

## Экология

5. Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современное изменение климата. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 267 с.
6. Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Климат // Природа Ямала. Екатеринбург, 1995. С. 32–68.
7. Шиятов С.Г. Климатогенная динамика подгольцовых редколесий на Полярном Урале в XX столетии // Реакция растений на глобальные и региональные изменения природной среды: тез. докл. всерос. совещ. (25–29 сентября 2000 г. г. Иркутск). Иркутск, 2000. С. 109.
8. Briffa K.R., Jones P.D. Global surface air temperature variations during the twentieth century. Part 2. Implications for large-scale high-frequency palaeoclimatic studies // *The Holocene*. 1993. No 3. P. 77–88.
9. Briffa K.R. et al Unusual twentieth-century summer warmth in a 1,000-year temperature record from Siberia / K.R. Briffa, P.D. Jones, F.H. Schweingruber [et al.] // *Nature*. 1995. Vol. 376. P. 156–159.
10. Graybill D.A., Shiyatov S.G. Dendroclimatic evidence from the northern Soviet Union // *Climate Since A.D. 1500*. Routledge; London; New York, 1992. P. 393–414.
11. Shiyatov S.G. The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Ural Mountains // *Oscillations of the Alpine and Polar Tree Limits in the Holocene* Gustav Fischer. Verlag: Stuttgart; Jena; New York, 1993. P. 195–203.
12. Shiyatov S. G. Reconstruction of climate and the upper timberline dynamics since AD 745 by tree-ring data in the Polar Ural Mountains // *Intern. Conf. on Past, Present and Future Climate: Proc. of the SILMU conf. Helsinki: Publications of the Academy of Finland*, 1995. No. 6. P. 144–147.
13. Vaganov E.A. et al. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia / E.A. Vaganov, M.K. Huges, A.V. Kirilyanov [et al.] // *Nature*. 1999. Vol. 400. P. 149–151.

УДК 630\*30

*С.П. Санников, П.А. Серков, В.В. Шупилов*  
(*S.P. Sannikov, P.A. Serkov, V.V. Shipilov*)

*Уральский государственный лесотехнический университет,*  
*Екатеринбург*

### ВЛИЯНИЕ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН RFID-МЕТОК (INFLUENCE OF THE TIMBER AMBIENCE ON SPREADING RADIO-WAVES RFID-MARKS)

*Проведены исследования по влиянию лесной среды на распространения радиочастотного сигнала RFID-метки.*

*The Organized studies on influence of the timber ambience on spreading радиочастотного signal RFID-marks.*

Использование RFID-меток для мониторинга состояния леса приводит к необходимости проведения исследовательских работ по функционированию таких устройств в условиях леса. Влияние лесной растительности на условия распространения радиоволн для обеспечения каналов связи и радиолокации исследовали многие ученые, например, в работах А.А. Чухланцева, А.М. Шутко, С.П. Головачева (2003), Р. Rampaloni (2004). Обзор этих работ показывает, что они направлены на снятие характеристик радиоканала в лесной среде,

когда одно устройство установлено вблизи земли на небольшом расстоянии, а другое расположено над деревьями. В обзоре работ для исследования использовались приемопередатчики значительной мощности для максимального покрытия расстояния. По этой причине их исследования не подходят для использования в RFID-устройствах, так как предполагается, что такие устройства должны работать исключительно под пологом леса, как это показано в работах С.П. Санникова с соавторами (Серебренников, Санников, 2011; Сан-

ников, Серебренников, Серков, 2013). Предполагаемая мощность в RFID-устройствах составляет милливатты из-за отсутствия надежного источника электропитания достаточной мощности в лесу.

RFID-метка – это устройство, установленное на стволе дерева на уровне груди (1,3–1,5 м), с определенным набором функций (датчики дыма, температуры, прироста дерева и пр.). Связь с RFID-меткой предполагается по радиоканалу под пологом леса для сбора информации и дальнейшей ее передачи на сервер по стацио-

нарным каналам связи, включая и спутники связи.

Поэтому взаимодействие RFID меток со считывающим устройством происходит по трем возможным схемам: распространение сигнала на прямой видимости, отраженный сигнал от кроны деревьев и отраженный от поверхности земли (рис. 1). Рассмотрим вариант, когда устройства установлены на прямой видимости на расстоянии уверенного приема без каких-либо препятствий на пути прохождения радиоволн. Это наилучший (идеальный) вариант, но он практически неосуществим по причине имеющегося растворения луча в пространстве даже при наличии направленной антенны. Поэтому считывающее устройство принимает как сигнал прямой видимости, так и отраженный сигнал от земли и от деревь-

ев. Схема, поясняющая принцип распространения радиосигнала, показана на рис. 1.

Количество отраженных сигналов, приходящих на считывающее устройство, велико, создает определенные шумовые помехи для расшифровки полезной информации, передаваемой RFID-меткой. Вид принимаемого считывающим устройством сигнала представлен на рис. 2. Сигнал был получен на участке прямой видимости радиосигнала и трех деревьев, стоящих на пути его прохождения.

На рис. 2 видны всплески амплитуды колебаний радиосигнала, вызванные огибающими составляющими стволов деревьев, стоящих на пути. Расстояния до деревьев, отстоящих от RFID-метки, составляли 98, 103 и 108 м соответственно. Диаметр стволов деревьев березы на высоте 1,3 м составил 220,

180 и 203 мм. Травяной покров на участке измерения равномерный с небольшими естественными неровностями почвы.

Анализ сигнала на рис. 2 показывает, что амплитуда шумов на открытом пространстве значительно выше в сравнении с таковой в области отдельно стоящих деревьев. Период колебаний целиком зависит от рельефа местности и характера того участка, где производились измерения. При оценке было установлено, что длительность сигнала примерно равна 1,5 нс, это соответствует периоду принимаемого сигнала 16–18 см. Это хорошо коррелирует с периодом несущей частоты RFID-метки, используемой при исследовании (13,2 см). Как указывалось в работе С.П. Санникова, М.Ю. Серебрянникова, П.А. Серкова (2013), лесная среда вносит ослабление мощности радиосигнала по мере удаления его от RFID-метки – источника радиосигнала. Это сопровождается рассеиванием и поглощением мощности радиосигнала средой. Поэтому расстояние  $L$  между RFID-меткой и считывателем зависит от величины ослабления радиосигнала лесной средой, которое можно подсчитать по формуле, приведенной в работе А.А. Чухланцева, А.М. Шутко, С.П. Головачева (2003), в соответствии с принимаемым уровнем сигнала  $E$  для моделирования процесса распространения радиосигнала в лесной среде:

$$E = E_0 e^{-\frac{d}{s}},$$

где  $d$  – расстояние между RFID-меткой и считывателем;

$$s = \sqrt{\frac{\lambda}{8\pi\sigma}} \text{ – глубина проникновения в среду;}$$

$\sigma$  – проводимость лесной среды.

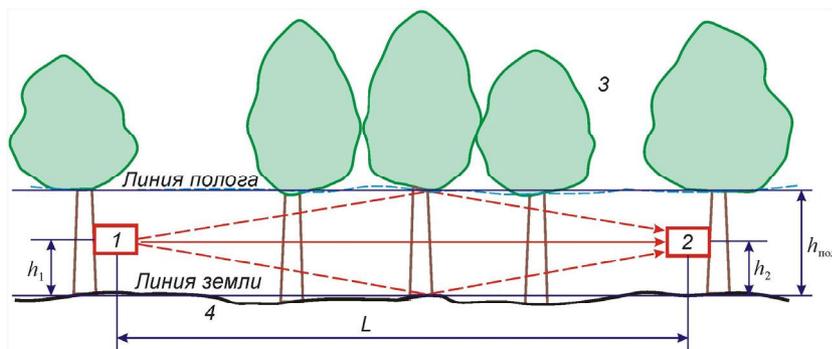


Рис. 1. Схема распространения радиоволн RFID-меток в лесу:

1, 2 – расположение RFID-меток (считывающих устройств) на высотах  $h_1$ ,  $h_2$ ; 3 – крона деревьев (полог); 4 – земля;  $L$  – расстояние между RFID-меткой и считывающим устройством

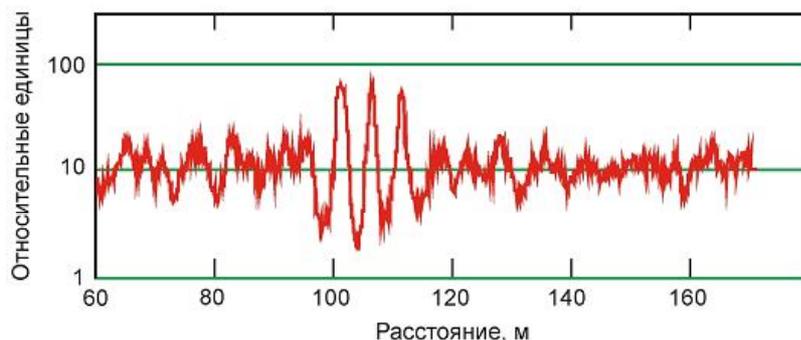


Рис. 2. Сигнал, полученный на считывающем устройстве под лесным пологом с тремя отдельно стоящими деревьями

Модель, предложенная в работе А.А. Чухланцева, А.М. Шутко, С.П. Головачева (2003), приводит к физическому пониманию механизма распространения радиоволн в лесу. Они сформулировали понятие «глубина проникновения в среду», но не разъяснили, что влияет на глубину проникновения радиосигнала в среду.

Каждый элемент лесной среды (листья деревьев, травы, хвоя, сучки, веточки, стволы деревьев и пр.) может стать поверхностью, от которой радиосигнал отразится или которую будет огибать, и характеризуется показателем преломления радиосигнала. Показатель преломления радиосигнала в лесной среде можно определить в соответствии с диэлектрической проницаемостью среды по формуле

$$n^2 = \epsilon_i - 60\sigma_i\lambda,$$

где  $\epsilon_i$  – усредненная диэлектрическая проницаемость участка среды в конкретный момент времени;

$\sigma_i$  – средняя проводимость лесной среды;

$\lambda$  – длина волны радиосигнала.

Лесную среду можно рассматривать как полупроводящую среду с эквивалентными параметрами диэлектрической проницаемости в пределах  $1,01 \leq \epsilon_i \leq 1,5$ , а среднюю проводимость лесной среды – в пределах  $10^{-3} \geq \sigma_i \geq 10^{-5}$  см/м. Чем неоднороднее лесная среда с огромным числом элементов, тем выше показатель преломления радиосигнала. А усредненная диэлектрическая проницаемость участка среды зависит от множества параметров, сопутствующих ей, таких как влажность и плотность материала и воздуха, температура, ионизация воздуха и пр.

Рассматривая влияние леса на прохождение радиоволн различных диапазонов, пришли к выводу, что необходимо ввести понятие

об эффективной диэлектрической проницаемости лесной среды  $\epsilon_{эф}$ .

Эффективная диэлектрическая проницаемость лесной среды  $\epsilon_{эф}$  – это некий комплексный показатель, влияющий на распространение электромагнитной волны радиочастотного диапазона, назовем его комплексной диэлектрической проницаемостью (КДП) лесной среды  $\epsilon^\alpha$  (Санников, Серебренников Серков, 2013). Комплексный показатель является суммарной характеристикой каждого компонента (элемента) лесной среды, соотношенного с объемной долей этих элементов в лесном массиве:

$$\epsilon^\alpha = \sum V_i \epsilon_i^\alpha,$$

где  $V_i$  – объемная доля  $i$ -го элемента в общем объеме лесной среды;

$\epsilon_i^\alpha$  – комплексная диэлектрическая проницаемость элемента лесной среды;

$\alpha$  – константа, учитывающая особенности лесного массива.

Поверхность ствола дерева является средой рассеяния (отражения), влияющей на величину дисперсии радиосигнала. Объем ствола дерева  $V_i$  определяется долевым составом и структурой поверхности ствола дерева, состоящей из коры, влаги и окружающего воздуха. Константа  $\alpha$  показывает соотношение воздуха, жидкости и твердого материала древесины. При  $\alpha = 1$  значения КДП суммируются, а при  $\alpha = 0,5$  суммируются комплексные показатели преломления. Рассеянный сигнал является широкополосным за счет неоднородности лесной среды, для оценки его амплитуды использовали теорию аналитического сигнала. Поэтому эффективная диэлектрическая проницаемость лесной среды  $\epsilon_{эф}$  не остается постоянной во времени и в пространстве –  $\epsilon_{эф} = f(x, y, z, t)$ .

Это означает, что эффективная диэлектрическая проницаемость лесной среды  $\epsilon_{эф}$  и проводимость  $\sigma_{эф}$  зависят от частоты радиосигнала, распространяющегося в лесной среде.

Криволинейность поверхности ствола дерева увеличивает величину рассеивания отраженных радиоволн. Углы отраженных радиосигналов в горизонтальной плоскости могут достигать  $180^\circ$ , особенно данный факт актуален для деревьев с диаметром ствола, превышающим длину волны радиосигнала. Деревья с диаметром ствола меньше длины волны радиосигнала рассеивают намного меньше, так как основная энергия радиоволны огибает дерево с наименьшими потерями. На измеренное поле энергии радиоволны влияют диаметры стволов деревьев и диэлектрическая проницаемость раздела древесина – воздух. Рассчитаем среднее поле в лесном массиве по формуле

$$W(\vec{l}_d) = \exp \left[ kx_d \left( 1 + \frac{v\pi d^2}{2} (\epsilon - 1) \right) \right],$$

где  $l$  – расстояние до точки измерения поля;

$d$  – диаметр ствола дерева;

$\epsilon$  – диэлектрической проницаемостью;

$v$  – плотность излучения.

С учетом того, что все деревья в лесу расположены случайным образом на участке площадью  $S$ , определим вероятность произрастания деревьев на этом участке  $dS$ :

$$p(dS) = \frac{dS}{S}.$$

Предположим, что источник модулированной радиоволны обладает стабильными параметрами и постоянной плотностью излучения  $v$  при условии, что на участке  $dS$  будет находиться хотя бы одно дерево. Тогда вероятность того,

что в лесном массиве  $N$  количество деревьев будет

$$p(N) = \frac{(vS)^N}{N!} \exp(-vS).$$

Относительные показатели рассеивания энергии поля отдельными деревьями в зависимости от их

геометрических размеров представлены на рис. 3.

Таким образом, имеющиеся доказательства подтверждают тот факт, что лесной массив с его неоднородностью сильно влияет на прохождение радиосигнала от

RFID-метки к считывателю, величину рассеивания (ослабления) которого необходимо учитывать при проектировании размещения RFID-устройств в лесном массиве для мониторинга леса наземными электронными средствами.

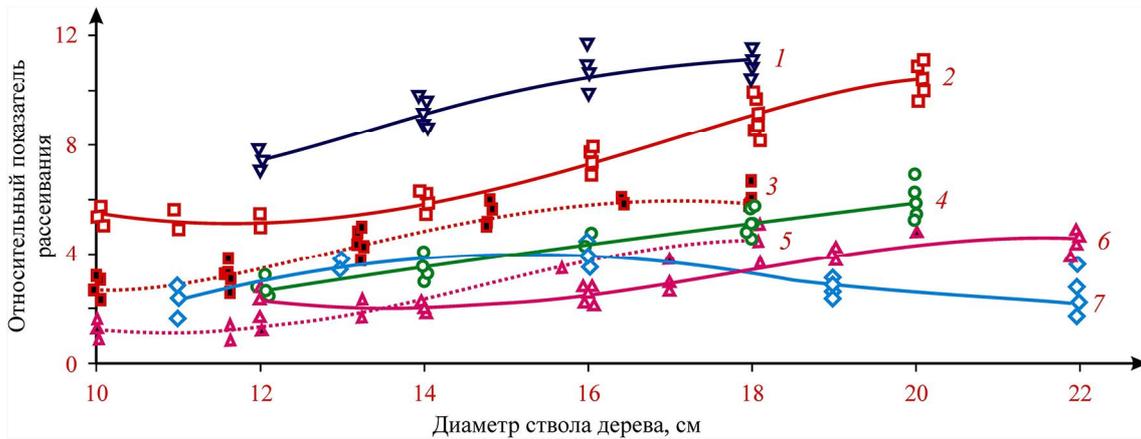


Рис. 3. Относительные показатели рассеивания стволами деревьев: 1 – пихта; 2 – ель; 3 – береза; 4 – сосна; 5 – осина; 6 – лиственница; 7 – кедр

*Библиографический список*

1. Санников С.П., Серебренников М.Ю., Серков П.А. Влияние анизотропных характеристик леса на распространение радиочастотного сигнала RFID-метки // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. URL: [www.science-education.ru/108-8623](http://www.science-education.ru/108-8623) (дата обращения: 19.03.2013).
2. Серебренников М.Ю., Санников С.П. Возможности и перспективы использования RFID-технологии в таксационных исследованиях управления лесами // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. VII всерос. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. Ч. 1. С. 58–60.
3. Чухланцев А.А., Шутко А.М., Головачев С.П. Ослабление электромагнитных волн растительными покрывами // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 11. С. 1285–1311.
4. Pampaloni P. Microwave radiometry of forests // Waves in Random Media. 2004. № 14. P. 275–298.