$$\xi_5 = -\sqrt{\frac{k_0 \chi_{np} r}{\pi (r - \tilde{r}_{np})\tilde{r}_{np}}} \frac{\tilde{r}_{np}z_q + (r - \tilde{r}_{np})z_p}{r}, \quad \xi_6 = -\sqrt{\frac{k_0 \chi_{np} (r + 2\tilde{r}_{np})}{\pi (r + \tilde{r}_{np})\tilde{r}_{np}}} \frac{\tilde{r}_{np}z_q + (r + \tilde{r}_{np})z_p}{r + \tilde{r}_{np}},$$

h - средняя высота леса, $k_1 = k_0 \sqrt{\varepsilon_{\varphi}}$, $\varepsilon_{\varphi} = \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^2 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + \varepsilon_2$, a_1 - средний радиус

стволов деревьев, $\varepsilon_1 \approx 20 \div 40 - i \left(\frac{1.5}{f_{ГГц}} + 2f_{ГГц} \right)$ - диэлектрическая проницаемость

стволов при вертикальной поляризации [4], ε_2 - диэлектрическая проницаемость объема занятого кроной, которая рассчитывается как результирующая диэлектрическая проницаемость веток и воздуха.

Из (1) и (2) следует, что среднее поле в лесном слое представляет собой результат интерференции трех составляющих: поля земной волны, прямого поля земной волны ослабленного деревьями и поля земной волны, рассеянного дискретными стволами. Поэтому на рисунках зависимость B от r носит неравномерный характер, более того возможны ситуации когда $|B| > 1$ (Рис.4), т.е. среднее поле в лесу превышает поле без леса. Как показали исследования, функция B существенно зависит, прежде всего, от плотности леса и среднего радиуса стволов деревьев.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №08-02-98003-р-сибирь_a.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубов В.П., Тельпуховский Е.Д., Цепелев Г.М., Миронов В.Л., Кашкин В.Б. Векторное радиопросвечивание лесного полога // Журнал Радиоэлектроники. №10, 2002. <http://jre.cplire.ru/alt/oct02/2/text.html>
2. Калинин А.А., Манаков В.Ю., Арманд Н.А., Крылова М.С. О механизме обратного рассеяния электромагнитных волн сосновым лесом в метровом диапазоне длин волн // Радиотехника и Электроника. -2008. -Т.53,№10. -С.1223-1235.
3. Атутов Е.Б., Ломухин Ю.Л. Среднее поле в лесной среде // Радиотехника и Электроника. -2007. -Т. 52.- №11.- С. 1360-1366.
4. Торговников Г.И. Диэлектрические свойства древесины. М.: Лесная промышленность, 1986. 128 с.