

Ослабляющие свойства лиственного леса в X-диапазоне.

Б.Ч. Доржиев, О.Н. Очиров

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой 6, 1_2_z@mail.ru, oleg_och@pres.bscnet.ru

Экспериментально исследованы ослабляющие свойства лиственного леса в случае короткоимпульсной локации. Выявлены сезонные вариации коэффициента погонного ослабления, при различных фенологических состояниях деревьев. Приведены оценки электрофизических параметров лесной среды для соответствующих сезонов.

Attenuation properties of deciduous wood at short pulse location are experimentally investigated. Seasonal variations of attenuation linear coefficient are revealed, at various phenological conditions of trees. Estimations of electro physical parameters of the wood environment for corresponding seasons are resulted.

В настоящее время несомненный интерес представляет исследование лесных сред методами сверхширокополосной и сверхкороткоимпульсной радиолокации, характерными особенностями которых является высокая разрешающая способность по дальности и эффект контрастности отражений от объектов. В работах [1,2] показана высокая проникающая способность короткоимпульсного излучения в лесную среду, что не характерно для традиционной радиолокации. Сочетание указанных особенностей открывает новые возможности радиолокации лесных сред. В настоящей работе приводятся результаты сверхкороткоимпульсной радиолокации лиственного леса, полученные с использованием наносекундного радара трехсантиметрового диапазона. Одним из основных результатов зондирования леса является оценка ослабления, что, в свою очередь, позволяет оценить диэлектрические характеристики самой лесной среды и их сезонные вариации. Измерения проведены в условиях сильнопересеченной местности с географическими координатами 51°52'56" с.ш. и 107°59'19" в.д.

Измерительная установка и методика измерений

Экспериментальная часть работы выполнена с использованием измерительного комплекса на базе твердотельного наносекундного радара, разработанного в Институте сильноточной электроники СО РАН. Радар представляет собой радиолокационную систему в виде передвижного лабораторного макета для полевых исследований в области ближней приповерхностной локации. Структура радара включает наносекундный приемопередатчик, опорно-поворотное устройство и параболическую антенну. В состав измерительного комплекса входят цифровой осциллограф TDS 1012 с блоком расширения TDS2CMA, ноутбук Siemens, коаксиальные кабели с нагрузкой 50 Ом для регистрации сигналов. Приемно-передающее устройство радара состоит из передатчика на основе генератора на диоде Ганна 3A762Д и широкополосного супергетеродинного приемника трехсантиметрового диапазона. Основные технические характеристики передатчика:

- несущая частота 10 ГГц
- длительность импульса на полувысоте 10 нс
- частота повторения импульсов 5 кГц
- номинальная пиковая мощность импульсов СВЧ-излучения 40 Вт.

Приемник выполнен по супергетеродинной схеме с устройством защиты от высокого уровня мощности. Он включает МШУ-конвертор, логарифмический детектор и формирователь гетеродинов. Основные технические характеристики приемника:

- центральная частота 10,06 ГГц
- уровень собственных шумов -117 дБ/Вт
- динамический диапазон не менее 70 дБ
- полоса частот входного сигнала не менее 100 МГц
- максимально допустимая мощность на входе приёмника
- при скважности не менее 103 не более 40 Вт
- уровень ограничения выходного сигнала 1,4 В

Опорно-поворотное устройство радара позволяет поворачивать параболическую антенну в горизонтальной плоскости на 360° , в вертикальной плоскости на 15° вниз и на 90° вверх с фиксацией в заданном положении и осуществлять отсчет угла поворота. Диаметр параболического зеркала антенны составляет 600мм. Коэффициент усиления антенны – около 40 дБ, ширина диаграммы направленности по уровню 3 дБ равна 5° . Питание радара - от сети переменного тока напряжением 220 В ($\pm 10\%$), частота 50 Гц, потребляемая мощность не более 15 Вт. В полевых условиях в качестве источника питания использовался передвижной генератор CG-0.95 с выходным напряжением 220 В.

При проведении эксперимента использована схема 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° . Такая схема углового сканирования была предложена в работе [3].

Березовый лес характеризуется следующими параметрами – средняя высота порядка 10 - 12 метров, средний диаметр стволов - 15 - 17см. Необходимо отметить, что данный участок леса отличается неоднородностью. С краю поляны вдоль ручья проходит полоса березового леса с большей плотностью $\sim 0,2$ дер/м², затем идет участок разреженного леса и далее средняя плотность леса составляет $\sim 0,1$ дер/м². Отметим также наличие сильного подроста и кустарника, особенно с краю леса, что не учитывалось при определении плотности леса.

Оценка коэффициента ослабления

В случае короткоимпульсной локации леса излучение проходит сквозь лесной массив и испытывает фоновое затухание. Ослабление сигнала оценивается средней величиной коэффициента ослабления. Для оценки данной величины были проведены соответствующие измерения в разные сезоны года – весной (апрель 2010 г.), когда деревья стоят без листвы, летом (август 2011 г.), деревья в полной листве, и осенью (ноябрь 2011 г.), деревья без листвы.

На рис.1 представлены экспериментальные осциллограммы, полученные при весенних и летних измерениях.

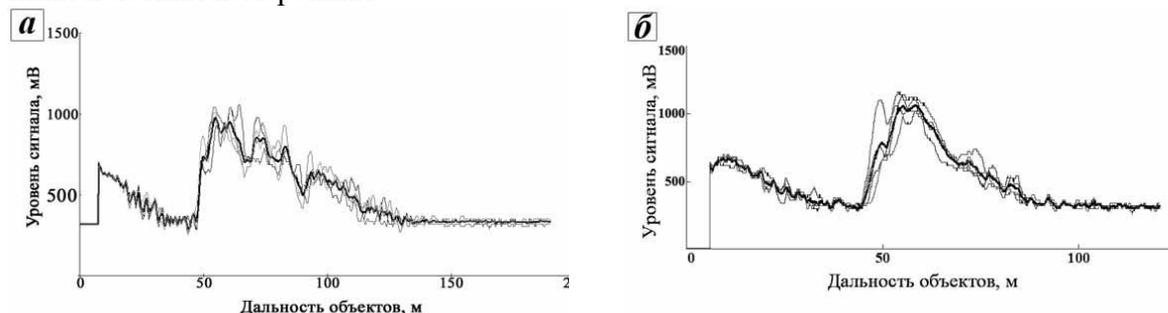


Рис 1. Экспериментальные осциллограммы: а – весенние измерения, б – летние измерения

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. Как видно из представленных графиков амплитуда аналитического сигнала монотонно убывает с расстоянием. Отдельные пики на осциллограмме (рис.1а) соответствует отражениям от деревьев. В то же время для летних измерений характер осциллограммы меняется и становится более сглаженным, что объясняется наличием листвы, а также подроста и кустарников, покрытых листвой (рис.1б). Также есть различие в глубине прохождения сигнала, причем в случае весенних измерений отраженные сигналы наблюдаются до расстояния порядка 130 метров, а для летних – до 80 метров. Таким образом, оценку ослабления можно сделать, используя метод линейной аппроксимации выделенных участков осциллограмм для соответствующих расстояний. Заметим также, что на рис.2 приведены усредненные осциллограммы по четырем наиболее близко совпадающих осциллограмм, полученных при угловом сканировании леса. Такой подход позволяет считать участок леса более однородным. Расчетный коэффициент корреляции экспериментальных данных с линейной зависимостью составляет 0,8-0,9, что указывает на достаточно хорошую аппроксимацию. Для перевода уровня сигнала в уровень мощности входного сигнала A_x используем вольтваттную характеристику приемника.

$$U = 19,785 \cdot A_x + 2378,9 \quad (1)$$

Коэффициент погонного ослабления γ определяется как отношение разностей сигналов в дБ к соответствующим расстояниям. Оцененное таким образом значение γ для весеннего сезона равно 0,9 дБ/м, для летнего – 1,25 дБ/м. Отметим, что данные значения получены для наиболее закрытых трасс, то есть, оценено максимальное ослабление для данного участка леса.

На рис.2 представлены экспериментальные осциллограммы, полученные при осенних измерениях этого же участка леса.

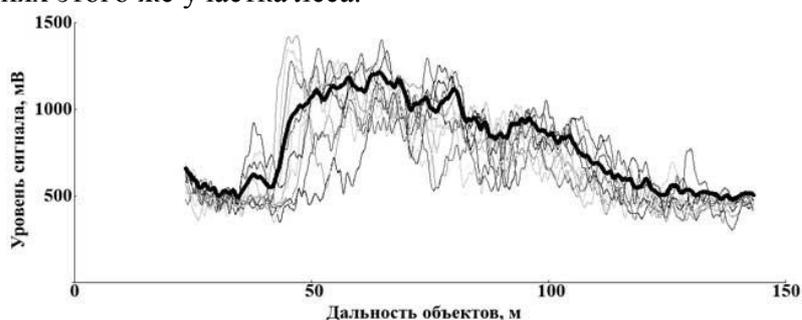


Рис.2. Экспериментальные осциллограммы (осенние измерения)

Приведены данные всех ракурсов сканирования, усредненная осциллограмма выделена жирной линией. Коэффициент погонного ослабления рассчитывался по вышеописанной методике и составил 0,45 дБ/м.

Сезонные вариации коэффициента обратного рассеяния объясняются изменением водного режима деревьев, что определяет их диэлектрические характеристики, включая ветви, кору и т.п. В весенний период происходит увеличение влажности живой древесины, что особенно характерно для березы. Как показано в [4], период интенсивного соковыделения начинается с повышением среднесуточной температуры, а динамика выделения сока совпадает с колебаниями температуры в этот период. График зависимости сокопродуктивности от температуры в период интенсивного

соковыделения показан на рис.3. После этого режим соковыделения падает и остается относительно стабильным.

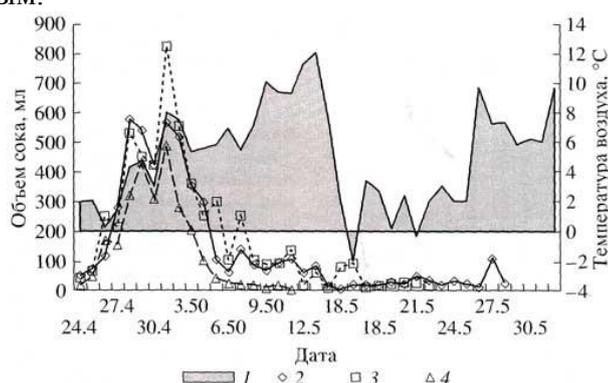


Рис.3. Сокопродуктивность берез и среднесуточная температура воздуха (1997г.): 1 – температура воздуха, 2 – обычная береза, 3 – безузорчатая береза, 4 – узорчатая береза

В этот период, который может варьироваться по дате (с марта по май), в зависимости от климатических условий, влажность березы достигает максимальных значений, что значительно влияет на электрофизические характеристики березового леса. Заметим, что эти данные относятся к другому региону (агробиологическая станция Карельского научного центра РАН вблизи Петрозаводска). Полевые измерения были проведены 23 апреля. На рис.4 показаны суточные изменения температур [5] в период проведения измерений, и согласно [4] можно утверждать, что в момент проведения измерений березовый лес находился в фазе интенсивного соковыделения.

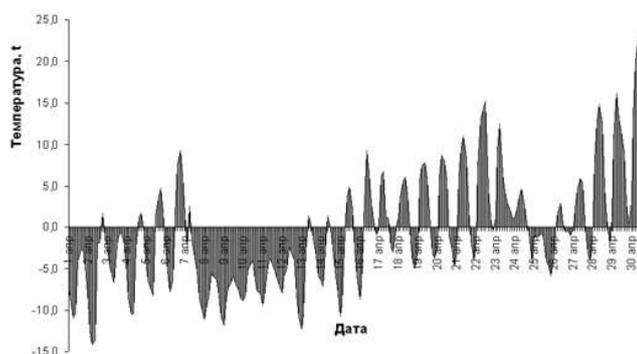


Рис.4. Температурный график по району измерений.

Коэффициенты ослабления в весенний и осенний периоды отличаются по значению в два раза, когда условия измерения практически совпадают (почек, листьев нет, температурный режим примерно равен) и объясняется это отличие только периодом интенсивного соковыделения.

На основании полученных экспериментальных данных возможна оценка эффективной проводимости лесного слоя [6]

$$\sigma, \text{мС/м} = \gamma, \text{дБ/мн}' / 1,2\pi l g e, \quad (2)$$

где n' - эффективный показатель преломления.

Принимая наиболее типичные пределы изменения n' от 1,01 до 1,1 можно получить соответствующие интервалы значений эффективной проводимости. Мнимая часть комплексной диэлектрической проницаемости при $\lambda = 3$ см оценивается как

$$\epsilon'' = 60\lambda\sigma, \quad (3)$$

где проводимость σ выражается в См/м.

Экспериментальные значения коэффициентов погонного ослабления, полученные для разных сезонов, и оценка мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости приведены в таблице 1.

Таблица 1. Электрические параметры лиственного леса (береза)

Месяц	Состояние леса	$\gamma, дБ/м$	n'	$\sigma, мСм/м$	$\epsilon'' \times 10^{-3}$
Апрель	Деревья без листвы (фаза весеннего сокодвижения)	0,9	1,01	0,55	0,99
		0,9	1,1	0,6	1,08
Август	Деревья в полной листве	1,25	1,01	0,88	1,58
		1,25	1,1	0,97	1,75
Ноябрь	Деревья без листвы	0,45	1,01	0,28	0,5
		0,45	1,1	0,31	0,56

Приведенные интервалы значений σ и ϵ'' могут служить для оценки сезонных вариаций электрических параметров лесной среды. Следует заметить, что для более точной оценки указанных параметров необходимы детальные измерения с учетом фенологических фаз состояния деревьев.

Заключение

На основании экспериментальных исследований при короткоимпульсной радиолокации лиственного леса получены значения коэффициентов погонного ослабления на частоте 10 ГГц. Выявлена зависимость ослабления сигнала от фенологического состояния леса, что определяет сезонные вариации коэффициента ослабления. Приведены оценки электрических характеристик леса, которые могут являться основой для анализа и развития электродинамических моделей леса.

Литература

1. Якубов В.П., Тельпуховский Е.Д., Цепелев Г.М. Импульсное зондирование лесного полога // Известия вузов. Физика. 2003, №8, с. 36-41.
2. Доржиев Б.Ч., Очиров О.Н., Базаров А.В. Экспериментальные результаты короткоимпульсной локации лесных сред // Журнал радиоэлектроники 2010, №10, с. 486-500.
3. Клоков А.В., Якубов В.П. Импульсная широкополосная томография леса // Известия вузов. Физика. 2005, №6, с. 121-122.
4. Николаева Н.Н., Новицкая Л.Л. Особенности весенних фаз в развитии карельской березы // Лесоведение. 2006, № 6, с. 59-65.
5. WEB-сайт "Расписание Погоды", gr5.ru, Метеостанция Улан-Удэ, Россия, WMO_ID=30823, выборка с 01.04.2010 по 30.04.2010, все дни.
6. Доржиев Б.Ч., Очиров О.Н. Определение эффективной проводимости леса в УКВ диапазоне // Известия вузов. Физика. 2010, № 11, с.3-8.