

Результаты короткоимпульсного зондирования лесных сред

Б.В. Содномов, Б.Ч. Доржиев, О.Н. Очиров

Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8, E-mail: anstatt@yandex.ru

Представлены результаты полевых измерений поглощающих и отражающих свойств лесной среды на частоте 10 ГГц. Измерения проведены на базе наносекундного радара с длительностью импульса 10 нс. Выявлены сезонные вариации коэффициентов погонного ослабления и обратного рассеяния, которые необходимо учитывать при решении обратных задачи дистанционного зондирования.

The results of field measurements of absorbing and reflecting properties of the forest environment at a frequency of 10 GHz. Measurements were made on the basis of nanosecond radar with pulse duration of 10 ns. Seasonal variations of the coefficients of attenuation and backscattering coefficient were detected, which must be considered in solving the inverse problem of remote sensing.

Проблема оценки состояния лесов, их сбережения и рационального использования связано с применением космических информационных технологий и методов дистанционного зондирования. В этом плане представляется перспективным использование сверхширокополосной и сверхкороткоимпульсной радиолокации, имеющей ряд преимуществ перед традиционными методами радиолокации.

В Институте сильноточной электроники СО РАН разработан твердотельный наносекундный радар, представляющий собой радиолокационную систему в виде передвижного лабораторного макета для полевых исследований. Радар предназначен для генерации, излучения, приёма СВЧ-импульсов длительностью 10 нс трёхсантиметрового диапазона, а также их регистрации и анализа в целях исследований в области ближней приповерхностной радиолокации.

Специфические особенности СКИРЛ рассмотрены в работе [1]. Одним из наиболее характерных свойств технологии сверхкороткоимпульсной локации (СКИРЛ) является высокая разрешающая способность по дальности, определяемая шириной используемого частотного спектра.

Для наносекундной радиолокации наиболее рельефно наблюдается эффект контрастности отражений от объектов. Это свойство обусловлено тремя факторами:

- малым импульсным объемом (высокая разрешающая способность по дальности);
- отсутствием боковых лепестков по оси дальности у функции корреляции прямоугольного импульсного зондирующего сигнала;
- снижением величины эхо-сигнала от подстилающей поверхности и пассивных помех.

Эффект контрастности в сочетании с отсутствием боковых лепестков у автокорреляционной функции приводит к другому, чем в традиционной локации, характеру отраженных сигналов от местности, создавая рельефную картину из отдельных импульсов отраженных от местных предметов и характерных участков местности, в том числе и на предельно малых дальностях.

Определение коэффициента ослабления на частоте 10 ГГц

В случае короткоимпульсной локации леса излучение проходит сквозь весь лесной массив, испытывая фоновое затухание. Ослабление сигнала можно оценить средней величиной коэффициента ослабления. Для оценки коэффициента ослабления для

лиственного леса были проведены соответствующие измерения в разные сезоны года – весной (апрель), когда деревья стоят без листвы, летом (август), деревья в полной листве, и осенью (ноябрь), деревья без листвы.

При проведении эксперимента использован метод горизонтальной локации леса.

Методика измерений состояла в следующем. Выбирался участок леса с относительно ровной границей «лес - открытое пространство». Радар устанавливался на расстоянии около 50 метров от границы леса, и проводилось сканирование выбранного участка в пределах относительного азимута $\pm 13^\circ$ с шагом 3° при угле места 0° .

Экспериментальные осциллограммы, полученные при весенних измерениях, представлены на рисунке 1. Осциллограмма представляет график зависимости амплитуды отраженного сигнала от времени его прихода в систему регистрации. Значения уровня отраженного сигнала отложены по вертикали, а по горизонтали – время прихода сигнала в пересчете на дальность. За аналитический сигнал принимается огибающая отраженных импульсных сигналов. На графике выделена усредненная осциллограмма по четырем наиболее близким осциллограммам. Такой подход позволяет считать данный участок леса однородным, с плотностью выше средней.

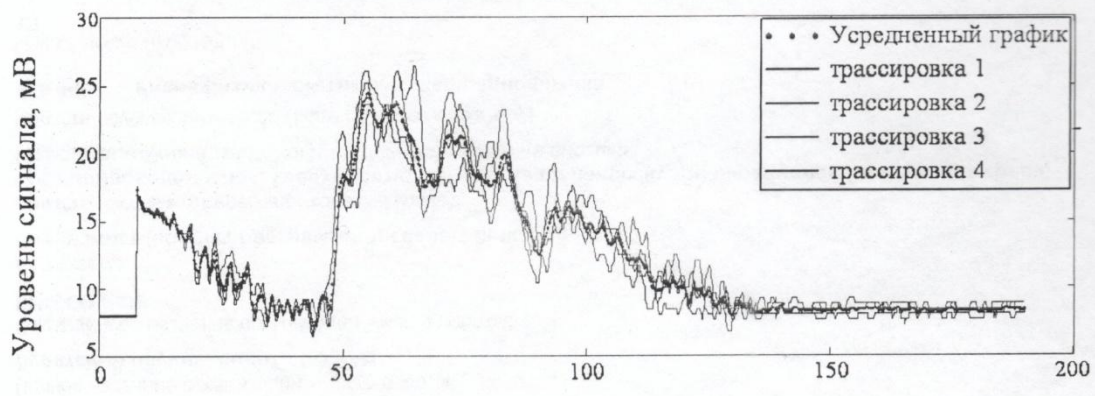


Рис. 1. Экспериментальная осциллограмма (весенние измерения).

Как следует из рисунка 1, амплитуда аналитического сигнала монотонно убывает с расстоянием, что обусловлено ослаблением в лесной среде. Таким образом, оценку ослабления можно сделать, на основе линейной аппроксимации, построенной по методу наименьших квадратов. Для получения абсолютных значений уровней отраженного сигнала использовалась вольт-ваттная характеристика приемника радара. Среднее значение коэффициента погонного ослабления, определенное для нескольких позиций углового отражателя составляет 0,9 дБ/м. Данное значение получено для наиболее закрытых трасс, то есть, оценено максимальное ослабление для данного конкретного участка.

По аналогичной методике оценены коэффициенты ослабления этого же участка леса для летнего и осеннего сезонов. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Дата	Состояние леса	Коэффициент ослабления γ , дБ/м	Дополнительные сведения
17.04.2012	Деревья без листвы (начало весеннего соковыделения)	0,44	Объем сока, мл.
20.04.2012	--/--	0,5	
23.04.2010	Фаза интенсивного соковыделения	0,9	

3.05.2012	Окончание интенсивного соковыделения	0,45	~200	
Май	Фаза набухания почек Фаза разворачивания листьев «Зеленая дымка»		3,43	Потребление влаги q , л./сутки из [4]
Июнь	Рост листьев Полная листва		14,65	
Июль	Полная листва		17,21	
Август	Полная листва	1,25 (20.08.2011)	17,34	
Сентябрь	Полная листва Пожелтение листьев Опад листвы		6,97	
Октябрь	Полный опад			
Ноябрь	Деревья без листвы	0,45 (4.11.11)		

Как следует из приведенных данных, коэффициент ослабления имеет ярко выраженный сезонный ход и меняется в достаточно широких пределах.

Определение коэффициента обратного рассеяния от лесного и травяного покровов.

Одним из основных параметров уравнения дальности в радиолокации является ЭПР цели. При этом количественные оценки полей рассеяния радиоволн физическими объектами получены при измерениях ЭПР в натуральных условиях. В связи с развитием СШП короткоимпульсной радиолокации актуальным становится вопрос об оценке ЭПР объекта СШП сигналами. Новые возможности для определения ЭПР природных объектов (лес, травяной покров) с помощью наносекундного радара исследованы при проведении экспериментальных работ в условиях сильнопересеченной местности.

Данные измерений, полученные при съемке сверху (с вершины горы), представлены на рисунке 2 в виде графика зависимости уровня входного сигнала от времени в пересчете на дальность.

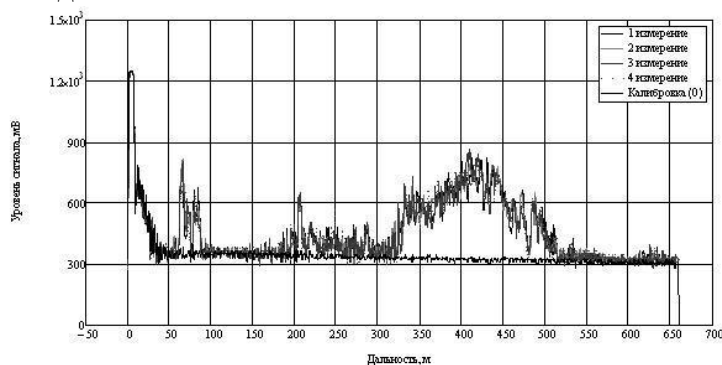


Рис. 2. Графики отраженных сигналов всех регистраций.

Как следует из экспериментальных осциллограмм отраженные сигналы от травяного покрова, наблюдаются на расстояниях от 220 до 320 метров, что соответствует реальной протяженности поляны в этом направлении. Сильные флуктуации отраженного сигнала объясняются местными неровностями с высокими травяным покровом (разнотравье со средней высотой покрова около 40 см). Далее идет рассеянный сигнал от леса, причем огибающая имеет достаточно сложный вид. С краю поляны вдоль ручья проходит полоса березового леса с высокой плотностью $\sim 0,2$

дер/м², затем идет участок разреженного леса и далее березовый лес со средней плотностью ~ 0,1 дер/м². Необходимо отметить наличие сильного подроста и кустарника, особенно с краю леса. Исходя из этих условий, для определения усредненного значения ЭПР леса взят участок осциллограммы от 370 до 450 метров.

Для определения величины ЭПР исследуемых участков используем следующее соотношение:

$$\sigma^0(\theta), \text{ дБ} = 10g[S_{\text{пр}}(\theta)/\sigma_{\text{т}} \times D_{\text{т}}(\theta)/D_{\text{т}}], \quad (1)$$

где $S_{\text{пр}}(\theta)$ - площадь облучаемого участка поверхности,

$\sigma_{\text{т}}$ - ЭПР калибровочной мишени,

$P_{\text{пр}}$ - усредненная мощность принятого сигнала от участка поверхности,

$P_{\text{т}}$ - мощность принятого сигнала, отраженного от калибровочной мишени.

Для определения параметра $P_{\text{т}}$, входящего в выражение (1), проведены дополнительные калибровочные измерения. Калибровочная мишень представляет собой трехгранный уголкового отражателя с размером каждого ребра 90 см.

Здесь же приведены значения уровней отраженных сигналов от поверхности земли, в общем случае представляющих фоновый сигнал. Таким образом, уровень отраженного сигнала от уголкового отражателя определяется линейной зависимостью от расстояния.

Согласно выражению (1) для травяного покрова $\sigma^0 = -9,3$ дБ и для лиственного леса $-11,4$ дБ.

Получены результаты измерений проведенных в этой же местности в осеннее время, но под другим ракурсом. При измерениях дополнительно использован уголкового отражатель ($l=0,9$ м) для калибровки сигнала. Аналогично определялся средний уровень сигнала от поверхности земли в отсутствие травяного покрова и от леса (деревья без листвы). Коэффициент обратного рассеяния (выражение (1)) определялся по методике описанной выше. Выявлено, что для леса составил -8 дБ, а для поверхности земли $-9,4$ дБ соответственно. Таким образом, в обоих случаях наблюдается увеличение обратного отражения с данными летних измерений, т.е. наличие листвы и травяного покрова приводит к уменьшению величины отраженного сигнала. Данные сезонных вариаций изменения коэффициента обратного рассеяния представлены в таблице 2.

Таблица 2

Тип поверхности	Сезон	Коэффициент обратного рассеяния σ^0	Экспериментальные данные $\sigma^0(\theta), \text{ дБ} = 10g[S_{\text{пр}}(\theta)/\sigma_{\text{т}} \times D_{\text{т}}(\theta)/D_{\text{т}}],$ Угол места $83^\circ-84^\circ$
Листв. лес (береза)	Лето	-9 дБ	
	Осень	-7,7 дБ	
Смешанный лес (береза + ель)	Весна	-9,4 дБ	
Поляна с травой	Лето	-9,5 дБ	
	Лето	-11,4 дБ	
Поляна без травы	Осень	-9,4 дБ	

В осеннее время наблюдается увеличение отраженного сигнала по сравнению с данными летних измерений, то есть наличие листвы и травяного покрова приводит к уменьшению отраженного сигнала. Для смешанного типа леса при данных углах места сезонные отличия практически не проявляются.

Полученные значения коэффициентов ослабления и обратного рассеяния могут быть использованы для уточнения существующих электродинамических моделей. В частности, в [2] исследованы рассеивающие свойства бореальных лесов с использованием данных скаттерометра HUTSCAT и предложена следующая полуэмпирическая модель:

$$\sigma_v^0 = \frac{\sigma_v \cos \theta}{2k_e} [1 - e^{-2k_e (h_g / \cos \theta)}], \quad (2)$$

где k_e – коэффициент ослабления в лесном слое, 1/м

$$\sigma_v = B m_p$$

m_p – объемное содержание влаги в растительном слое,

B – эмпирическая постоянная для определения структуры леса,

h_g – средняя высота леса

Учитывая, что средняя высота леса и объем стволов высоко коррелированы, выражение (2) можно записать, как:

$$\sigma_v^0 = \frac{c}{-2a_1} [1 - e^{2a_1 V}], \quad (3)$$

где c – const,

a_1 – коэффициент регрессии для ослабления в лесном слое.

Отметим, что в данной модели сезонные измерения коэффициентов обратного рассеяния учитываются косвенным образом через параметр m_p . Использование экспериментальных значений коэффициентов погонного ослабления с учетом их сезонных вариаций позволяет уточнить эмпирические коэффициенты данной модели, что, в свою очередь, даст возможность для определения объема древостоя леса по данным радиолокационной съемки.

Литература

1. Особенности и свойства короткоимпульсной радиолокации / Скосырев В.Н., Осипов М.Л. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 1999. – №4. Спец. выпуск «Радиоэлектроника»;
2. J.T. Pullianen, et al. Backscattering properties of boreal forest at the C- and X-band // IEEE Trans. Geosci Remote Sens., Vol. 32, №5, 1994, p.1041-1050.